

علوم رایانش و فناوری اطلاعات

نشریه علمی انجمن کامپیوتر ایران

صاحب امتیاز: انجمن کامپیوتر ایران

مدیر مسئول: دکتر جعفر حبیبی

سر دبیر: دکتر احمد خونساری

شورای علمی

حمیدرضا ربیعی، استاد دانشگاه صنعتی شریف
حمید سربازی آزاد، استاد دانشگاه صنعتی شریف
کریم فائز، استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
اکبر غفارپور رهبر، استاد دانشگاه صنعتی سهند
احسان الله کبیر، استاد دانشگاه تربیت مدرس
کیوان ناوی، استاد دانشگاه شهید بهشتی
ناصر یزدانی، استاد دانشگاه تهران
محمد حسین یغمایی مقدم، استاد دانشگاه فردوسی مشهد
مرتضی آنالویی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
محسن ابراهیمی مقدم، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
حسین اسدی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
احمد اکبری ازیرانی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
رضا برنگی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
حسین پدram، دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر
نصراله مقدم چرکری، دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

قاسم جابری پور، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
جعفر حبیبی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
امیر حسین جهانگیر، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
شاهین حسابی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
سید حمید حاجی سید جواد، دانشیار دانشگاه شاهد
مسعود رهگذر، دانشیار دانشگاه تهران
مهدی صدیقی، دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هشام فیلی، دانشیار دانشگاه تهران
عبدالرسول قاسمی، دانشیار دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
مقصود عباسپور، دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
محمد عبداللهی ازگمی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران
مهدی کارگهی، دانشیار دانشگاه تهران
مازیار گودرزی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
ناصر مزینی، دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران

همکاران دفتر نشریه

لیلا نورانی
مهدی دولتی

نشانی

تهران، خیابان آزادی، ضلع غربی دانشگاه صنعتی شریف، کوچه شهید ولی... صادقی، پلاک ۲۶، طبقه ۴، واحد ۱۶، دفتر انجمن کامپیوتر ایران، نشریه علوم رایانش و فناوری اطلاعات

تلفن: ۶۶۰۸۷۲۲۴-۶۶۰۳۲۰۰۰

دورنگار: ۶۶۰۲۱۱۴۹

پست الکترونیکی: csitjour@gmail.com

نشانی سایت: <http://csi.org.ir/fa/publication/archive/name/csit>

مقالات درج شده در این نشریه صرفاً بیانگر نظرات مؤلفین آنها است و مسئولیت صحت و سقم داده‌ها و نتایج بر عهده آنها است.

لیتوگرافی، چاپ و صحافی:

فهرست مقالات

- روش جدید پیش‌بینی لینک در شبکه‌های اجتماعی مبتنی بر مدل جستجوی گرانشی ۱
اسماعیل بسطامی و امین‌اله مه‌آبادی
- شناسایی و ردیابی بی‌درنگ خودروها در سناریوهای حمل و نقل شهری براساس بینایی ماشین ۱۶
امین‌اله مه‌آبادی
- یک روش برای کاهش طبقه‌بندی داده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی در SVM+ ۳۷
آرش قربان‌نیا دلاور و زهرا جعفری
- مشکلات و راهکارهای بهبود پروتکل TCP در شبکه‌های بی‌سیم ۴۳
مریم شفیعی، ناصر یزدانی و مسعود رهگذر
- به سوی ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق ۵۴
اسلام ناظمی، حسین صدر و مژده نظری سلیمان‌داری
- مقابله با حمله لاپوشانی در سیستم‌های شهرت با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها ۶۵
شبیم سراجی و مهران سلیمان فلاح

روش جدید پیش‌بینی لینک در شبکه‌های اجتماعی مبتنی بر مدل جستجوی گرانشی

اسماعیل بسطامی امین‌اله مه‌آبادی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

ما در این مقاله روش توزیعی مقیاس‌پذیر جدیدی برای پیش‌بینی دقیق لینک در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از ویژگی‌های ساختاری آن شبکه‌ها و بدون هیچ نیازی به سابقه‌گیری ارائه می‌دهیم. این روش ضمن مدل‌سازی عامل‌گرای مساله و انتخاب انجمن‌ها، از الگوریتم جستجوی گرانشی برای تشخیص لینک‌های مناسب بین انجمن‌ها بهره می‌برد. نتایج ارزیابی آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد که عملکرد روش پیشنهادی در سناریوهای مجموعه داده‌ای مختلف شبکه، مقیاس‌پذیر و از دقت میانگین ۶۹ درصد و صحت میانگین ۶۸ درصد برخوردار است. ضمناً با داشتن ساختار توزیعی و با برخورداری از پاسخ زمانی مناسب، در صورت انتخاب بهینه عامل‌ها و تخصیص مناسب پردازنده به آن‌ها، با بهبود زمان پاسخ و افزایش قدرت مقیاس‌پذیری عامل‌ها مواجه خواهد شد.

کلمات کلیدی: مدل عامل‌گرا، شبکه‌های اجتماعی، پیش‌بینی لینک، الگوریتم جستجوی گرانشی، مدل‌سازی توزیعی.

۱- مقدمه

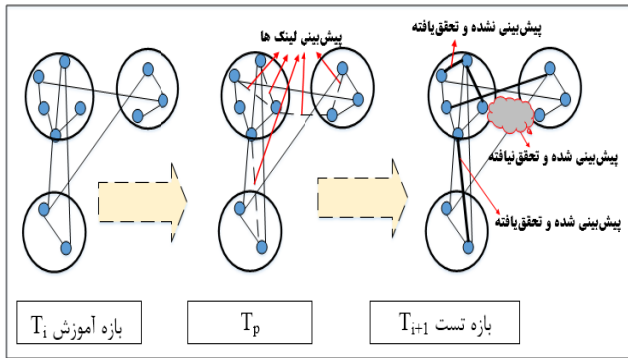
اعضا و درجه پیچیدگی آن‌ها، دارای مشکلات و معضلات خاص خود هستند. شبکه‌های کامپیوتری در حال تغییر و تحول عناصر، ارتباطات و الگوریتم‌های خود برای پشتیبانی فزاینده از شبکه‌های اجتماعی و پوشش و ارایه خدمات توسعه‌پذیر آن‌ها می‌باشند [۳۲]. گسترش روزافزون شبکه‌های اجتماعی با قابلیت ارایه خدمات گسترده دنیای امروزی، نیازمند وجود و گسترش شبکه‌های کامپیوتری است که بتواند اکوسیستم آن‌ها را در بستر اینترنت فراهم کند [۱]. شبکه‌های اجتماعی از موضوعات محبوب برای بررسی، مطالعه و تحقیق است [۶۲].

یک شبکه اجتماعی به‌عنوان گروهی از افراد^۱ یا موجودیت‌هایی^۲ که با یکدیگر در حال همکاری^۳ یا رقابت^۴ هستند، تعریف می‌شود [۱]. به کلیه همکاران یا رقبای در اصطلاح بازیگران^۵ یک شبکه اجتماعی گفته می‌شود. این بازیگران می‌توانند موجودیت‌هایی به‌صورت اشخاص، سازمان‌ها، گروه‌ها، موجودات زنده، بیماری‌ها، صفحات اینترنتی و یا ترکیبی از آن‌ها باشند [۲۸]. در اصل هر موجودیتی که قابلیت اتصال به سایر موجودیت‌های دیگر را دارد می‌تواند به‌عنوان یک شبکه اجتماعی در نظر گرفته شود [۳۲]. نمونه‌های شبکه‌های اجتماعی عبارت‌اند از فیس‌بوک، توئیتر، لینکدین و مانند آن این‌ها که براساس ابعاد، کاربرد و میزان بازیگران آن متفاوت هستند.

هر شبکه به‌عنوان مجموعه گروهی از عناصر و موجودیت‌ها تعریف شده است که دارای ویژگی‌های ارتباطی و رفتاری خاص خود است [۱]. تعداد عناصر، نوع و شیوه ارتباطات عناصر، تنوع و پیچیدگی‌های ارتباطی آن شبکه‌ها، باعث شده که آن‌ها را از شبکه‌های بسیار ساده تا بسیار پیچیده تقسیم‌بندی کنیم. هر شبکه در برابر تغییرات درونی اعضا و ارتباطات خود دارای ثبات است و یا در طول زمان با پویایی مداومی همراه خواهد بود [۲۶]. این تغییرات ممکن است به استحکام شبکه کمک کند و یا به تضعیف آن بیانجامد. استحکام یا فروپاشی یک شبکه از مسایل مهم مورد بررسی بعضی فراهم‌کننده شبکه‌ها است و در مقابل مهاجمان به شبکه درصدد اختلال یا فروپاشی آن هستند. این امر نشان‌دهنده اهمیت مطالعه و تحلیل ساختاری و پویایی شبکه‌ها است و می‌تواند نسبت به نوع شبکه، نیاز به بررسی و تحلیل‌های متفاوتی داشته باشد [۶۱].

شبکه‌های کامپیوتری و شبکه‌های اجتماعی دو موضوع مطرح مهم و اساسی جامعه موجود برای مطالعه و تحقیق می‌باشند که دارای ارتباط پیچیده و تنگاتنگ هستند [۱]. این دو شبکه از نظر تعداد اعضا، نوع ارتباط، تنوع مبادله اطلاعات بین

بررسی‌ها نشان می‌دهد که این شبکه‌ها در خصوصیات ساختاری به طرز جالب توجهی اشتراک دارند [۲].



شکل ۱- فرآیند پیش‌بینی لینک

با این نگاه تغییرات این شبکه‌ها در طول زمان تا حدی قابل‌بررسی و پیش‌بینی است. به همین دلیل شبکه‌های اجتماعی را از نظر ساختار و رفتار در طول زمان تحلیل و ارزیابی می‌کنند [۶۴]. در دهه‌ی اخیر، با بررسی ساختار شبکه‌ها و با استفاده از داده‌های واقعی و ابزارهای پردازشی قوی، بسیاری از خصوصیات مشابه شبکه‌ها استخراج شده است. مثلاً کوچک بودن میانگین کوتاه‌ترین فاصله موجودیت‌ها، بالا بودن ضریب خوشه‌بندی عناصر، و تشخیص وجود انجمن‌ها بین اعضای شبکه، بعضی از معیارهای طرح‌شده برای مطالعه خصوصیات مشترک تمامی شبکه‌ها در علوم مختلف هستند [۲۶]. تحلیل این شبکه‌ها از دو دیدگاه ساختاری (ایستا) و رفتاری (پویا) قابل‌مطالعه است [۶۵]. در تحلیل ایستا با برش تصویر در یک لحظه زمانی از شبکه، بررسی‌های مختلفی بر اساس ویژگی‌های ساختاری آن انجام می‌گیرد. از آنجاکه پویایی یکی از ویژگی‌های مهم شبکه‌های اجتماعی است، تحلیل پویا نگاه دیگری است که در مطالعه شبکه‌ها به آن توجه می‌شود. نحوه انتشار یک پدیده در شبکه یکی از مهم‌ترین مصادیق پویایی آن‌ها است [۶۵]. اعضای هر شبکه در هر حوزه، رفتاری منحصر به فرد دارند که در کنار دیگر اعضا به ایجاد یک پدیده در شبکه منجر می‌شوند. انتشار ویروس‌ها در جوامع انسانی، خرابی پی‌درپی^{۱۶} خطوط انتقال برق، انتشار شایعه و گسترش ویروس‌های رایانه‌ای در شبکه‌های مختلف اجتماعی و فناوری از جمله مثال‌های انتشار یک پدیده در این شبکه‌ها هستند که هر یک از آن‌ها از رفتار جمعی گره‌های موجود در شبکه ناشی می‌شوند [۲].

موضوع پژوهش ما در این مقاله پیش‌بینی لینک در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از ساختار ایستای شبکه است. پیش‌بینی برای بررسی وجود ارتباط میان دو موجودیت بر اساس ویژگی‌های موجودیت‌ها و دیگر ارتباط‌های موجود در گراف شبکه را "پیش‌بینی لینک"^{۱۷} می‌گویند [۳]. به عبارت دیگر اگر در زمان t_i یک تصویر لحظه‌ای از مجموعه لینک‌ها داشته باشیم، هدف پیش‌بینی لینک‌ها در زمان t_{i+1} است [۴]. مساله پیش‌بینی در یک نگاه در شکل ۱ ارایه شده است. در این شکل، شبکه در زمان i شبکه‌ای است که مورد مطالعه قرار می‌دهیم که آن را با T_i نمایش داده‌ایم. شبکه در زمان بعدی $(i+1)$ را برای تحقق پیش‌بینی‌ها خواهیم داشت که با T_{i+1} نمایش می‌دهیم. بر اساس ساختار شبکه در زمان T_i پیش‌بینی لینک برای زمان T_{i+1} را انجام می‌دهیم. زمان فرآیند پیش‌بینی را با T_p نمایش می‌دهیم.

منظور از بازه زمانی، فاصله بین دو برش زمانی است که پیش‌بینی انجام می‌شود و بسته به هر سیستم و هر شبکه متفاوت است. این بازه می‌تواند بر اساس ثانیه، دقیقه، ساعت، روز، هفته، ماه، سال و حتی چندین سال باشد. مثلاً در ساختار گرید برق بازه زمانی می‌تواند ساعتی باشد که می‌تواند با گزارش‌گیری و

برای بررسی و مطالعه یک شبکه اجتماعی نیاز به مدل‌سازی ساختاری و رفتاری و ابزار مناسب آن شبکه است. در مدل‌سازی نوین عامل‌گرایی شبکه، هر موجودیت شبکه را می‌توان به عنوان یک عامل در نظر گرفت [۴۶]. معماری مدل‌سازی چندعاملی می‌تواند رفتار و ساختار گراف‌گونه شبکه را به نحو مناسب مدل‌سازی و مدیریت کند. هر موجودیت در این شبکه را می‌توان به عنوان یک عامل در مدل‌سازی نوین شبکه در نظر گرفت [۴۸]. ساختار مدل‌سازی چندعاملی می‌تواند رفتار و ساختار گراف شبکه را به نحو مناسب مدل‌سازی و مدیریت کند. اکنون مدل‌سازی چندعاملی به عنوان مدل برای بررسی و تحلیل ساختارهای مختلف موجودیت‌های هوشمند و غیرهوشمند طرح‌شده که برای مطالعه و مدل‌سازی ساختار و رفتار شبکه‌های اجتماعی بسیار مناسب است [۴۸]. این مدل نیازمند داشتن ابزارهای مدل‌سازی و پیاده‌سازی ماشینی برای مطالعه و مدل‌سازی ساختار و رفتار شبکه‌های اجتماعی است. ارایه ابزارهای جدید یک نیاز اساسی است و داشتن بستر مناسب و معماری متناسب با ساختارهای اجتماعی، آن‌ها را برای مدل‌سازی، کنترل و تحلیل، قدرتمندتر می‌سازد. ابزارهای قوی نظارت، مدیریت و بررسی ارایه شده است که شبکه‌های اجتماعی را در ساختارهای مجازی فراگیر کرده است [۶۳].

برای مدل‌سازی چندعاملی، تعاملات شبکه ممکن است با یک گراف ساده یا یک گراف چندگانه بیان شوند. هر یک از همکاران یا رقیبان با یک گره و همکاران یا رقابت‌های میان آن‌ها را با یال نشان می‌دهند. شبکه‌های اجتماعی می‌توانند توسط یک گراف پیچیده مرکب از گره‌ها و یال‌ها نمایش داده شوند که در آن افراد یا سازمان‌ها، همان گره‌ها و روابط میان آن‌ها همان یال‌های گراف را تشکیل می‌دهند. همچنین در شبکه اینترنت نیز صفحات وب یا سایت‌های وب به صورت گره‌ها و ارتباط میان آن‌ها، یال‌های گراف فرض می‌شوند. مدل‌سازی چندعاملی، معماری مناسب مطالعه و بررسی یک شبکه اجتماعی در ابعاد کوچک تا بسیار بزرگ است. گراف حاصل از شبکه دارای شکل یا ساختار خاص است که با استفاده از این ساختار می‌توان معیارهای مختلفی از جمله مرکزیت، بینابینی و مانند آن برای شناخت شبکه به دست آورد. سپس با این دانش می‌توان مثلاً گره‌های بااهمیت و تأثیرگذار را شناسایی کرد. همچنین با توجه به روابط میان گره‌های مختلف، انجمن‌های موجود در برگیرنده گره‌های مختلف را تعیین نمود که این گونه تحلیل را تحلیل ایستای شبکه گویند، زیرا این گونه تحلیل‌ها در طول زمان نیستند و صرفاً در یک زمان خاصی در شبکه صورت می‌گیرد [۲].

تحلیل شبکه‌های اجتماعی موضوعی است که امروزه بسیاری از پژوهشگران به آن می‌پردازند [۱]. تحلیل شبکه‌های اجتماعی یک تئوری علوم اجتماعی^{۱۸} نیست بلکه یک رهیافت^{۱۹} برای بررسی ساختارهای اجتماعی است. به این دلیل به تحلیل شبکه‌های اجتماعی، تحلیل ساختاری^{۲۰} گفته می‌شود. مهم‌ترین تفاوت میان تحلیل شبکه‌های اجتماعی با روش‌های سنتی تحقیقات علوم اجتماعی این است که شخصیت یک بازیگر اجتماعی یا رابطه میان بازیگران مشکل اساسی آن است. درحالی که تحقیقات و مطالعات علوم اجتماعی اساساً به ویژگی‌های افراد می‌پردازد. در حقیقت یک تحلیل‌گر شبکه اجتماعی به دنبال نحوه دستیابی به ایجاد یک موجودیت و شیوه اتصال آن موجودیت‌ها در یک شبکه اجتماعی است [۱] [۳].

برخی از تحلیل‌گران شبکه اجتماعی معتقدند که موفقیت و شکست یک جامعه یا سازمان اغلب وابسته به الگوهای ساختاری است که آن‌ها در گراف شبکه اجتماعی به وجود می‌آورند. با تاریخچه‌ای بالغ بر ۷۰ سال، تحلیل شبکه‌های اجتماعی یک موضوع میان‌رشته‌ای بین رشته‌هایی مختلف جامعه‌شناسی^{۲۱}، ریاضیات^{۲۲} و علوم کامپیوتر^{۲۳} مطرح است که در علوم مختلف مثل جامعه‌شناسی، اقتصاد^{۲۴}، علوم ارتباطی^{۲۵}، روانشناسی^{۲۶}، فیزیک و کامپیوتر کاربرد دارد [۱]. شبکه‌های اجتماعی به طور عمده از دو دیدگاه ساختار و پویای قابل‌بررسی هستند.

الگوریتم‌های مختلف پیش‌بینی لینک معمولاً از شباهت بین دو گره استفاده می‌کنند [۴]. این الگوریتم‌ها فرض می‌کنند که هرچه قدر شباهت بین دو گره بیشتر باشد احتمال اینکه بین آن‌ها در آینده لینکی برقرار شود بیشتر است. موضوعی که در این مقاله به دنبال آن هستیم این است که چگونه از این معیار شباهت به نحو مناسبی برای هدف خود استفاده کنیم. روش‌های قدیمی بیان‌شده هر کدام از یک ویژگی خاص ساختار شبکه استفاده می‌کنند. درحالی‌که می‌توان از اطلاعات بیشتری نیز برای این منظور بهره برد. ازجمله می‌توان به اطلاعات گروه و انجمنی که هر گره در آن عضو است اشاره کرد. روش‌های این نوع پیش‌بینی لینک می‌تواند خیلی دقیق‌تر و بهتر از روش قبلی باشد. باین‌وجود نسبت به روش قبلی کندتر هستند اما در شبکه‌هایی حجیم دارای میلیون‌ها عضو می‌توانند بهتر عمل کنند [۴۹]. بنابراین روشی که ما در این دنبال می‌کنیم روش‌های مبتنی بر معیار شباهت است.

ناول و همکاران [۴] اولین مدل پیش‌بینی لینک را که صراحتاً در شبکه‌های اجتماعی کاربرد داشت را ارائه کردند. روش پیش‌بینی بر اساس تشابه بین دو گره است که احتمال دارد در آینده با هم دوست شوند. آن‌ها گره‌ها را بر اساس میزان امتیاز شباهت بینشان رتبه‌بندی کردند. بعد از آنها الحسن و همکاران [۵۰] این رویکرد را با دو روش دیگر گسترش دادند. ابتدا نشان دادند که استفاده از داده‌های خارجی می‌تواند عملکرد پیش‌بینی لینک را بهبود دهد. سپس آن‌ها از معیارهای شباهت مختلفی برای حل مساله پیش‌بینی لینک استفاده کردند یعنی حل مساله پیش‌بینی لینک را به‌عنوان یک مساله دسته‌بندی باینری طرح کردند [۵۰]. بعداً مساله پیش‌بینی لینک در حوزه داده‌های رابط‌های و حوزه اینترنت مورد استفاده قرار گرفت [۶۶]. در مقاله شرکت و همکاران [۵۱] از الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان برای پیش‌بینی لینک استفاده شده است.

الگوریتم جستجوی گرانشی یک الگوریتم بهینه‌سازی مکاشفه‌ای است که به‌تازگی در بین جوامع علمی رواج یافته است. این الگوریتم از قوانین طبیعت الهام گرفته است و در سال ۲۰۰۹ توسط راشدی و همکاران [۴۴] برای حل مسائل بهینه‌سازی به کار گرفته شد. این الگوریتم مبتنی بر جمعیت و از قوانین طبیعت الهام گرفته است. لذا از مجموعه‌ای از عوامل جستجو کننده تشکیل شده که با یکدیگر از طریق نیروی گرانش در ارتباط و کنش هستند [۴۵].

مدل عامل گرای جستجوی گرانشی دارای ساختار طبیعی و مناسب مدل‌های محیطی است و افراد مختلفی از این مدل استفاده کرده‌اند [۴۵]. یزدانی و همکاران [۵۲] از این مدل برای یافتن چندین جواب برای مساله‌هایی که دارای چندین مدل هستند استفاده کرده است. پی و همکاران [۵۳] از آن برای حل مساله زمان‌بندی در محیط‌های دو ولتاژی استفاده کرده‌اند. دراغی نژاد و همکاران [۵۴] از مدل مبتنی بر جستجوی گرانشی برای افزایش بازدهی شبکه و کاهش تداخل آن بهره برده‌اند که از یک اپراتور محلی با ترکیب با الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده کرده‌اند.

نیکنام و همکاران [۵۵] در مدلی سعی بر یافتن واکنش بهینه به کنترل ولتاژ و توان در سیستم‌های برق داشته‌اند. آن‌ها برای این کار با تنظیم پارامتر از طریق تولید تصادفی و خودتنظیم پارامترهای مختلف با ترکیب الگوریتم جستجوی گرانشی، سعی داشته‌اند جوابی بهینه بیابند. وانگ و لی [۵۶] مطالعه‌ای روی شرایط مرزی داشته‌اند که بهینه‌سازی نامحدود را نشان می‌دهد. حسن‌زاده و همکاران [۵۷] روش جدیدی برای کنترل و توزیع مساله بهینه‌سازی چند هدفی داشته‌اند که یک عملگر یکنواخت جهش^{۲۵} و سیاست نخبه‌گرا را با الگوریتم جستجوی گرانشی چندهدفه ترکیب کردند. راشدی و همکارانش [۵۸] روشی برای بهینه‌سازی فضای جستجوی باینری ارائه دادند که برای مدل‌سازی آن، سرعت را معادل تغییرات احتمالی بیت‌ها در زمانی که از حالت صفر به حالت یک تغییر می‌یابند قرار دادند. شاو و همکاران [۵۹] بحث هزینه و مساله پخش بار در سیستم‌های برق را باهم ترکیب کردند. براساس دانش ما تاکنون مساله مدل‌سازی

ذخیره داده‌های موردنیاز برای تحلیل شبکه مرتبط باشد. یعنی حجم داده‌های موردنیاز بتواند ضمن داشتن مفهوم قابلیت بررسی، از جهت ذخیره و پشتیبانی داده‌های فوق، اقتصادی و امکان‌پذیر باشد.

معیارهای رایج موجود برای ارزیابی نتایج الگوریتم‌ها عبارت از صحت^{۱۸}، دقت^{۱۹}، فراخوانی^{۲۰} و معیار f است. می‌توان به‌نوعی از این معیارها برای ارزیابی نتایج الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک استفاده کرد. در پیش‌بینی لینک مساله موردتوجه ما دقت در تعیین لینک‌های پیش‌بینی شده و تحقق آن‌ها است. البته بازه زمانی پیش‌بینی لینک $[i, i + (n + 1)]$ است که می‌تواند مساله پیش‌بینی را برای دو یا چند بازه غیر متوالی نیز تعیین و آن را پیچیده کند [۲] [۵] [۶]. اگر داده‌ها شبکه بخواهد برای تحلیل در بازه زمانی $[i, i + (n + 1)]$ استفاده شود، مساله پیش‌بینی به‌عنوان یک چالش برای بررسی داده‌های بزرگ^{۲۱} و شبکه‌های پیچیده^{۲۲} تبدیل خواهد شد. ما در این مقاله سعی بر ارائه مدل مناسبی برای کاهش زمان پیش‌بینی لینک برای داده‌های بزرگ را داریم. معماری چندعاملی با ساختارهای موازی مناسب کاهش زمان جستجو فضای مساله است. همچنین مدل گرانشی نیز مناسب کاهش زمان جستجو برای مساله‌های بزرگ در کاهش زمان پیش‌بینی بسیار مؤثر است.

ما در این مقاله عملکرد الگوریتم‌های محلی پیش‌بینی لینک موجود را مطالعه و یک معماری ارائه می‌دهیم که از اطلاعات انجمنی گره‌های درونی برای پیش‌بینی‌های لازم استفاده کند. بیشتر اتکا و مانور معماری ما در مدل پیشنهادی مبتنی بر استفاده از اطلاعات مفید انجمن‌ها برای پیش‌بینی است. مقصود آن است که انجمن‌ها را به‌عنوان عامل‌های جستجوی الگوریتم گرانشی^{۲۳} در نظر می‌گیریم. ضمناً سعی بر مدل‌سازی پیش‌بینی مبتنی بر الگوریتم مکاشفه‌ای جستجوی گرانشی برای بهبود عملکرد پیش‌بینی داریم. این کار جهت بهینه‌سازی عملکرد انجمن‌ها در بهبود دقت و سرعت پیش‌بینی لینک صورت گرفته است که بسط آن را برای مطالعه داده‌های بزرگ امکان‌پذیر می‌کند. نوآوری‌های قابل ارائه ما در این مقاله به‌طور خلاصه عبارت‌اند از:

- مدل‌سازی عامل‌گرای پیش‌بینی لینک مبتنی بر جستجوی گرانشی
- سرعت و دقت مناسب مدل پیش‌بینی لینک برای شبکه‌های حجیم
- قابلیت بسط، توسعه و توزیع مدل برای تحلیل داده‌های بسیار بزرگ

در ادامه مقاله و در بخش ۲ تحقیقات و "کارهای مرتبط" انجام‌شده با پیش‌بینی لینک را شرح می‌دهیم. در بخش ۳ ضمن تعریف مساله "پیش‌بینی لینک" و در بخش ۴ "الگوریتم‌های پیش‌بینی" را ارائه می‌کنیم. در ادامه و در بخش ۵ "الگوریتم جستجوی گرانشی" را شرح می‌دهیم. در بخش ۶ "معماری پیشنهادی" را بیان و "مدل‌سازی عامل‌گرای جستجوی گرانشی پیش‌بینی لینک" در شبکه‌های اجتماعی را ارائه می‌دهیم. در بخش ۷ به "نتایج آزمایش‌های تجربی" و تحلیل آن اشاره داریم. نهایتاً و در بخش ۸ به "نتیجه‌گیری" می‌پردازیم.

۲- کارهای مرتبط

بیشتر کارهای انجام‌شده سال‌های اخیر در مساله پیش‌بینی لینک از اطلاعات ساختاری گراف استفاده می‌کنند که در زیر به موضوعات مهم ارائه شده آن‌ها می‌پردازیم و همچنین در ادامه به تحقیقات مهم پیرامون الگوریتم جستجوی گرانشی و کاربردهای آن اشاره خواهیم کرد. می‌توان روش‌های موجود برای پیش‌بینی لینک بین گره‌های یک شبکه را به سه دسته عمده روش‌های مبتنی بر معیارهای شباهت^{۲۴}، روش‌های مبتنی بر آمار و روش‌های مبتنی بر بیشترین احتمال تقسیم بندی کرد. در این روش‌ها علاوه بر بررسی ساختار گراف، ویژگی‌ها و خصوصیات که باعث می‌شود احتمال وجود لینک بیشتر شود را استخراج می‌کنند [۲۱].

انجام آزمایش‌ها مختلف امکان‌پذیر است که این کار معمولاً بسیار پرهزینه است. علاوه بر این دانش ما در این شبکه‌ها معمولاً محدود است. به‌عنوان مثال ۸۰ درصد از فعل و انفعالات مولکولی در سلول‌های مخمر [۱۰] و ۹۹ درصد از انسان [۱۱] [۱۲] هنوز شناخته‌شده نیست. به‌جای بررسی کورکورانه تمامی فعل و انفعالات امکان‌پذیر، می‌توان بر اساس فعل و انفعالات شناخته‌شده ارتباطات جدید را پیش‌بینی کرد [۱۳] [۱۴].

دوستی در شبکه‌های اجتماعی همان مفهوم عام رابطه بین دو نفر را دارد و تشخیص روابط مخفی یک مکانیزم تشخیص دوستی بالقوه برای پیشنهاد دوستی است [۱]. در این شبکه‌ها با کشف روابط مخفی، می‌توانیم از آن‌ها برای پیش‌بینی وقایع آتی یا پیشنهاد روابط لازم اعضاء بهره‌برداری کنیم. در شبکه‌های اجتماعی دوستی را این گونه تعریف می‌کنیم: "اگر دو گره با هم در ارتباط باشند می‌گوییم آن دو گره با هم دوست هستند". در چنین مواردی ارتباطات مخفی شاید در برگزیده گره‌های اجتماعی موجودی باشد که هنوز آن اجتماع، ارتباطات ذکر شده را ایجاد نکرده است [۴]. معمولاً ایجاد یا از دست رفتن ارتباطات در شبکه‌های اجتماعی تحت عنوان مساله پیش‌بینی لینک شناخته می‌شود [۳] [۴] [۱۶].

پیش‌بینی لینک در خارج از حوزه شبکه‌های اجتماعی نیز دارای کاربردهای بسیاری از قبیل تجارت الکترونیک، فعل و انفعالات ژنتیکی، کنترل مصرف و تولید برق، و ارتباط پروتئین با پروتئین است. از آنجا که این مساله در دامنه‌های مختلفی کاربرد دارد برای حل آن چندین روش پیشنهاد شده است. بسیاری از این روش‌ها از ویژگی‌های ساختاری گراف شبکه و در بعضی موارد هم از روش‌های غیرساختاری استفاده می‌کنند. در ساختار گرافی شبکه اجتماعی، پیش‌بینی وجود ارتباط میان دوجودیت براساس خصوصیت‌های موجودیت‌ها و سایر لینک‌های مشاهده شده در گراف شبکه را پیش‌بینی لینک^{۲۶} می‌گویند [۷]. به‌عبارت دیگر اگر در زمان t یک تصویر لحظه‌ای از مجموعه لینک‌ها داشته باشیم، هدف پیش‌بینی لینک‌ها در زمان $t+1$ است [۸]. البته این مفهوم می‌تواند برای پیش‌بینی از زمان t_i تا زمان $t_{i+(n+1)}$ یعنی بازه‌های غیرمتوالی، مساله را بسیار پیچیده کند.

تعریف ریاضی پیش‌بینی لینک در مقاله ناول و همکاران [۴] بیان شده که پیش‌بینی لینک در یک گراف را به‌عنوان تعامل بین راس‌های گراف تعریف کرده‌اند. یعنی اگر شبکه اجتماعی به صورت $G = (V, E)$ مفروض باشد؛ به طوری که هر یال $e = (u, v) \in E$ نشان‌دهنده یک ارتباط^{۲۷} میان u و v در زمان $t(e)$ باشد؛ ارتباط میان u و v در زمان‌های مختلف به صورت یال‌های موازی در درون گراف نشان‌داده می‌شوند. آنگاه $G[t, t'], t < t'$ زیرگرافی از G است که شامل تمامی یال‌های ایجاد شده در بازه زمانی t و t' است [۸].

اکنون تعریف پیش‌بینی لینک با انتخاب بازه زمانی $t_0 < t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ است. الگوریتم پیش‌بینی لینک تنها با دسترسی به گراف $G[t_0, t_0']$ باید به‌عنوان خروجی، یال‌هایی را پیش‌بینی کند که در گراف $G[t_0, t_0']$ وجود دارند ولی در گراف $G[t_1, t_1']$ وجود نداشته‌اند. بازه $[t_0, t_0']$ را بازه آموزش^{۲۸} و بازه $[t_1, t_1']$ را بازه آزمون^{۲۹} نام نهاده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده‌ایم، بازه T_1 ، بازه آموزش و بازه T_{i+1} ، بازه آزمون است.

ما برای مطالعه و ارزیابی معماری و الگوریتم پیشنهادی خود، کلیه لینک‌های مورد پیش‌بینی در الگوریتم پیش‌بینی لینک را از نظر عملکرد مورد ارزیابی قرار دادیم. این معیارها برای ارزیابی عبارتند از:

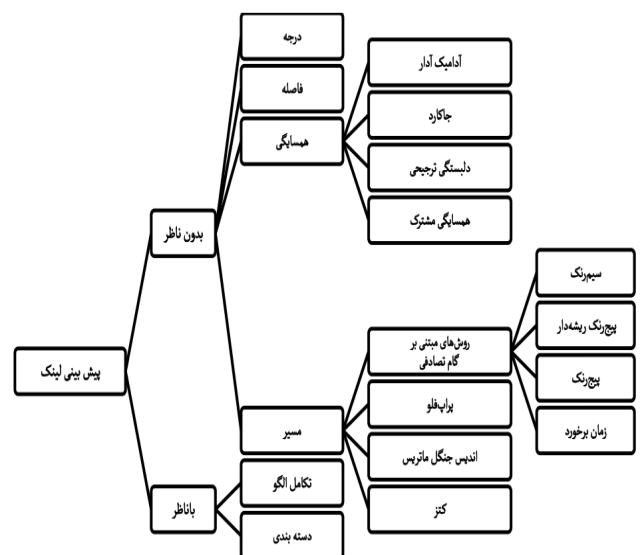
- لینک‌های پیش‌بینی شده تحقق یافته (TP)
- لینک‌های پیش‌بینی شده تحقق نیافته (FP)
- لینک‌های پیش‌بینی نشده تحقق نیافته (TN)
- لینک‌های پیش‌بینی نشده تحقق یافته (FN)

مساله پیش‌بینی لینک مبتنی بر ساختار جستجوی گرانشی در کنار معماری چندعاملی برای حل مشکلات شبکه‌های با داده‌های بزرگ یا عناصر بسیار زیاد در قالب شبکه‌های اجتماعی ارایه نشده است.

۳- پیش‌بینی لینک

بیان شد که پیش‌بینی امری لازم برای مطالعه رفتار و ساختار بعدی یک شبکه خواهد بود. یعنی براساس توانایی ما در پیش‌بینی می‌توانیم وضعیت یک شبکه را در آینده برای تصمیم‌گیری مدنظر قرار دهیم. مثلاً پیش‌بینی وضعیت مصرف‌کنندگان برق در آینده می‌تواند بر وضعیت تولیدکنندگان برق و وضعیت تغذیه مصرف‌کنندگان بسیار مؤثر باشد. در یک پیش‌بینی درست میزان صحت پیش‌بینی، میزان دقت پیش‌بینی، و سرعت زمان از عوامل مؤثر بر مساله تصمیم‌سازی است [۲۱]. مساله پویایی در ساختار و رفتار شبکه نیازمندی به پیش‌بینی برای تصمیم‌گیری را نمایان می‌سازد. پیش‌بینی در یک شبکه می‌تواند برای بررسی ساختار آتی شبکه (شیوه ارتباط اعضا) یا رفتار آن (شیوه تعامل یا رفتار اعضا) صورت گیرد. پیش‌بینی ساختاری برای کاربردهای که نیاز به فرآیند یادگیری ندارد مؤثر است. پیش‌بینی رفتاری برای کاربردهای مفید است که حتماً نیازمند دانستن پیشینه ارتباطات مختلف هستیم.

ما در این مقاله به دنبال پیش‌بینی لینک برای کاربردهایی هستیم که نیاز به دانستن پیشینه وقوع ارتباطات ندارد تا بتوانیم در تصمیم‌سازی سرعت عمل مناسب داشته باشیم. پیچیدگی پیش‌بینی‌های رفتاری و نیاز به سابقه‌گیری، مشکل داده‌های بزرگ را به وجود می‌آورد که امر پیش‌بینی را برای تصمیم‌سازی نامناسب می‌سازد. لذا ما از مزیت پیش‌بینی‌های ساختار موجود شبکه بهره می‌بریم تا بتوانیم با رفع مشکل داده‌های بزرگ و تحلیل‌های طولانی مدت، در زمان کوتاهی به دقت مناسبی دست یابیم. پس ما به دلیل مشکلات زمانی و دقت کار، به سابقه اتصالات توجه نداریم و وجود ناظر را نیز مرتفع کرده‌ایم. بیشتر تمرکز خود را بر ویژگی‌های ساختاری موجود شبکه معطوف داشته‌ایم.



شکل ۲- روش‌های پیش‌بینی لینک

مساله پیش‌بینی با حجم داده‌های بزرگ بسیار پرهزینه و کند است لذا با ارایه معیارها و مدل‌های جدید بررسی آن را امری لازم و حیاتی می‌دانیم. در بسیاری از شبکه‌های بیولوژیکی، از جمله شبکه‌های مواد غذایی، تعامل پروتئین- پروتئین و شبکه‌های متابولیک، پیش‌بینی این‌که آیا بین دو گره در شبکه یالی وجود دارد با

شباهت نیز گفته می‌شود. این دسته از روش‌ها عمدتاً از الگوریتم‌های ساده‌ای استفاده نموده که در بدترین حالت پیچیدگی زمانی از مرتبه $O(n^3)$ دارند. این روش‌ها معمولاً از سرعت مناسبی برخوردار بوده ولی دقت خروجی این دسته از روش‌ها نسبت به روش‌های پیش‌بینی لینک با ناظر کمتر است. در این فصل به بررسی تعدادی از الگوریتم‌ها و روش‌های پیش‌بینی لینک بدون ناظر در شبکه‌های اجتماعی پرداخته می‌شود. در هر زیر بخش یک روش یا یک دسته روش موردبررسی قرار گرفته است.

۴-۱- روش‌های مبتنی بر فاصله

یکی از ساده‌ترین روش‌ها برای پیش‌بینی لینک استفاده از معیار فاصله^{۳۵} است [۲۲] در این روش زوج گره‌ای که بین آن‌ها لینکی وجود ندارد و در فاصله کمی از یکدیگر قرار دارند، بیشترین احتمال برای به وجود آمدن ارتباط میان آن دو نسبت به سایرین وجود دارد. از آنجایی که الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک پیش‌بینی‌های خود را برحسب امتیاز لینک‌ها به صورت نزولی ارائه می‌دهند، در این روش امتیاز لینک‌ها، منفی کوتاه‌ترین فاصله میان دو گره در نظر گرفته می‌شود. در عمل خروجی این الگوریتم زوج گره‌هایی است که در فاصله دو از یکدیگر قرار دارند.

۴-۲- روش‌های مبتنی بر درجه

در این روش تنها از درجه گره‌ها برای رتبه‌بندی لینک‌ها استفاده می‌شود. در این معیار احتمال اینکه یک یال جدید دارای نقطه پایانی x (یا y) باشد، متناسب با درجه‌ی گره‌ی x است. در [۳۲] [۳۳] احتمال آنکه دو نویسنده با یکدیگر همکاری کنند، متناسب با ضرب درجه‌ی آن دو نویسنده در گراف است. به این روش دل‌بستگی ترجیحی^{۳۶} گفته می‌شود. اگر $|\Gamma(x)|$ درجه‌ی گره‌ی x باشد، رابطه (۱) نحوه محاسبه امتیاز لینک‌ها بر اساس معیار دل‌بستگی ترجیحی را نشان می‌دهد.

$$Score(x, y) = |\Gamma(x)| \cdot |\Gamma(y)| \quad (1)$$

۴-۳- روش‌های مبتنی بر همسایگی

در این بخش روش‌هایی که برحسب همسایه‌های یک گره میزان شباهت آن را با سایر گره‌ها را محاسبه می‌نماید، مطرح می‌شود. اساس تمامی این روش‌ها بر پایه ویژگی تراگذاری^{۳۷} در شبکه‌های اجتماعی است. طبق ویژگی تراگذاری اگر گره x با گره y در ارتباط باشد و گره‌ی y نیز با گره‌ی z ، آنگاه احتمال زیادی وجود دارد که گره‌ی x با گره‌ی z نیز در ارتباط باشد [۳۳].

۴-۳-۱- روش همسایگی مشترک

در این روش امتیاز یک لینک برابر با تعداد همسایه‌های مشترک^{۳۸} میان نقاط انتهایی آن خواهد بود [۳۳]. رابطه (۲) نحوه محاسبه‌ی تعداد همسایه‌های مشترک میان دو گره را نشان می‌دهد.

$$Score(x, y) = |\Gamma(x) \cap \Gamma(y)| \quad (2)$$

روش‌های مختلف پیش‌بینی لینک به دلیل وجود ناظر مرکزی یا فقدان آن (به شرح شکل ۲) به دودسته کلی با ناظر^{۳۰} و بدون ناظر^{۳۱} تقسیم‌بندی می‌شوند [۹]. روش‌های بدون ناظر، روش‌هایی هستند که بدون بررسی پیش‌زمینه روند به وجود آمدن لینک‌ها در گذشته، تنها به کمک ویژگی‌های ساختاری موجود در گراف شبکه به پیش‌بینی لینک‌ها در آینده می‌پردازند. روش‌های با ناظر پس از یادگیری^{۳۲} یک یا چند مرحله از فرآیند به وجود آمدن لینک‌ها در گذشته، به پیش‌بینی لینک‌های آینده می‌پردازند [۹].

الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک بدون ناظر غالباً از ویژگی‌های ساختاری مانند تعداد همسایه‌های مشترک، طول کوتاه‌ترین مسیر میان دو گره، درجه^{۳۳} دو گره استفاده می‌کنند [۹]. الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک با ناظر گاهی اوقات با یادگیری پارامترهای یک مدل احتمالاتی و یا بررسی روند تکامل یک زیرساختار خاص در گراف شبکه به پیش‌بینی لینک می‌پردازند. درمجموع از اطلاعات هر روشی که به نوعی شباهت دو گره را نسبت به یکدیگر در گراف شبکه نشان دهد را می‌توان به نوعی برای پیش‌بینی لینک نیز استفاده نمود.

بسیاری از تحقیقات در تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی به بهره‌برداری از اطلاعات کاربران و روابط اجتماعی مانند دوستی متمرکز شده‌اند. با این حال در بعضی از پژوهش‌ها، برای بهبود عملکرد پیش‌بینی لینک از اطلاعات دیگر از جمله اطلاعات خوشه‌ها و انجمن‌ها استفاده می‌شود [۱۷]. در آزمایش‌های مختلف، فنگ و همکاران [۱۸] نشان دادند وقتی که ساختار خوشه‌ای شبکه‌ها رشد می‌کند، دقت و صحت اقدامات پیش‌بینی لینک براساس اطلاعات ساختاری بهتر می‌شود [۱۹] [۲۰]. این نتایج باعث شد که به نوعی از اطلاعات انجمن‌ها برای بهبود عملکرد پیش‌بینی لینک استفاده شود.

ما از اطلاعات انجمن‌ها در کنار الگوریتم جستجوی گرانشی الهام گرفته از قوانین طبیعی فیزیکی برای بهبود عملکرد پیش‌بینی لینک استفاده کرده‌ایم. این الگوریتم از مجموعه‌ای از عوامل جستجوگر تشکیل شده است که با یکدیگر از طریق نیروی گرانش در ارتباط هستند [۴۴].

۴- الگوریتم‌های پیش‌بینی

همانطور که در پیشتر گفته شد می‌توان روش‌های موجود برای پیش‌بینی لینک بین گره‌های یک شبکه را به سه دسته عمده تقسیم‌بندی کرد. دسته اول روش‌های مبتنی بر معیارهای شباهت است. این روش‌ها ساده ترین روش پیش‌بینی لینک هستند که در آن به هر جفت از گره‌های x و y یک امتیاز داده می‌شود که این امتیاز بر حسب میزان شباهت دو گره به هم است. تمام لینک‌هایی که مشاهده نشده اند و قرار است که پیش‌بینی شوند بر حسب میزان شباهت دو گره به هم رتبه بندی می‌شوند و لینک‌هایی که امتیازشان بیشتر است پیش‌بینی می‌شوند. این روش بیشتر بر اساس ساختار شبکه، لینک‌ها را پیش‌بینی می‌کند. مثل روش‌های مبتنی بر فاصله که در آن گره‌هایی که در کمترین فاصله از هم قرار دارند شانس بیشتری برای پیش‌بینی لینک بین آنها در آینده دارند. دسته دوم روش‌های مبتنی بر آمار هستند. در این روش‌ها از مدل‌های آماری و توزیع‌های آماری استفاده می‌شود. دسته سوم روش‌های مبتنی بر بیشترین احتمال هستند. در این روش‌ها علاوه بر بررسی ساختار گراف، ویژگی‌ها و خصوصیات که باعث می‌شود احتمال وجود لینک بیشتر شود را استخراج می‌کنند [۲۱]. روش‌هایی که ما سعی در بیان آن‌ها داریم مبتنی بر معیار شباهت هستند.

روش‌های بدون ناظر پیش‌بینی لینک عمدتاً تنها از یک تصویر لحظه‌ای^{۳۴} گراف شبکه استفاده کرده و بدون در نظر گرفتن محتوای شبکه موردبررسی، تنها به کمک ویژگی‌های ساختاری گراف شبکه سعی در پیش‌بینی لینک‌ها در تصویر لحظه بعدی از شبکه می‌کند. به این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر معیارهای

گره را به سمت محاسبه‌ی تمامی مسیرهای میان دو گره ارتقاء داده‌اند. روش‌های مبتنی بر گام تصادفی^{۴۳} نیز جزو این دسته از روش‌ها محسوب می‌شوند. در زیر به روش‌های مبتنی بر مسیر اشاره خواهیم کرد.

۴-۴-۱- کتز

معیار کتز^{۴۴} [۲۱] یک فرمول برای استفاده از تعداد و طول مسیرهای میان دو گره برای پیش‌بینی لینک است. مسیرها نیازی نیست که کوتاه‌ترین مسیر باشند. برای کاهش اثر مسیرهای طولانی در تعیین امتیاز یک لینک، از یک ضریب به نام β در این فرمول استفاده شده است. این کار باعث می‌شود که پیش‌بینی لینک میان گره‌ها در نواحی پرجمعیت اطراف آن‌ها نسبت به سایر نقاط بیشتر باشد. رابطه (۶) نحوه محاسبه‌ی امتیاز یک لینک بر اساس معیار کتز را نشان می‌دهد.

$$Score(x, y) = \sum_{L=1}^{\infty} \beta^L \cdot |paths_{x,y}^L| \quad (6)$$

در رابطه‌ی (۶) مقدار $paths_{x,y}^L$ مجموعه‌ی تمامی مسیرهای به طول L از گره‌ی x به گره‌ی y است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، $\beta > 0$ یک ضریب کنترلی است. اگر مقدار این ضریب خیلی کم باشد، معیار کتز شبیه همسایه‌های مشترک می‌شود. در مقاله [۲۰] مقدار β بین ۰.۰۰۰۵ تا ۰.۰۲۵ در نظر گرفته شده است.

۴-۴-۲- پراپ‌فلو

پراپ‌فلو^{۴۵} [۴۳] یک روش مبتنی بر مسیر برای پیش‌بینی لینک است، به‌طوری‌که نسبت به نويزهای ساختاری که در فاصله دوری از گره‌ی مبدأ قرار دارند، حساس نیست. این روش به این صورت عمل می‌کند که ابتدا از یک گره یک واحد جریان به سمت سایر گره‌ها فرستاده می‌شود. یال‌های گراف وزن‌دار فرض می‌شوند. وزن هر یال نشان‌دهنده‌ی ظرفیت آن یال برای عبور جریان است. در صورتی‌که گراف وزن‌دار نباشد، می‌توان وزن همه‌ی یال‌ها را برابر با یک در نظر گرفت. اکنون برحسب وزن یال‌ها، احتمال آنکه جریان موردنظر از یک یال عبور کند محاسبه می‌شود. هرچقدر وزن آن یال بیشتر باشد، احتمال بیشتری دارد که جریان از آن عبور کند. اکنون پس از محاسبه‌ی تمامی احتمال‌ها، گره‌ای که دارای بیشترین احتمال باشد، گره‌ای است که بیشترین شانس برای ایجاد لینک با آن وجود دارد.

۴-۴-۳- اندیس جنگل ماتریس

طبق اندیس جنگل ماتریس^{۴۶} [۴۲]، شباهت میان دو گره‌ی x و y برابر با نسبت تعداد جنگل‌های ریشه‌دار پوشایی^{۴۷} است که گره‌های x و y به آن‌ها با ریشه‌ی x تعلق دارند، به‌تمامی جنگل‌های ریشه‌دار پوشا در شبکه، است. برای بیان تعریف جنگل‌های ریشه‌دار پوشا نیاز است که تعاریف زیر مطرح شود. گراف بدون دور را جنگل^{۴۸} می‌گویند. درخت، یک جنگل متصل است. هر جنگل از تعدادی درخت تشکیل شده است. درخت ریشه‌دار، درختی است که یک گره به نام ریشه دارد. سایر گره‌ها فرزند ریشه هستند. جنگل پوشا^{۴۹} شامل یک سری درخت ریشه‌دار است. زیرگراف ماتریس G گرافی است که تمامی گره‌ها و یال‌های آن متعلق به گراف G است. زیرگراف پوشا^{۵۰} گراف G گرافی است که مجموعه گره‌های آن

رابطه (۲) کلی است و می‌توان در حالت‌های مختلفی آن را محاسبه نمود. می‌توان همسایه‌های مشترک را تنها همسایه‌های مرتبه اول میان دو گره در نظر گرفت و یا همسایه‌های مرتبه دوم یعنی همسایه‌های همسایه گره موردنظر و یا مراتب بالاتر نیز محاسبه کرد.

۴-۳-۲- ضریب جاکارد

یکی از معیارهای سنجش شباهت در استخراج داده‌ها، ضریب جاکارد^{۴۹} است [۳۴] اگر ضریب جاکارد را به عنوان معیاری برای رتبه‌بندی یال‌ها استفاده کنیم، در کل به نوعی حالت نرمال شده روش همسایه‌های مشترک است. در این روش تعداد همسایه‌های مشترک میان دو گره بر اجتماع همسایه‌های آن دو تقسیم می‌شود. رابطه (۳) نحوه‌ی محاسبه‌ی ضریب جاکارد را نشان می‌دهد. ضریب جاکارد می‌گوید که دو گره شبیه‌تر به یکدیگر هستند اگر تعداد همسایه‌های مشترک زیاد و تعداد همسایه‌های غیرمشترک کمی داشته باشند.

$$Score(x, y) = \frac{|\Gamma(x) \cap \Gamma(y)|}{|\Gamma(x) \cup \Gamma(y)|} \quad (3)$$

۴-۳-۳- آدامیک آدار

آدامیک و آدار^{۴۰} در زمینه وب برای تشخیص شباهت دو وب‌سایت به یکدیگر معیاری را به نام آدامیک آدار معرفی کردند [۳۶]. رابطه (۴) نحوه محاسبه آدامیک آدار را نشان می‌دهد. طبق رابطه پس از به دست آوردن ویژگی‌های مشترک میان دو صفحه در وب، به ویژگی‌هایی که نادر بوده و تنها میان دو صفحه موردنظر به وجود آمده است، وزن بالاتری داده می‌شود.

$$Score(x, y) = \sum_{z: \text{feature shared by } x, y} \frac{1}{\log(\text{frequency}(z))} \quad (4)$$

۴-۳-۴- اختصاص منابع

روش اختصاص منابع^{۴۱} براساس ایده اختصاص منابع در شبکه‌های پیچیده ارایه شده است [۴۰]. دو گره‌ی x و y که به‌طور مستقیم میان آن‌ها لینکی وجود ندارد، را در نظر بگیرید. گره‌ی x می‌تواند یک سری منبع^{۴۲} را به کمک همسایه‌هایش به‌عنوان واسطه، به سمت گره‌ی y هدایت نماید. در حالت ساده هر گره‌ی واسطه تنها توانایی انتقال یک واحد از منبع را دارا است و به این صورت عمل می‌کند که تمامی منبع دریافتی را به سمت تمامی همسایه‌هایش رها می‌سازد. اکنون میزان شباهت گره‌ی y به گره‌ی x برابر با میزان منابعی است که این گره از گره‌ی x دریافت می‌کند. نحوه محاسبه شباهت بدین روش در رابطه (۵) نشان داده شده است.

$$Score(x, y) = \sum_{z \in \Gamma(x) \cap \Gamma(y)} \frac{1}{deg(z)} \quad (5)$$

۴-۴- روش‌های مبتنی بر مسیر

در این بخش دسته روش‌هایی که بر اساس معیار مسیر امتیاز لینک‌ها را مشخص می‌نمایند شرح داده می‌شود. این روش‌ها به‌نوعی ایده‌ی کوتاه‌ترین مسیر میان دو

$$a = F / M$$

متعلق به G است. برای محاسبه‌ی اندیس جنگل ماتریس، رابطه‌ی (۷) بیان شده است.

$$Score(x,y) = (I + \alpha L)^{-1}, \alpha > 0 \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، I ماتریس واحد است α یک ضریب کنترلی است L ماتریس کیرشیف^{۵۱} است.

1. **Generate** the initial population using test dataset
2. **Evaluate** the fitness value of the population
3. **Calculate** M, F and a of the population
4. **Update** the velocity and position of the population
5. **IF** termination criteria is met pass the solution to the heuristic search **Otherwise** go to step 2

الگوریتم ۱- الگوریتم جستجوی گرانشی

براساس رابطه (۸)، F مقدار نیروی گرانشی که دو جسم به هم وارد می‌کنند، G ثابت گرانشی، M_1 و M_2 جرم‌های اول و دوم را نمایش می‌دهند. R فاصله بین دو جسم را نشان می‌دهد.

رابطه (۸) قانون نیوتون را نمایش می‌دهد که طبق این قانون، مقدار نیروی بین دو جسم با ضرب جرم دو جسم رابطه مستقیم و با عکس فاصله بین دو جسم رابطه معکوس دارد. رابطه (۹) نشان می‌دهد وقتی که به یک جسم نیرویی وارد می‌شود در همان جهت به جسم شتاب وارد می‌شود.

در الگوریتم جستجوی گرانشی، عامل‌ها دارای چهار پارامتر مکان^{۵۲}، جرم^{۵۳}، لختی^{۵۴}، جرم گرانشی فعال^{۵۵} و جرم گرانشی غیرفعال^{۵۶} هستند [۴۵]. مکان هر جسم نشان‌دهنده یک راه‌حل برای مساله است. گرانش و جرم لختی با یک تابع تناسب^{۵۷} تعیین می‌شوند. الگوریتم با جرم لختی و گرانش جهت‌دهی می‌شود درحالی‌که هر جسم خود یک راه‌حل است. اجسام سنگین‌تر بقیه اجسام را به سمت خود جذب می‌کنند. بنابر این در فضای مساله اجسام سنگین‌تر یک راه‌حل بهینه برای مساله هستند.

همانطور که از قوانین نیوتون می‌دانیم جرم لختی جسم در برابر حرکت جسم مقاومت می‌کند یعنی اینکه جسمی که جرمش بیشتر باشد حرکتش کندتر است. بنابر این عامل‌های با جرم بیشتر به آرامی جابجا می‌شوند از این رو فضای محلی بیشتری را جستجو می‌کنند. ثابت گرانش، دقت الگوریتم را تنظیم می‌کند این مورد شبیه به دما در الگوریتم GA^{58} است. این الگوریتم یک الگوریتم با حافظه کم است با این حال می‌تواند شبیه به یک الگوریتم با حافظه بالا کارآمد باشد.

ما در اینجا فرض می‌کنیم که ثابت گرانشی برای همه یکسان است. جرم اینرسی بیشتر یک حرکت کند از عامل‌ها را در فضای جستجوی خود فراهم می‌کند که همین امر باعث می‌شود عمل جستجو دقیق‌تر باشد. در مقابل جرم گرانشی بیشتر باعث جاذبه بیشتر عامل‌ها می‌شود و همین امر باعث می‌شود که عمل همگرایی زودتر صورت گیرد. مراحل الگوریتم جستجوی گرانشی به شرح الگوریتم ۱ عبارت‌اند از: (مرحله ۱) تعریف اولیه عامل، (مرحله ۲) محاسبه بهترین میزبان‌ها، (مرحله ۳) محاسبه ثابت گرانش، (مرحله ۴) محاسبه جرم عامل‌ها، (مرحله ۵) محاسبه شتاب عامل، (مرحله ۶) سرعت و مکان عامل‌ها، (مرحله ۷) تکرار مراحل ۲ تا ۶ است. در ادامه به شرح مراحل می‌پردازیم.

مرحله ۱: تعریف اولیه عامل

مکان N عدد از عامل‌ها به صورت تصادفی تعیین می‌شوند. برای تعیین مکان عامل‌ها از رابطه (۱۰) استفاده می‌کنیم.

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \text{ for } i = 1, 2, \dots, N \quad (۱۰)$$

که در این رابطه x_i^d مکان i امین عامل در d امین بعد را بیان می‌کند در حالی‌که n تعداد بعد را نشان می‌دهد.

۵- الگوریتم جستجوی گرانشی

در حل مسائل با فضای جستجوی زیاد، راه حل‌های کلاسیک به دلیل اینکه فضای جستجو به صورت نمایی افزایش می‌یابد نمی‌توانند جواب بهینه بدهند. در طول دهه گذشته استفاده از الگوریتم‌هایی که از طبیعت الهام می‌گیرند روبه رشد است. این مساله توسط بسیاری از پژوهشگران نشان داده شده است که این راه حل‌ها برای حل مسائلی که محاسبات پیچیده دارند از قبیل بهینه کردن تابع هدف، تشخیص الگو، کنترل اهداف، پردازش تصویرمدل سازی و مانند این‌ها. روش‌های مختلف اکتشافی^{۵۲} بسیاری مانند الگوریتم‌های ژنتیک، شبیه‌سازی گداز^{۵۳} (SA)، بهینه‌سازی ازدحام ذرات^{۵۴} توسط پژوهشگران تاکنون ارایه شده‌اند. این الگوریتم‌ها مسائل بهینه‌سازی مختلفی را حل می‌کنند. اگرچه تاکنون هیچ الگوریتم خاصی بهترین راه حل را در تمام حوزه‌ها نداشته است [۴۴].

الگوریتم‌های مکاشفه‌ای خاصیت تصادفی^{۵۵} دارند. در بعضی از الگوریتم‌های با خاصیت تصادفی مثل SA، عملیات جستجو از یک نقطه شروع می‌شود و سپس به صورت ترتیبی ادامه می‌یابد، اگرچه بعضی از الگوریتم‌ها عمل جستجو را به صورت موازی عمل می‌کنند و از چندین عامل و از چندین نقطه برای این کار شروع می‌کنند. در این الگوریتم‌ها ارتباط محلی بین عامل‌ها می‌تواند منجر به یک نتیجه سراسری شود که به سیستم اجازه می‌دهد مساله را بدون کنترل مرکزی حل کند. در این حالت هر کدام از اعضا عملیات مختلفی را انجام می‌دهند از جمله جستجوی تصادفی، بازخورد و تعاملات مختلف. دوجنبه مهم در الگوریتم‌های اکتشافی مبتنی بر جمعیت اکتشاف^{۵۶} و بهره‌برداری^{۵۷} است که باید الگوریتم‌ها از آنها به نحو خوبی استفاده کنند [۴۴].

الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA^{58}) یک الگوریتم بهینه‌سازی مکاشفه‌ای مبتنی بر جمعیت است که از عامل‌های جستجوگر تشکیل شده و با یکدیگر کنش و واکنش دارند [۴۵]. که در آن عوامل به عنوان اشیا در نظر گرفته می‌شوند و عملکرد آن‌ها با معیار میزان جرم‌شان سنجیده می‌شوند. نیروی جاذبه، جابجایی سراسری را باعث می‌شود و همه اجرام به سمت جرم‌های سنگین‌تر جذب می‌شوند. GSA می‌تواند به عنوان یک سیستم ایزوله شامل یک سری جرم در نظر گرفت. این سیستم مثل یک جهان مصنوعی کوچک است که اجرام از قوانین نیوتون شامل قانون جاذبه و حرکت پیروی می‌کنند. به طور دقیق‌تر اجرام از قوانین زیر پیروی می‌کنند.

• **قانون جاذبه:** هر ذره سعی دارد ذرات دیگر را به یک نیرویی جذب کند. این نیرو طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$F = G (M_1 M_2 / R_{12}) \quad (۸)$$

• **قانون حرکت:** سرعت فعلی هر جسم متأثر است از سرعت قبلی خود و شتابی که جسم در حالت کنونی دارد. این سرعت مطابق رابطه (۹) است.

که M_{pi} و M_{ai} به ترتیب جرم فعال و غیرفعال هستند درحالی‌که M_{ij} جرم لختی عامل i است.

مرحله ۵: محاسبه شتاب عامل

شتاب i امین عامل در گام t به‌صورت رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (13)$$

$F_i^d(t)$ کل نیروی وارده به عامل i ام است که به‌صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$F_i^d = \sum_{j \in Kbest, j \neq i} rand_j F_{ij}^d(t) \quad (14)$$

$Kbest$ مجموعه k عامل اول با بهترین مقدار تناسب و بزرگ‌ترین جرم است. $Kbest$ بازمان به‌صورت خطی کاهش می‌یابد. $F_{ij}^d(t)$ به‌صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \cdot (M_{pi}(t) \times M_{aj}(t) / R_{ij}(t) + \varepsilon) \cdot (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (15)$$

$F_{ij}^d(t)$ نیروی وارده از عامل j به i در بعد d و در گام t است. $R_{ij}(t)$ فاصله اقلیدسی بین دو عامل i و j است. $G(t)$ ثابت گرانشی است که ثابت است.

مرحله ۶: سرعت و مکان عامل‌ها

سرعت و مکان هر عامل در گام $(t+1)$ بر اساس رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} v_i^d(t+1) &= rand_i \cdot v_i^d(t) + a_i^d(t) \\ x_i^d(t+1) &= x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \end{aligned} \quad (16)$$

v_i^d سرعت عامل i ام در d امین بعد را نشان می‌دهد. a_i^d شتاب i امین عامل در d امین بعد را نشان می‌دهد. x_i^d مکان i امین عامل در d امین بعد را نشان می‌دهد.

مرحله ۷: تکرار مراحل ۲ تا ۶

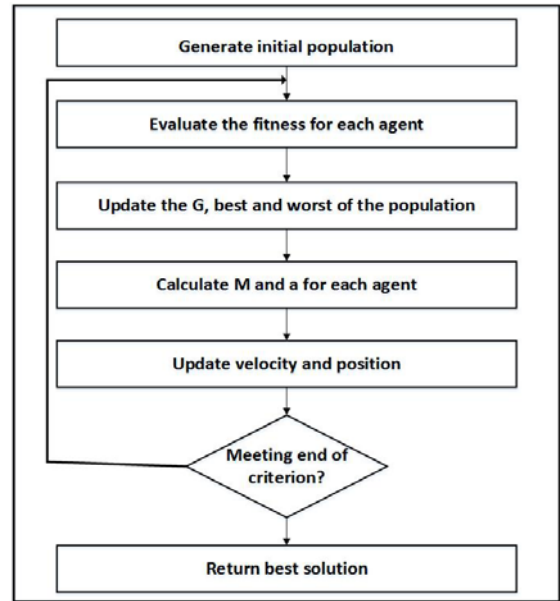
مراحل ۲ تا ۶ تا زمانی که به بهترین جواب نرسیده‌ایم تکرار می‌شود. بهترین مقدار تابع تناسب در نهایت به‌عنوان تناسب نهایی در نظر گرفته می‌شود. نمودار و روند کلی کار در شکل ۳ نشان داده شده است [۴۵].

۶- روش پیشنهادی پیش‌بینی لینک

در این بخش ابتدا به معرفی روش پیشنهادی در قالب دو بخش معماری و مدل جدید پیش‌بینی می‌پردازیم. روش، ابعاد آن، مدل جدید گرانشی پیش‌بینی لینک، الگوریتم‌ها و معیارهای لازم مساله را ارایه خواهیم داد.

۶-۱- معماری روش پیش‌بینی لینک

قبل از تعریف سیستم مبتنی بر چند عامل، ابتدا به معرفی عامل معرفی می‌پردازیم. عامل^{۶۶} یک سیستم کامپیوتری است که قادر به انجام اعمال مستقل و خودکار از طرف کاربر یا صاحب خود است. نکته اصلی در مورد عامل‌ها،



شکل ۳ - الگوریتم جستجوی گرانشی

مرحله ۲: محاسبه بهترین میزان برازش

در این مرحله بسته به نوع مساله کمینه یا بیشینه بودن مساله، محاسبه میزان برازش^{۶۵} با محاسبه بهترین حالت یا بدترین حالت تابع حالت انجام می‌شود. اگر مساله کمینه باشد:

$$\begin{aligned} best(t) &= \min fit_j(t) \quad j = \{1, \dots, N\} \\ worst(t) &= \max fit_j(t) \quad j = \{1, \dots, N\} \end{aligned}$$

اگر مساله بیشینه باشد:

$$\begin{aligned} best(t) &= \max fit_j(t) \quad j = \{1, \dots, N\} \\ worst(t) &= \min fit_j(t) \quad j = \{1, \dots, N\} \end{aligned}$$

$fit_j(t)$ میزان برازش j امین عامل را نشان می‌دهد. $best(t)$ و $worst(t)$ بهترین و بدترین میزان برازش را نشان می‌دهد.

مرحله ۳: محاسبه ثابت گرانش

ثابت گرانشی به‌صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$G(t) = G_0 e^{(-at/T)} \quad (11)$$

که در اینجا G_0 و α ثابت است که در ابتدای برنامه تعیین می‌شوند. T تعداد گام‌های تکرار است.

مرحله ۴: محاسبه جرم عامل‌ها

$$M_a = M_p = M_w = M_i, i = 1, 2, \dots, N \quad (12)$$

$$m_i = \frac{fit_i(t) + worst(t)}{best(t) - worst(t)}$$

$$M_i = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)}$$

رایانه‌ای ارایه می‌دهند. از آنجاکه در این‌گونه سامانه‌ها مجموعه‌ای متشکل از چندین عامل سیستم را به وجود می‌آورد، دستیابی و نیل به اهدافی امکان‌پذیر می‌گردد که به‌وسیله سامانه‌های تک عاملی میسر نیست [۴۶].

این امر مساله مقیاس‌پذیری مدل پیشنهادی را از طریق توسعه و بسط عامل‌ها امکان‌پذیر می‌سازد. مقیاس‌پذیری در حل این مساله دارای ابعاد مختلفی از قبیل عامل‌ها، امنیت^{۶۸}، نقل و انتقال^{۶۹}، سیاربودن^{۷۰}، ارتباطات^{۷۱}، مدیریت منابع^{۷۲}، کشف منابع^{۷۳}، کنترل^{۷۴} و مدیریت داده‌ها^{۷۵} است [۶۸، ۶۹]. با توجه به مساله مدل‌سازی عامل‌گرا، ما در این مقاله به مقیاس‌پذیری عامل‌ها از نظر توزیع زمان جستجو، امکان نقل و انتقال، و سیاربودن در حل مساله پیش‌بینی لینک پرداخته‌ایم. البته راه‌حل پیشنهادی همچنین دارای قابلیت مقیاس‌پذیری حل مساله از نظر کنترل و مدیریت داده‌ها است.

۶-۲- مدل پیشنهادی پیش‌بینی لینک

در این بخش به مساله نگاشت مدل گرانشی برای پیش‌بینی لینک می‌پردازیم. در روش پیشنهادی (طبق شکل ۵) ابتدا انجمن‌ها را از گراف استخراج می‌کنیم. تشخیص انجمن‌ها و استخراج آن‌ها طبق پیاده‌سازی الگوریتم و روش لوین^{۷۶} صورت گرفته‌است [۷۰]. برای مدیریت و تصمیم‌سازی‌ها، پس از استخراج انجمن‌ها به هر انجمن یک عامل تخصیص می‌دهیم. یعنی به تعداد انجمن‌ها عامل ایجاد می‌کنیم و هر عامل را به یک انجمن انتساب می‌دهیم. در این مدل پس از اختصاص عامل‌ها از الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده می‌کنیم. یعنی ابتدا مقدار ثابت گرانشی را تعیین می‌کنیم که ما آن را برابر مقدار ۹.۸ انتخاب کرده‌ایم. سپس چگالی انجمن‌ها را طبق رابطه (۱۷) محاسبه و به عنوان مقدار جرم آن‌ها قرار می‌دهیم. حال دو انجمن (یا دو عامل) را انتخاب می‌کنیم تا میزان فاصله آن‌ها (تناسب معکوس با تعداد یال‌های بین آن‌ها) را مشخص کنیم.

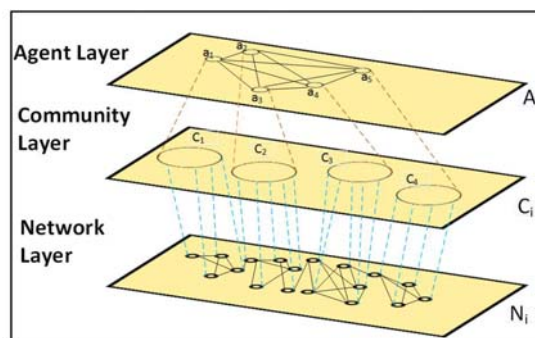
در ادامه نیروی بین دو عامل را با استفاده از رابطه (۸) اندازه می‌گیریم. سپس بر اساس مقدار یک آستانه (مقداری ثابت متناسب با نیروی بیشینه بین تمام عامل‌ها) میزان انتخاب دو عامل را برای پیش‌بینی تعیین می‌کنیم. اگر این نیرو از این آستانه کوچک‌تر بود دو عامل برای پیش‌بینی برگزیده نمی‌شوند. بعد از گزینش عامل‌ها، پیش‌بینی لینک بین دو عامل گزینش شده انجام می‌شود. برای تمامی زوج عامل‌ها این روال تکرار می‌شود و در نهایت فرآیند پیش‌بینی لینک کامل می‌گردد. ما در صورت انتخاب راهبردها مناسب در تخصیص پردازنده‌ها به عامل‌ها، به افزایش سرعت پاسخگویی (کاهش زمان پیش‌بینی) و مقیاس‌پذیری مساله پیش‌بینی (مقاومت در برابر افزایش عناصر و گره‌ها)، کمک می‌کنیم.

همان‌گونه که در بخش ۵ بیان شد، الگوریتم جستجوی گرانشی دارای مراحل مختلفی است که ما برای نگاشت این مدل گرانشی در مساله پیش‌بینی لینک به شرح زیر عمل می‌کنیم و معماری مناسبی ارایه می‌دهیم. در این معماری هر عامل را به‌عنوان یک جسم در نظر می‌گیریم که دارای جرم است. برای محاسبه جرم هر عامل ابتدا باید در GSA میزان برازش را به دست بیاوریم. در مدل پیشنهادی چگالی گراف را به عنوان تابع برازش در نظر می‌گیریم. چگالی گراف از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود که در آن $|E|$ تعداد یال‌های یک انجمن و $|V|$ تعداد گره‌های موجود آن انجمن است.

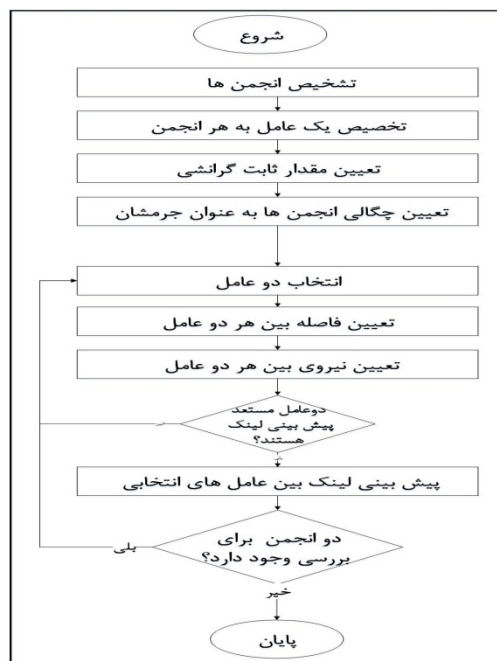
$$Density = \frac{2|E|}{|V|(|V|-1)} \quad (17)$$

پس از محاسبه چگالی گراف، جرم هر عامل را مطابق رابطه (۱۲) محاسبه می‌کنیم و سپس نیروی بین اجرام را به دست می‌آوریم. طبق رابطه (۱۵) برای محاسبه نیروی بین دو جسم باید فاصله بین دو آن جسم را بیابیم. فاصله بین دو

خودمختاری آن‌ها است. به این معنا که عامل‌ها قادرند به‌طور مستقل عمل کنند و روی حالات داخلی خود کنترل داشته باشند. به این ترتیب تعریف دیگری برای عامل می‌توان ارایه داد یعنی عامل یک برنامه کامپیوتری است که ضمن دارا بودن قدرت تصمیم‌گیری مستقل و درحال مشورت با دیگر عامل‌ها خواهد بود [۴۷]. بر این اساس معماری پیشنهادی ما از سه لایه شبکه اجتماعی، انجمن‌ها اجتماعی و عامل‌ها تصمیم‌گیرنده تشکیل شده است (شکل ۵). در پایین‌ترین لایه، لایه شبکه اجتماعی قرار دارد (لایه شبکه در شکل ۴). لایه میانی همان لایه انجمن‌ها است (لایه انجمن در شکل ۴). در بالاترین لایه، لایه عامل‌ها یا سامانه چندعاملی ما قرار دارد (لایه عامل در شکل ۴). یک سامانه چندعاملی^{۶۷} سامانه‌ای است که از چندین عامل هوشمند تعاملی تشکیل شده باشد (لایه عامل در شکل ۴). از سامانه‌های چندعاملی می‌توان برای حل مساله‌هایی استفاده کرد که حل آن برای یک عامل منفرد یا یک سامانه‌ی یکپارچه مشکل یا غیرممکن است.



شکل ۴- معماری پیشنهادی سه لایه‌ای عامل‌گرای پیش‌بینی لینک



شکل ۵- مدل پیشنهادی پیش‌بینی لینک

هوشمندی می‌تواند شامل رویکردهای جستجو، یافتن و پردازش روش‌مند، کاربردی، رویه‌ای، یا الگوریتمی باشد. موضوع‌هایی که تحقیق سامانه‌های چندعاملی در آن‌ها می‌تواند رویکرد مناسبی ارایه کند شامل مبادلات برخط، پاسخ‌دهی به فجایع و مدل‌سازی ساختارهای اجتماعی است. سامانه‌های چندعاملی روش‌های نوینی برای حل مسائل محاسباتی و پیاده‌سازی پروژه‌های نرم‌افزاری

مجموعه داده‌ای نشریات هستند و یال‌ها استنادها یا ارجاع‌هایی است که به این نشریات شده است. نشریات خود دارای مجموعه داده‌ای هستند و به این ترتیب در این مجموعه داده‌ای حلقه داریم. این مجموعه داده‌ای شامل ۳۸۴۴۱۳ گره است.

مجموعه داده‌ای Wikibooks شبکه دویخشی، بخش ویرایش‌گران و بخش از صفحات ویکی‌پدیای زبان انگلیسی است. این شبکه شامل کاربران و صفحات ویکی‌پدیا است. در این شبکه هر یال به عنوان یک فعالیت ویرایشی در نظر گرفته می‌شود و گره‌ها نیز کاربران و صفحات ویکی‌پدیا فرض می‌شوند. در این شبکه ۳۲۵۸۳ کاربر و ۱۳۴۹۴۲ مقاله و صفحه وجود دارد. مجموعه داده‌ای Manufacturing emails مربوط به ایمیل‌های رد و بدل شده بین کارمندان یک کارخانه است. در این شبکه گره‌ها به عنوان کارمندان در نظر گرفته می‌شوند و یال بین دو گره همان ایمیل مورد مبادله است. یعنی سمت چپ هر یال فرستنده ایمیل، سمت راست آن یال گیرنده ایمیل، و یال نیز ایمیل مورد مبادله در نظر گرفته شده است. این شبکه شامل ۱۶۷ گره است.

شبکه movielens یک شبکه دویخشی است که در آن گره‌های گراف همان کاربران و فیلم‌ها هستند. در این شبکه امتیازی که کاربران به فیلم‌ها می‌دهند به عنوان یال بین گره‌ها در شبکه تعریف شده است. این شبکه شامل ۹۴۳ کاربر و ۱۶۸۲ فیلم است که در مجموع ۲۶۲۵ گره در این شبکه وجود دارد. شبکه US airports شبکه پروازی بین فرودگاه‌های مختلف ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۰ است. در این شبکه هر گره به عنوان یک فرودگاه در نظر گرفته شده و یال بین گره‌ها به عنوان ارتباطات بین فرودگاه‌های مختلف فرض شده است که این شبکه دارای ۱۵۷۴ گره است.

۲-۲- معیارهای ارزیابی

همان‌گون که بیان شد لینک‌های مورد پیش‌بینی در یک الگوریتم پیش‌بینی لینک را می‌توان به چهار دسته TP, FP, FN و TN تقسیم‌بندی نمود. معمولاً برای ارزیابی هر الگوریتم از چند معیار مختلف استفاده می‌شود که این معیارها عبارت از صحت^{۷۷}، دقت^{۷۸}، فراخوانی^{۷۹} و معیار f هستند. از این معیارها برای ارزیابی نتایج الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک نیز می‌توان استفاده کرد. ما از صحت و دقت استفاده و آن‌ها را به صورت روابط (۱۸) و (۱۹) محاسبه می‌کنیم. منظور از صحت، میزان درجه نزدیکی یک اندازه به مقدار واقعی خودش است. این معیار حاکی از نزدیک بودن نتیجه یک آزمایش به ارزش واقعی مقدار خودش می‌باشد. منظور از دقت درجه‌ای است که تکرار آزمایش‌ها، نتایج یکسانی را نشان می‌دهند. یعنی نشان‌دهنده میزان احتمال یا ارتباط لینک مورد پیش‌بینی با لینک واقعی است [۶۷].

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (18)$$

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (19)$$

۲-۳- تحلیل آزمایش‌ها

برای پیش‌بینی لینک نیاز داریم که مجموعه‌های داده‌ای ما در زمان رخ دادن، کل یال‌های آن معلوم باشد ولی به دلیل عدم دسترسی به چنین منابعی، مجموعه‌های داده‌ای را بر حسب بازه زمانی با واحدهای مختلف ایجاد کرده‌ایم. مثلاً از آنجا که سال انتشار نظریات فیزیک در دسترس بوده است، برای شبکه hep-ph بازه‌های زمانی را بر حسب سال در نظر گرفته‌ایم. پس در ابتدا ما باید مجموعه داده‌ای را بر

جسم را به این صورت تعیین می‌کنیم که هر چه تعداد یال بین دو انجمن بیشتر باشد فاصله بین آن‌ها کمتر در نظر گرفته می‌شود. به این صورت فاصله بین دو عامل را به عنوان معکوس تعداد یال بین دو عامل در نظر می‌گیریم. لذا نیروی بین دو عامل را به دست می‌آوریم. به این ترتیب می‌توان عامل‌ها را به تناسب نیروی بین گرانشی بین آن‌ها برای محاسبات پیش‌بینی لینک در نظر گرفت. دوعاملی که نیروی بین آن‌ها کم‌تر از یک حد آستانه معین است، از محاسبات پیش‌بینی لینک حذف می‌شود.

۷- نتایج آزمایش‌های تجربی

ما نتایج آزمایش‌های تجربی خود را در سه مرحله و به این شرح ارائه می‌دهیم. ابتدا تنظیمات آزمایشات، ابزار، و مجموعه‌های داده‌ای مورد بررسی و ساختار آن‌ها را معرفی می‌کنیم. سپس به معیارهای ارزیابی آزمایش‌ها و الگوریتم می‌پردازیم. نهایتاً موارد مورد بررسی در آزمایش‌های تجربی و تحلیل نتایج آن‌ها را بیان می‌کنیم.

جدول ۱- مشخصات مجموعه‌های داده‌ای آزمایش‌ها

مجموعه داده	شبکه در زمان t		شبکه در زمان t+1	
	تعدادگره	تعدادیال	تعدادگره	تعدادیال
CiteSeer	۳۸۴۴۱۳	۱۷۵۱۴۶۳	۳۸۴۴۱۳	۱۹۲۶۳۷۹
hep-ph	۳۴۵۴۶	۴۲۱۵۷۸	۳۴۵۴۶	۴۸۶۹۸۲
Wiki	۱۶۷۵۲۵	۱۱۶۴۵۷۶	۱۶۷۵۲۵	۱۲۵۹۶۵۹
emails	۱۶۷	۵۷۸۴	۱۶۷	۵۹۵۶
movielens	۲۶۲۵	۱۰۰۰۰	۲۶۲۵	۱۲۳۱۴۵
US airports	۱۵۷۴	۲۸۲۳۶	۱۵۷۴	۳۱۵۸۴

۷-۱- تنظیمات آزمایش‌ها

ما مدل‌سازی و معماری پیشنهادی مساله و الگوریتم جستجوی گرانشی مورد استفاده را در ابزار NetBeans IDE و با زبان Java پیاده‌سازی و بوسیله مجموعه‌های داده‌ای مختلف hep-ph, CiteSeer, Wikibooks, Manufacturing emails, maayan-faa و movielens-100k_rating مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. سیستم مورد آزمایش یک ماشین 2.79GHz, core i7 و حافظه اصلی 4G RAM با سیستم عامل Win7 است. در جدول ۱ مشخصات و در زیر شرح بیشتر مجموعه‌های داده‌ای آورده شده است. هر مجموعه داده‌ای ارائه‌کننده یک کاربرد است.

از آنجا که روش‌های پیش‌بینی لینک وابسته به ساختار و نوع شبکه هستند لذا نمی‌توان یک روش غالب پیش‌بینی لینک را برای تمامی شبکه‌ها ارائه داد. بنابراین انتخاب مناسب مجموعه‌های داده‌ای مختلف می‌تواند به رفع این نقیصه کمک کند. لذا ما نخست انواع مختلف مجموعه‌های داده‌ای با ویژگی‌های ساختاری متفاوت را برای آزمون الگوریتم‌ها انتخاب می‌کنیم و سپس در ادامه روش‌های مختلف ارزیابی را برای مقایسه الگوریتم‌های پیش‌بینی لینک ارائه خواهیم داد. در ادامه مجموعه‌های داده‌ای مورد استفاده معرفی خواهد شد.

مجموعه داده‌ای hep-ph مربوط به شبکه نشریات مرتبط با موضوعات فیزیک است که در آن هر گره به عنوان یک نشریه فرض شده و لینک بین آن‌ها به عنوان ارتباط بین نشریات مختلف در نظر گرفته شده است. این مجموعه داده ای ۳۴۵۴۶ گره دارد. مجموعه داده‌ای CiteSeer مبتنی بر شبکه استنادها و ارجاع به منابع است و از کتابخانه دیجیتالی CiteSeer این داده‌ها استخراج شده‌اند. گره‌ها در این

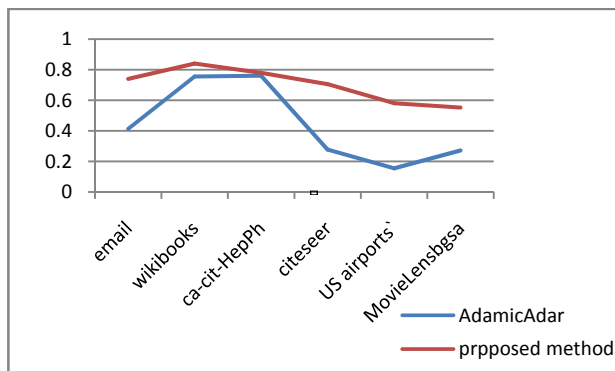
همچنین روش توزیعی پیشنهادی تداعی کننده یک مدل مناسب و یک الگوریتم مساعد برای رفع پاره‌ای از مشکلات در مساله مقیاس پذیری شبکه‌های اجتماعی براساس پیش‌بینی ساختاری است. تاکید ما در برنامه آینده تحقیقاتی خود به ارایه یک مدل فرمال پیش‌بینی لینک برای قالب کار ارایه شده است. همچنین تلاشی برای تناسب ساختار مقیاس‌پذیری آن از نظر انتقال و تحرک عامل‌ها صورت خواهیم داد تا برای پشتیبانی از داده‌های بزرگ از قابلیت مناسب برخوردار باشد. ضمناً بر روی مدل‌سازی دقیق‌تر و تناسب بیشتر عامل‌ها با معیار جاذبه جهت پشتیبانی از نیروی جاذبه متغیر و تطبیق آن با ساختار انجم‌ها سعی خواهد شد تا بتوان در کاهش مشکلات میزان جستجو عامل‌ها در شبکه و دقت آن راهی یافت.

جدول ۲- میزان دقت مجموعه‌های داده‌ای مورد آزمایش

روش پیش‌بینی مجموعه داده‌ای	روش سنتی	مدل پیشنهادی
email	۰.۴۱۲۸۱۱۴	۰.۷۴۰۰۰۶۵
wikibooks	۰.۷۵۵۳۹۵۷	۰.۸۴۰۰۷۱۹
ca-cit-HepPh	۰.۷۶۱۰۰۶۳	۰.۷۷۹۲۱۳۸
citeseer	۰.۲۷۷۶۴۳۵	۰.۷۰۴۸۰۰۲
US airports	۰.۱۵۵۰۳۲۵	۰.۵۸۰۴۵۷۳
MovieLensbgsga	۰.۲۷۱۵۴۴۷	۰.۵۵۲۷۶۴۴
میانگین	۰.۴۳	۰.۶۹

جدول ۳- میزان صحت مجموعه‌های داده‌ای مورد آزمایش

روش پیش‌بینی مجموعه داده‌ای	روش سنتی	مدل پیشنهادی
email	۰.۳۱۷۵۱۵۳	۰.۷۰۹۵۴۹۲
wikibooks	۰.۵۷۱۱۵۳۱	۰.۸۷۴۱۸۳۱
ca-cit-HepPh	۰.۲۲۴۷۶۸۷	۰.۶۷۵۷۰۶۱
citeseer	۰.۷۴۴۷۷۳۵	۰.۷۵۶۰۲۶۹
US airports	۰.۱۱۵۷۵۳۸	۰.۶۰۴۶۳۷۴
MovieLensbgsga	۰.۱۴۵۵۵۴۷	۰.۵۰۶۵۰۵۲
میانگین	۰.۳۵	۰.۶۸



شکل ۶- نمودار مقایسه دقت بین روش سنتی و روش پیشنهادی

حسب بازه‌های زمانی مناسب واحدهای آن داده‌ها دسته‌بندی کنیم. هرچند که در برخی از مجموعه‌های داده‌ای به علت عدم وجود اطلاعات از زمان رخ دادن لینک‌ها، دو مجموعه آموزشی و تست را به کمک یک فرآیند تصادفی و با حذف یک سری از لینک‌ها در مجموعه آموزشی و اضافه نمودن آن‌ها به مجموعه‌ی آزمون، آن‌ها را برای پیش‌بینی لینک آماده نموده‌ایم. در این بخش روش سنتی (آدامیک‌آدار) و روش پیشنهادی پیش‌بینی لینک مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرند. میزان دقت و صحت روش پیشنهادی ما با الگوریتم آدامیک‌آدار که یکی از روش‌های همسایگی است به صورت جداول ۲ و ۳ سنجیده شده است. در این جداول نتایج آزمون دو روش را روی مجموعه داده‌ای بخش ۷-۱ ارایه شده است.

برای ارزیابی مدل چندعاملی و اثر آن در عملیات پیش‌بینی از ساختار تک عاملی و چند عاملی برای یک مجموعه داده‌ای یکسان بهره برده‌ایم که نتایج بهتر با بیش از یک عامل حاصل می‌گردد. میزان دقت در روش سنتی ۴۳ درصد است و در روش پیشنهادی ۶۹ درصد است (شکل ۶). به این ترتیب بهبودی که به طور میانگین روی مجموعه داده‌ای مختلف جدول ۱ به میزان ۲۶ درصد است. میزان صحت در روش سنتی ۳۵ درصد است و در روش پیشنهادی ۶۸ درصد است (شکل ۷). به این ترتیب بهبودی که روی دقت الگوریتم‌ها صورت گرفته به‌طور میانگین ۳۳ درصد است.

با توجه به تناسب ساختاری معماری، الگوریتم و مقیاس‌پذیری شبکه مورد بررسی به نکاتی در باره معماری، الگوریتم و حجم شبکه مورد مطالعه اشاره می‌کنیم که برای بسط و توسعه مدل پیشنهادی جهت پوشش داده‌های بزرگ و هوشمندی عامل‌ها قابل توجه است. یکی از معیارهای مهم برای یک الگوریتم پیش‌بینی لینک، داشتن زمان اجرای معقول است هر چند که با افزایش ابعاد شبکه‌های اجتماعی، زمان مورد نیاز برای پیش‌بینی‌ها بیشتر می‌شود. الگوریتمی مقیاس‌پذیر^{۸۰} است که با افزایش نمایی اندازه شبکه، زمان اجرای آن به صورت نمایی افزایش پیدا نکند. پژوهشگران مختلفی روی مقیاس‌پذیری کارهای مختلفی را انجام داده‌اند. برای مقیاس‌پذیری الگوریتم‌ها می‌توان از روش‌های موازی‌سازی مانند نگاشت کاهش^{۸۱} به همراه روش‌های تجزیه گراف‌ها استفاده نمود. پیاده‌سازی این روش‌ها یعنی مقیاس‌پذیری در قالب الگوریتم‌های کنونی کاری بسیار دشوار است. در مقابل، روش پیشنهادی ما به سهولت قابل پیاده‌سازی و ضمناً از نظر توسعه و توزیع عامل‌ها مقیاس‌پذیر است. از زمان پاسخ خوبی نسبت به روش‌های مرسوم برخوردار است که توسعه ابعاد "مساله پیش‌بینی" خلل اساسی به آن وارد نمی‌کند.

۸- نتیجه‌گیری

ما در این مقاله روش جدید پیش‌بینی لینک از نوع ساختاری بدون ناظر ارایه دادیم که اصول آن بر مدل عامل‌گرا و الگوریتم جستجوی گرانشی قرار دارد. مساله انتخاب انجمن‌ها و انتساب عامل‌ها به آن‌ها از محوره‌های معماری پیشنهادی روش ارایه شده است که بر کارایی و سرعت پاسخ مورد نیاز اثر دارد. ضمناً روش مدل‌سازی چندعاملی ارایه‌شده فراهم‌کننده کارایی و برهم کنش عامل‌ها مخصوصاً در انتخاب انجمن‌ها از جمعیت مورد مطالعه و مشاوره در حل هم‌زمان پیش‌بینی لینک‌ها در هر انجمن و ادغام انجمن‌ها است. این ساختار فراهم‌آورنده قدرت پردازش موازی هم‌زمان، مشاوره در ادغام انجمن‌های مجزا برای ایجاد جامعه یا انجمن جدید و قدرت پیش‌بینی درونی و بیرونی لینک‌ها است که به دقت و صحت پیش‌بینی افزوده و در کاهش زمان آن کمک بسیار می‌کند.

مجموعه‌های داده‌ای مختلفی بر روی روش ارایه شده مورد آزمایش قرار گرفتند تا ضمن تایید صحت، میزان کارایی آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها حکایت از افزایش مطلوب در دقت و صحت عملکرد روش دارد.

[12] L. A. N. Amaral, "A Truer Measure of our Ignorance," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* vol. 105, pp. 6795-6796, 2008.

[13] J. L. Schafer, and J. W. Graham, "Missing Data: Our View of the State of the Art," *Psychological Methods*, vol. 7, pp. 147-177, 2002.

[14] G. Kossinets, "Effects of Missing Data in Social Networks," *Social Networks*, vol. 28, no. 3, pp. 247-268, 2006.

[15] M. Fire, and et. al., "Link Prediction in Social Networks Using Computationally Efficient Topological Features, Privacy, Security, Risk and Trust," *IEEE Third International Conference on Social Computing (SOCIALCOM)*, pp. 73-80, 2011.

[16] J. Hopcroft, T. Lou, and J. Tang, "Who Will Follow You Back?: reciprocal relationship prediction," *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pp. 1137-1146, 2011.

[17] S. Fortunato, "Community Detection in Graph," *Physics Reports*, vol. 486, pp. 75-174, 2010.

[18] X. Feng, J. Zhao, and K. Xu, "Link Prediction in Complex Networks: A Clustering Perspective," *Springer Berlin/Heidelberg*, vol. 85, no. 1, pp. 1-9, 2012.

[19] S. Soundarajan, J. "Hopcroft, Using Community Information to Improve the Precision of Link Prediction Methods," *Proceedings of the 21st International Conference Companion on World Wide Web*, ser. WWW'12 ompanion, pp. 607-608, 2012.

[20] J. Valverde-Rebaza, and A. Lopes, "Link Prediction in Complex Networks Based on Cluster Information," *XXI Brazilian Symposium on Artificial Intelligence*, ser. SBIA, pp. 92-101, 2012.

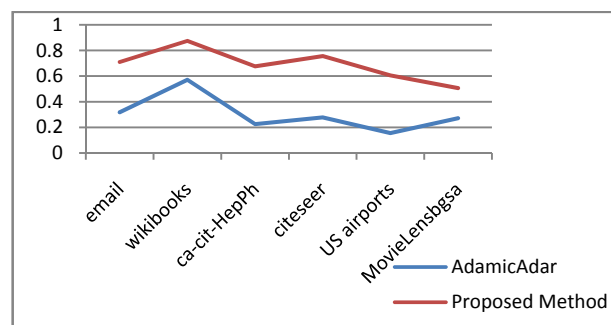
[21] Y. Dhote, and N. Mishra, "Survey And Analysis of Temporal Link Prediction in Online Social Networks," *Advances in Computing, Communications and Informatics*, pp. 1178-1183, 2013.

[22] D. Liben-Nowell, and J. Kleinberg, "The Link-prediction Problem for Social Networks," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 58, no. 7, pp. 1019-1031, 2007.

[23] L. Getoor, L., and C. P. Diehl, "Link Mining: A Survey," *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 7, no. 2, pp. 3-12, 2005.

[24] J. L. Gross, and J. Yellen, *Handbook of Graph Theory*, CRC, 1999.

[25] M. Fire, and et. al., "Link Prediction in Social Networks Using Computationally Efficient Topological Features, Security, Risk and Trust (PASSAT)," *IEEE 3th International Conference on Social Computing (SocialCom)*, pp. 73-80, 2011.



شکل ۷- نمودار مقایسه صحت بین روش سنتی و روش پیشنهادی

مراجع

[1] B. Furht, *Handbook of Social Network Technologies and Applications*, Springer, 2010.

[2] L. L. desdorff, "The Static And Dynamic Analysis of Network Data using Information Theory," *Social Networks*, vol. 13, pp. 301-345, 1991.

[3] L. Lü, and T. Zhou, "Link Prediction in Complex Networks: A Survey," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, vol. 390, no. 6, pp. 1150-1170, 2011.

[4] D. Liben-Nowell, and J. Kleinberg, "The Link-prediction Problem for Social Networks," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 58, no.7, pp. 1019-1031, 2007.

[5] D. Yin, L. Hong, and B. D. Davison, "Structural Link Analysis and Prediction in Microblogs," *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*, pp. 1163-1168, 2011.

[6] D. J. Hand, "Measuring Classifier Performance: a Coherent Alternative to the Area Under the ROC Curve," *Machine Learning*, vol. 77, pp. 103-123, 2009.

[7] M. A. Ahmad, Z. Borbora, J. Srivastava, and N. Contractor, "Link Prediction Across Multiple Social Networks," *IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, pp. 911-918, 2010.

[8] A. Socievole, F. De Rango, and S. Marano, "Link Prediction in Human Contact Networks Using Online Social Ties," *3rd International Conference on Cloud and Green Computing (CGC)*, pp. 305-312, 2013.

[9] Z. Jiawei, K. Xiangnan, and S. Yu. Philip, "Predicting Social Links for New Users across Aligned Heterogeneous Social Networks," *Proc. 13th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM '13)*, 2013.

[10] H. Yu, and et. al., "High-Quality Binary Protein Interaction Map of the Yeast Interactome Network," *Science*, vol. 322, pp. 104-110, 2008.

[11] M. P. H. Stumpf, and et. al., "Estimating the Size of the Human Interactome," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 105, pp. 6959-6964, 2008.

- [42] P. Y. Chebotarev, and E. Shamis, "The Matrix-forest Theorem and Measuring Relations in Small Social Groups," *Autom. Remote Control*, vol. 61, pp. 1424–1450, 2001.
- [43] R. N. Lichtenwalter, J. T. Lussier, and N. V. Chawla, "New Perspectives and Methods in Link Prediction," *Proc. 16th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 243–252, 2010.
- [44] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm," *Information Sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232–2248, 2009.
- [45] N. M. Sabri, M. Puteh, and M. R. Mahmood, "A Review of Gravitational Search Algorithm," *Int. J. Advance. Soft Comput. Appl.*, vol. 5, no. 3, 2013.
- [46] R. J. Stuart, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice Hall, 2003.
- [47] B. Brewington, and et. al., "Mobile agents for distributed information retrieval, Intelligent Information Agents," Springer-Verlag, pp. 355–395, 1999.
- [48] E. Matthew, and G. M. Jardins, "Social Networks and Multi-agent Organizational Performance," *American Association for Artificial Intelligence*, pp. 32–37, 2004.
- [49] S. Sucheta, "Using Community Information to Improve the Precision of Link Prediction Methods," *21st international conference companion on World Wide Web*, pp. 607–608, 2012.
- [50] A. H. Mohammad, *Link Prediction In Social Networks*, Indiana university, Social Network Data Analytics, pp. 243–275, 2011.
- [51] E. Sherkat, M. Rahgozar, and M. Asadpour, "Ant Colony Approach to Link Prediction in Social Networks," *JCSE*, vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [52] N. K. Yazdani, "A Gravitational Search Algorithm for Multimodal Optimization," *Elsevier*, vol. 32, pp. 176–183, 2012.
- [53] P. Jun, and et. al., "Application of an Effective Modified Gravitational Search Algorithm for the Coordinated Scheduling Problem in a Two-Stage Supply Chain," *Springer*, vol. 70, pp. 335–348, 2014.
- [54] D. Mohammad, and H. Nezamabadi-pour, "Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks using an Improved Gravitational Search Algorithm," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 38, pp. 163–171, 2014.
- [55] T. Niknam, F. Bavafa, and M. Jabbari, "A Novel Self-Adaptive Learning Charged System Search Algorithm for Unit Commitment Problem," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 439–449, 2014.
- [56] J. N. Wang, and X. T. Li, "An Improved Gravitational Search Algorithm for Unconstrained Optimization," *Smart*
- [26] B. Bollobás, *Random Graphs*, Cambridge University press, 2001.
- [27] P. Erdős, and A. Rényi, "On the Evolution of Random Graphs," *Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, vol. 5, pp. 17–61, 1960.
- [28] D. Watts, and S. Strogatz, "The Small World Problem," *Collective Dynamics of Small-World Networks*, vol. 393, pp. 440–442, 1998.
- [29] B. Bollobás, *Modern Graph Theory*, Springer Verlag, 1998.
- [30] M. Girvan, and M. E. J. Newman, "Community Structure in Social and Biological Networks," *Proc. National Academy of Sciences*, vol. 99, no. 12, pp. 7821–7826, 2002.
- [31] S. Tsugawa, and H. Ohsaki, "Effectiveness of Link Prediction for Face-to-Face Behavioral Networks," *PLoS ONE*, vol. 8, no. 12, 2013.
- [32] A. L. Barabási, and et. al., "Evolution of the Social Network of Scientific Collaborations," *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, vol. 311, no. 3, pp. 590–614, 2002.
- [33] M. E. J. Newman, "Clustering and Preferential Attachment in Growing Networks," *Physical Review*, vol. 64, no. 2, 2001.
- [34] T. Murata, and S. Moriyasu, "Link Prediction of Social Networks Based on Weighted Proximity Measures," *IEEE/WIC/ACM International Conference On Web Intelligence*, pp. 85–88, 2007.
- [35] G. Salton, and M. J. McGill, *Introduction to Modern Information Retrieval*, McGraw-Hill Book Co., 1983.
- [36] L. A. Adamic, and E. Adar, "Friends and Neighbors on the Web," *Social Networks*, vol. 25, no. 3, pp. 211–230, 2003.
- [37] T. Sørensen, "A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons," *Biol. Skr.*, vol. 5, pp. 1–34, 1948.
- [38] E. Ravasz, and et. al., "Hierarchical Organization of Modularity in Metabolic Networks," *Science*, vol. 297, no. 5586, pp. 1551–1555, 2002.
- [39] E. A. Leicht, P. Holme, and M. E. J. Newman, "Vertex Similarity in Networks," *Physical Review*, vol. 73, no. 2, pp. 026120, 2006.
- [40] T. Zhou, L. Lü, and Y. C. Zhang, "Predicting Missing Links via Local Information," *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, vol. 71, no. 4, pp. 623–630, 2009.
- [41] L. Katz, "A New Status Index Derived from Sociometric Analysis," *Psychometrika*, vol. 18, no. 1, pp. 39–43, 1953.

اسماعیل بسطامی لیسانس خود را در رشته مهندسی کامپیوتر نرم‌افزار از دانشگاه جامع امام حسین (ع) و فوق‌لیسانس خود را در رشته معماری کامپیوتر از دانشگاه شاهد اخذ نموده و اکنون محقق دانشگاه جامع امام حسین (ع) است. تحقیقات مورد علاقه نامبرده امنیت نرم‌افزار،



داده‌کاوی و شبکه‌های اجتماعی است.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

esbastami@ihu.ac.ir

امین‌اله مه‌آبادی تحصیلات خود را در رشته مهندسی برق سخت‌افزار و معماری کامپیوتر به انجام رسانده و اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه شاهد است. تحقیقات مورد علاقه نامبرده شبکه‌های اجتماعی، حمل و نقل هوشمند،



پردازش تصویر، سیستم بر تراشه و طراحی ابزارهای شبیه‌سازی هوشمند است.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

mahabadi@shahed.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۴/۰۵

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۷/۰۱

نویسنده مرتبط: دکتر امین‌اله مه‌آبادی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

Materials and Intelligent Systems, vol. 143, pp. 409-413, 2010.

[57] R. Hassanzadeh, "A Multi-objective Gravitational Search Algorithm," Proc. Communication Systems and Network Conference, pp. 7-12, 2010.

[58] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, "BGSA: Binary Gravitational Search Algorithm," Nat. Comput., vol. 9, pp. 727-745, 2010.

[59] B. Shaw, V. Mukherjee, and S. P. Ghoshal, "A Novel Opposition-based Gravitational Search Algorithm for Combined Economic and Emission Dispatch Problems of Power Systems," Electrical Power Energy System, vol. 35, pp. 21-33, 2012.

[60] D. J. Hand, "Measuring Classifier Performance: a Coherent Alternative to the Area Under the ROC Curve," Machine Learning, vol. 77, no. 1, pp. 103-123, 2009.

[61] A. Acquisti, and R. Gross, "Predicting Social Security Numbers from Public Data," PNAS, vol. 106, no. 27, pp. 10975-10980, 2009.

[62] X. Chen, M. Vorvoreanu, K.P.C. Madhavan, "Mining Social Media Data for Understanding Students' Learning Experiences," Learning Technologies, vol. 7, no. 3, 2014.

[63] R. Diestel, Graph Theory, Springer-Verlag, 2010.

[64] F. Benevenuto, and T. Rodrigues, "Characterizing User Behavior in Online Social Networks," Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference, pp. 49-62, 2009.

[65] L. Leydesdorff, "The Static and Dynamic Analysis of Network Data using Information Theory," Elsevier Science Publishers B.V., 1991.

[66] B. Taskar, M. F. Wong, P. Abbeel, and D. Koller, "Link Prediction in Relational Data," Advances in Neural Information Processing Systems, pp. 659-666, 2003.

[67] M. W. David, "Evaluation: From Precision, Recall And F-Measure To Roc," Informedness, Markedness & Correlation, Journal of Machine Learning Technologies, vol. 2, no. 1, pp. 37-63, 2011.

[68] F. Katsuhide, I. Takayuki, and K. Mark, "Efficient Issue-grouping Approach for Multiple Interdependent Issues Negotiation Between Exaggerator Agents," Decision Support Systems, vol. 60, pp. 10-17, 2014.

[69] V. A. Pham, and A. Karmouch, "Mobile Software Agents: An Overview," IEEE Communications Magazine, vol. 36, no. 7, pp. 26-37, 1998.

[70] V. D. Blondel, J. L. Guillaume, R. Lambiotte, and E. Lefebvre, "Fast Unfolding of Communities in Large Networks," Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, vol. 8, no. 10, pp. 10008, 2008.

¹ Individual

² Entity

³ Collaborating

⁴ Competing

⁵ Actor

⁶ Social Networks Analysis (SNA)

⁷ Social Science

⁸ Approach

⁹ Structural Analysis

¹⁰ Sociology

¹¹ Mathematics

¹² Computer Science

¹³ Economics

¹⁴ Communication Science

¹⁵ Psychology

¹⁶ Cascade

¹⁷ Link Prediction

¹⁸ Accuracy

¹⁹ Precision

²⁰ Recall

²¹ Big Data

²² Complex Network

²³ Gravitational Search Algorithm

²⁴ Proximity Measures

²⁵ Mutation

²⁶ Link Prediction

²⁷ Interaction

²⁸ Training Interval

²⁹ Test Interval

³⁰ Supervised

³¹ Supervised

³² Training

³³ Degree

³⁴ Snapshot

³⁵ Distance
³⁶ Preferential Attachment
³⁷ Transitivity
³⁸ Common Neighbors
³⁹ Jaccard's Coefficient
⁴⁰ Adamic and Adar
⁴¹ Resource Allocation
⁴² Resource
⁴³ Random Walk
⁴⁴ Katz
⁴⁵ PropFlow
⁴⁶ Matrix Forest Index
⁴⁷ Spanning Rooted Forest
⁴⁸ Forest
⁴⁹ Spanning Forest
⁵⁰ Spanning Sub-graph
⁵¹ Kirchhoff Matrix
⁵² heuristic
⁵³ Simulated Annealing
⁵⁴ Particle Swarm Optimization (PSO)
⁵⁵ Stochastic
⁵⁶ Exploration
⁵⁷ Exploitation
⁵⁸ Gravitational Search Algorithm (GSA)
⁵⁹ Position
⁶⁰ Inertial mass
⁶¹ Active Gravitational Mass
⁶² Passive Gravitational Mass
⁶³ Fitness Function
⁶⁴ Simulated Annealing
⁶⁵ Fitness Value
⁶⁶ Agent
⁶⁷ Multi-Agent System
⁶⁸ Security
⁶⁹ Portability
⁷⁰ Mobility
⁷¹ Communication
⁷² Resource Management
⁷³ Resource Discovery
⁷⁴ Control
⁷⁵ Data Management
⁷⁶ Louvain
⁷⁷ Accuracy
⁷⁸ Precision
⁷⁹ Recall
⁸⁰ scalable
⁸¹ MapReduce

شناسایی و ردیابی بی درنگ خودروها در سناریوهای حمل و نقل شهری براساس بینایی ماشین

امین اله مه آبادی

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله یک روش قابل اعتماد شناسایی، کلاسه بندی و ردیابی خودروها در سناریوهای مختلف ترافیک درون شهری به کمک تصاویر رنگی ویدیویی دریافتی از یک دوربین نظارتی ثابت تحت شرایط مختلف آب و هوایی ارائه می شود. این روش با استخراج خودکار تصویر زمینه و به روز کردن آن در چند فریم متوالی، مشکل تغییرات سریع و کند نور و محیط جاده را حل، و با موقعیت و مشکل کالیبراسیون دوربین تطبیق می یابد. ضمن عدم وابستگی به خطوط خط کشی و حرکت خودروها در بین خطوط، سایه های مزاحم خودی و پخشی خودرو، سایه های مزاحم کنار جاده و اثرات وزش باد، باران و برف را رفع می کند. همچنین برای تطبیق با تغییرات ساختاری و محیطی جاده، نیازی به حافظه یادگیری و پایگاه داده پیچیده ندارد. نتایج عملیاتی آزمایشات، مبین تشخیص دقیق خودروهای متحرک و عابرین، کارایی بالا ۹۹.۸٪ در شناسایی و ردیابی، و ۹۱٪ در کلاسه بندی خودرو است. با تنظیم فاصله و زاویه دوربین، شدت روشنایی و زمینه ساده تصویر دریافتی نتایج آزمایشات تجربی در سرعت و دقت تشخیص نتایج بهتری را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: حمل و نقل هوشمند، پردازش تصاویر ویدیویی رنگی، شناسایی خودرو، کلاسه بندی خودرو، تشخیص لاین.

۱- مقدمه

محیطی، شرایط مختلف آب و هوایی، و موقعیت دوربین های نظارتی مواجه است [۲۹]. عدم توجه به این مشکلات باعث کاهش دقت شناسایی، تشخیص و افزایش حجم عملیات پردازشی است و افزایش عملیات هزینه بر نظارتی برای نگهداری و کالیبراسیون دوربین ها و تجهیزات ترافیکی را می طلبد [۲۵]. مشکلات طراحی سیستم های تصویری بی درنگ عملیاتی مانند شناسایی و تعیین کلاسه خودرو، خواندن پلاک خودرو و عملیات تشخیصی تعیین حجم ترافیک در یک محیط واقعی، وابستگی بسیاری به تغییرات نور محیطی و سایه های ایجاد شده دارد که می تواند کارآمدی یک سیستم واقعی را به شدت زیر سوال ببرد [۲۶].

یکی از مهم ترین مباحث در زمینه مدیریت حمل و نقل، تخمین بار ترافیکی معابر مختلف (اعم از بزرگراه ها، خیابان ها و جاده ها) به همراه فرآیند شناسایی، تشخیص و ردیابی خودرو است [۳۹]. علاوه بر این، برای درک بهتر از ترافیک معابر، لازم است که کلاسه خودروها مانند موتورسیکلت، خودرو شخصی، اتوبوس و کامیون تعیین گردد. دلیل این عمل وجود قوانین مختلف حمل و نقل براساس

با گسترش حمل و نقل، مشکلات فراوانی برای جوامع انسانی به وجود آمده است. هزاران خودرو در یک زمان قصد عبور از یک معبر را دارند که سبب بروز ترافیک سنگین و هزینه های اتلاف وقت، افزایش مصرف سوخت، ازدیاد تخلقات رانندگی و تصادفات حادثه ساز است. در این میان نیروی انسانی به تنهایی قادر به مدیریت این حجم وسیع از مشکلات و معضلات مربوط به حمل و نقل نیست [۲۴]. راه حل غلبه بر این گونه مشکلات استفاده از سیستم های مدیریت هوشمند حمل و نقل است. سیستم هایی که قادر به انجام کار در شرایط گوناگون آب و هوایی و محیطی در موقعیت های گوناگون و به مدت طولانی باشند. به همین دلیل نیازمندی شدیدی و مداوم به طراحی و تکامل سیستم های سخت افزاری و نرم افزاری خاص آن ها مشاهده می شود. طراحی سیستم های عملیاتی بی درنگ در حمل و نقل هوشمند با مشکلات اساسی و لاینحل تغییرات ناگهانی و تدریجی بستر حرکت خودرو، نور

تفاوت‌های کلاسه خودرو از نظر تفاوت در سرعت جابجایی، تعداد سرنشینان، محیط و شرایط زمانی و مکانی مجاز حرکت بین کلاس‌های مختلف است. مثلاً خودروهای عمومی از وزن زیاد، تعداد سرنشینان بسیار، شعاع چرخش بزرگ و قدرت مانور کمتر برخوردارند تحت ضوابط ترافیکی خاص خود هستند [۲۶]. حرکت خودروهای با کلاس متفاوت معضلاتی مانند افزایش تخلفات، تصادفات و ایجاد ترافیک سنگین در معابر و به‌خصوص بزرگراه‌ها را ایجاد می‌کنند. مثلاً ۸۰ درصد از تصادفات جاده‌ای توسط خودروهای سنگین صورت می‌گیرد در حالی که تنها ۳ درصد از تردد خودروهای این معابر را تشکیل می‌دهند [۱]. همچنین در مطالعات [۲] و [۳] اعلام شد که نزدیک به ۷۲ درصد از ذرات معلق موجود در هوا، توسط خودروهای دیزلی (سنگین) تولید می‌گردد. به‌همین دلیل تنها شناسایی، ردیابی و احتساب خودروها کافی نیست و لازم است برای بسیاری از کنترل‌های ترافیکی موردنیاز، خودروها بر اساس نوع و ابعادشان تفکیک شوند.

دوربین‌های هوشمند به‌منظور نظارت ویدیویی بر حمل و نقل، از مزیت پردازش‌های محلی تصاویر برخوردار هستند. آن‌ها اطلاعات خاص و ضروری را از داده‌های ورودی دوربین‌های خود استخراج و پس از پردازش‌های، ذخیره یا محلی به گره‌های مرکزی ارسال می‌کنند. روش‌های ارائه شده به‌کمک تصاویر دوربین‌های ویدیویی، پردازش‌های شناسایی خودروها و کلاس‌بندی آنها را انجام می‌دهد. معمولاً بخش عمده این روش‌ها، نرم‌افزاری و بر مبنای الگوریتم‌ها و تکنولوژی‌های پردازش تصاویر استوار است [۳۹]. از سال ۱۹۸۰ تحلیل و پردازش تصاویر متوالی به‌عنوان موضوع‌های مختلف تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفت. مسایل بسیاری را به این طریق حل شد. حل مسایلی مانند فشرده‌سازی تصاویر متوالی، تشخیص دوبعدی و سه‌بعدی حرکت، نظارت و ردیابی اشیاء از این دسته هستند [۳۳].

از کاربردهای اصلی آن نیز می‌توان به فشرده‌سازی فیلم‌های ویدیویی، انتقال ویدیویی، اتوماسیون صنعتی و صنایع نظامی اشاره کرد. شناسایی خودروها یکی از کاربردهای نوین بینایی ماشین و تحلیل تصاویر متوالی در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند است. حجم تحقیقات برای شناسایی، ردیابی و تحلیل حرکت خودروها در چند سال اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته و نمونه‌های آن تشخیص پلاک خودرو [۴]، چراغ راهنمای هوشمند [۲۳] و سیستم‌های ردیابی خودروها برای جلوگیری از تخلفات مخصوصاً سرعت خودرو از طریق تصاویر ویدیویی دوربین‌ها است [۲۷]. در یک سیستم از این نمونه، تصویر پس‌زمینه با استفاده از تصاویر ویدیویی ورودی استخراج و به‌ازای چند فریم دریافتی به‌روز می‌شود. پس از استخراج پس‌زمینه، حسگرهای مجازی در هر فریم به نظارت و شناسایی می‌پردازند.

سایه از مشکلات اصلی در روش‌های بینایی ماشین برای درک دانش از تصاویر است. به‌منظور جلوگیری از وجود خطای محاسبات شناسایی و تشخیص، عملیات حذف سایه برای هر فریم انجام می‌گیرد. بعد از شناسایی خودرو، فرآیندهای ردیابی و کلاس‌بندی خودرو انجام می‌گیرد. برای صحت و درستی نتایج، عملیات تشخیص و حذف خودکار سایه‌های خودرو و سایه‌های مزاحم جاده و خودرو، بسیار مهم است. به‌دلیل امکان پردازش محلی سیستم تشخیص خودروهای عبوری، عبور اشیاء خودرو از آن، اشیاء متحرک مزاحم بسیار در بستر حرکت، نیازمندی دقت در عملیات پردازش را می‌طلبد. استفاده توأم از روش‌های مقیاس‌گرایی و شی‌گرایی، فرآیند کلاس‌بندی خودرو را دقیق می‌کند. به‌منظور ساده‌سازی عملیات کلاس‌بندی، به‌طور خودکار طول آستانه کلاس‌بندی برحسب پیکسل تولید می‌شود [۳۱]. یک سیستم ردیابی و تشخیص خودرو خصوصاً برای حمل و نقل درون شهری دارای بخش‌های زیر (و هر بخش از مشخصات پیاده‌سازی خاص خود برخوردار) است:

- اطلاعات اولیه سیستم (دارای سابقه، تولید خودکار)

- اطلاعات تصاویر پیش‌زمینه و پس‌زمینه (دارای سابقه، تولید خودکار)
 - دریافت تصاویر ویدیویی دوربین (خاموش، مستقیم با تأخیر، بی‌درنگ)
 - پیش‌پردازش تصاویر ویدیویی (اجباری، حسب نیاز)
 - استخراج تصویر پس‌زمینه (پیش‌ساخته، تولید خودکار)
 - حذف سایه‌های اجسام متحرک (اجباری، خودکار)
 - حذف سایه‌های اجسام محیطی (اجباری، خودکار)
 - شناسایی خودروهای عبوری (دقیق، باخطا)
 - ردیابی خودروهای عبوری (محل‌گرا، شی‌گرا، ترکیبی)
 - کلاس‌بندی خودروهای عبوری (مقیاس‌گرا، شی‌گرا، عامل‌گرا)
 - تشخیص تصادف یا هشدارهای خروج از لاین (دقیق، نسبی)
- ما یک روش خودکار بینایی برای نظارت ترافیک شهری را ارائه می‌دهیم که با اخذ تصاویر رنگی ویدیویی، ضمن استخراج و به‌روز کردن تصویر زمینه، حذف سایه‌های مزاحم محیطی و اجسام متحرک، کار شناسایی خودرو و استخراج جاده و لاین را برای ردیابی و کلاس‌بندی با تولید هشدارهای تشخیص خروج از لاین انجام می‌دهد. به‌طور خلاصه نوآوری‌های ما در این مقاله عبارتست از:
- ارائه روش نوین شناسایی و ردیابی خودروهای درون شهری از تصاویر رنگی ویدیویی با سرعت و دقت مناسب سیستم بی‌درنگ.
 - تشخیص خودکار خیابان و اخذ خطوط خط‌کشی در چند فریم متوالی، بدون اطلاعات از پیش تعیین‌شده و تنظیمات طاقت‌فرسای محیط عملیاتی.
 - استفاده از حسگرهای مجازی تشخیص و ردیابی خودروها، مستقل از ساختار جاده و خطوط خط‌کشی با قابلیت تشخیص توقف خودرو.
 - تشخیص کلاسه خودرو و حذف مزاحم‌های طبیعی کنار جاده با کنترل حرکت خودرو در لاین.
 - تطبیق آرام روش با تغییرات ساختاری دراز مدت و تغییرات عارضی موقت جاده.
 - تطبیق با تغییرات آرام و سریع نور محیطی، اثرات وزش باد و سرعت حرکت خودروها.
 - مقاوم در برابر تغییرات سریع و گند نور و نویزهای متداول با حذف سایه‌های خودی و پخشی خودروها به همراه سایه‌های مزاحم کنار جاده.
- در ادامه مقاله و در بخش ۲ روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. در بخش ۳ کارهای مرتبط با مساله بیان می‌شود. بخش ۴ به شیوه استخراج خودکار پس‌زمینه اشاره دارد. بخش ۵ روش حذف سایه‌های مزاحم خودرو و جاده را ارائه می‌کند. بخش ۶ به بحث شناسایی، ردیابی، کلاس‌بندی خودروها و تکنیک‌های خاص استفاده شده آن می‌پردازد. در بخش ۷ به نتایج آزمایشات و تحلیل آن‌ها پرداخته می‌شود. نهایتاً در بخش ۸ نتیجه‌گیری مقاله صورت می‌گیرد.

۲- روش پیشنهادی

پیچیدگی تشخیص خودکار خودرو در ساختارهای درون شهری متفاوت و بسیار مشکل‌تر از عملیات برون شهری و بزرگراه‌ها است. اگر طراحی محیط جاده درون شهری از استاندارد بالا برخوردار باشد برای طراحی سیستم نظارتی خودکار یک مزیت مثبت است. طراحی استاندارد خیابان‌ها، محیط کار را برای آشکارسازی، تشخیص، و ردیابی خودکار خودروها در تصاویر ویدیویی آسان می‌سازد. لذا برای رفع مشکلات آن‌ها، استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های ساده کفایت می‌کند و سبب کاهش هزینه‌های نظارتی است. طراحی سیستم‌های کاربردی نظارتی برای جاده‌های استاندارد کم هزینه است. زیرا این محیط برای پیاده‌سازی سیستم‌های نظارتی خودکار، از موانع طبیعی و محیطی (مانند کوه‌ها، درختان و ساختمان‌های

این ساختارها، مشکلات زیادی برای نور و روشنی طبیعی محیطی ایجاد می‌کند که الگوریتم‌های تشخیص را با خطا مواجه می‌سازد و لازمه حل آن درج تدابیر خاص درون سیستم است.

شکل ۱ محیط سیستم عملیاتی و شکل ۲ بلاک دیاگرام روش پیشنهادی با مراحل تشخیص، ردیابی، حذف سایه، احتساب و کلاسه‌بندی خودرو را نمایش می‌دهد. به محض تشخیص خودرو، شی مربوط به آن تولید و در سیستم جریان می‌یابد. شی خودرو با توقف خود مشکل انسداد، و با حرکت خود جریان ترافیک را نشان می‌دهد و زمانی که از مسیر حسگرهای مجازی انتهایی خارج می‌شود شی تولیدی آن از سیستم حذف می‌گردد (شکل ۲). از مشابه این عملیات برای تشخیص لاین‌های خیابان نیز استفاده می‌شود. با تولید شی لاین و همجواری آن با اشیاء دیگر مانند خودروها، مشکلات نزدیکی و تداخل آنها تفسیرهای ترافیکی مانند تصادف یا خروج از لاین را تداعی می‌کند.

۳- کارهای مرتبط

برای تشخیص، ردیابی و کلاسه‌بندی خودروها از روش‌های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری استفاده می‌شود. در حال حاضر روشی که بیشترین استفاده را در شمارش خودروها دارد، استفاده از حلقه‌های مغناطیسی قابل نصب در کف خیابان است [۴]. با این حال، نوع تک حلقه‌ای^۱ این حسگرها به صورت مستقیم قادر به شناسایی ابعاد خودروهای سنگین نیست. اگر چه در نوع دوحلقه‌ای^۲ این امکان فراهم شده ولی معابر کمی به این نوع سیستم‌ها مجهز شده‌اند [۵]. به دلیل مشکلات حلقه‌های مغناطیسی، برای تعیین پارامترهای خودرو لازم است از تصاویر ویدیویی استفاده شود. این امر از محورهای تحقیقاتی روز محسوب شده و استفاده از حسگرهای فشار، امواج ماورای صوت و دوربین‌های ویدیویی در بسیاری از کشورها در حال گسترش است [۳۰، ۲۵]. محققان روش‌های مختلفی را طرح و سیستم‌های با کارایی قابل قبول تولید کرده‌اند.

دو گام مهم در تشخیص و احتساب خودروها با استفاده از تصاویر متوالی عبارت از بخش‌بندی حرکت و پردازش نتایج آن است [۳۱]. فرآیند بخش‌بندی حرکت، به کلیه عملیات جداسازی خودروهای در حال حرکت از زمینه ثابت گفته می‌شود. در اغلب موارد زمینه بدون تغییر و موقعیت دوربین، ثابت است. سه روش کلی برای بخش‌بندی حرکت شامل روش تفاضلی، روش زمینه، و روش تشخیص ویژگی‌ها است که به بیان آن‌ها می‌پردازیم.

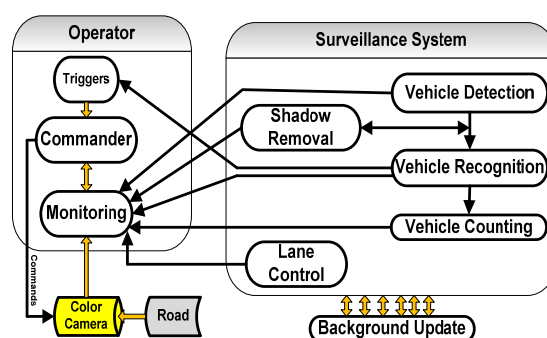
۱- روش تفاضلی بر اساس تفاضل فریم‌های متوالی، برای محو زمینه ثابت و تعیین ویژگی‌های حرکت مانند بخش‌بندی (متناظر با حرکات وسایل نقلیه در محیط) انجام می‌گیرد و تنها زمانی مناسب است که موقعیت دوربین ثابت باشد. دقت بخش‌بندی با افزایش زمان بین دو فریم متوالی کاهش می‌یابد و در برابر تغییرات نور حساسیت کمتری دارد.

۲- روش زمینه نیز مانند روش تفاضلی، تنها وقتی مناسب است که مکان دوربین ثابت باشد. این روش، تصویر زمینه را با استفاده از تعداد زیادی فریم و مشتقات آن‌ها بازسازی می‌کند [۱۹]. با دستیابی به تصویر نسبتاً خوب زمینه، تصویر زمینه از فریم‌های بعدی تفریق می‌شود تا اشیاء متحرک تشخیص داده شوند. این روش عملکرد بهتری نسبت به روش تفاضلی دارد [۲۰]. ایراد آن برخورداری از حجم زیاد پردازش و محاسبات برای بازسازی تصویر زمینه است. حساسیت بیشتری به تغییرات نور دارد و نیازمند تعداد زیادی فریم است.

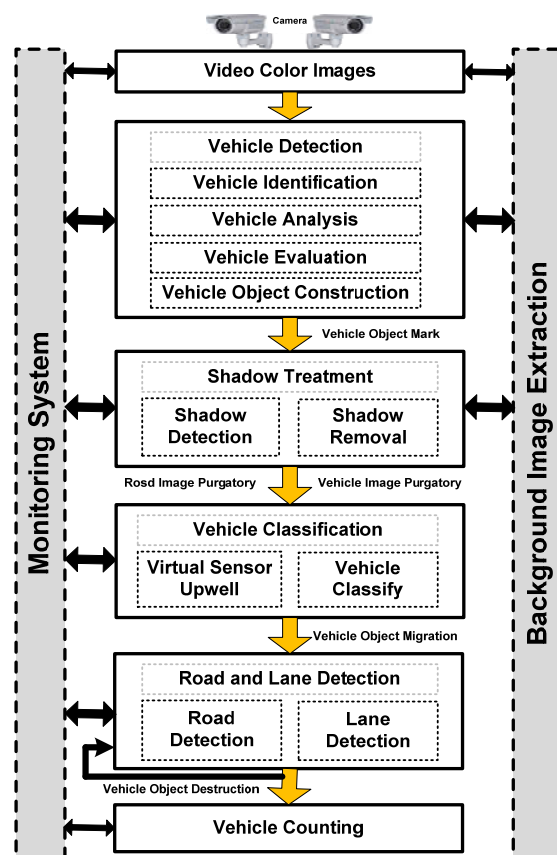
۳- روش تشخیص ویژگی‌ها به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان روش استفاده از ویژگی‌های تصویر برای بخش‌بندی حرکت است و در آن ویژگی‌هایی مانند لبه‌ها و گوشه‌های خودرو تشخیص داده می‌شوند. سپس این ویژگی‌ها با تحلیل حرکت‌شان در فریم‌های متوالی دسته‌بندی و پس از آن به کمک

بلند کنارجاده و عارضی (مانند سایه درختان و ساختمان‌ها) کمتری برخوردار است.

این مقاله یک روش پیشنهادی خودکار بینایی برای نظارت ترافیک شهری با کاربرد واقعی را ارائه می‌دهد. این روش اخذ تصاویر (بی‌درنگ)، استخراج و تجدید تصویر زمینه (خودکار)، حذف سایه‌های مزاحم محیطی و اجسام متحرک (خودکار)، بخش‌بندی شی، بخش‌بندی خودرو (دقیق)، استخراج جاده و لاین (خودکار و شی‌گرا)، تشخیص خودرو (دقیق)، ردیابی خودرو (محل‌گرا و شی‌گرا) و کلاسه‌بندی آن (شی‌گرا) را همراه کنترل لاین (هشدار تشخیص خروج از لاین و احتمال تصادف) انجام می‌دهد. برایتاییدروش، آزمون‌هایی از تصاویر رنگی ویدیویی شهری تحت شرایط مختلف آب و هوایی و تغییرات نور اخذ شده و از سرعت پردازش خوب برخوردار است. از جهت مطالب ذکر شده و طراحی جاده‌های غیر استاندارد از نظر نصب سیستم‌های نظارتی، یک سیستم ایرانی خودکار دارای چالش‌های محیطی و عارضی بسیاری است لذا ما مشکل‌ترین کار را خصوصاً برای درختان و موانع کنار خیابان داریم.



شکل ۱- محیط سیستم عملیاتی



شکل ۲- بلاک دیاگرام روش شناسایی و ردیابی خودرو

پویا از تصاویر استخراج می‌کنیم و تنها ابعاد خودروها (نسبت تقریبی طول به عرض) برای خودروهای سواری و سنگین مقدار دهی اولیه می‌شوند [۳۳].

ممکن است تصاویر ورودی به دلیل کمی کیفیت نیازمند پیش‌پردازش باشند. هدف از انجام پیش‌پردازش، تولید تصاویری با کیفیت بهتر برای انجام پردازش‌های اصلی است. هرچه تصاویر دریافتی دارای کیفیت بهتری باشند، الگوریتم‌های پردازش، ساده‌تر و با خطای کمتر همراه خواهند بود. به دلایل وجود نویز و دیگر تغییرات ناشی از لرزش دوربین در تصاویر ویدیویی، نیازمند عملیات پیش‌پردازش هستیم. در روش ما اگر نویز تصاویر لحظه‌ای، محدود و کم باشد نیازی به حذف آن نیست و روش قادر است که با دقت مناسبی به کار خود ادامه دهد. از آنجا که موقعیت دوربین ثابت و روش دارای قدرت تطبیق خوب دریافت تصاویر متوالی است لذا لرزش احتمالی دوربین تأثیر چندانی در عملیات ندارد. به همین دلیل از انجام عملیات حذف لرزش دوربین صرف‌نظر شده است.

استفاده از تکنولوژی‌های پردازش تصویر برای تشخیص خودرو یکی از عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده در مدیریت حوزه حمل و نقل هوشمند است [۲۵، ۲۶، ۲۷]. لای و همکاران در [۶] نشان دادند که دقت در تخمین ابعاد خودرو می‌تواند با استفاده از توابع نگاشت مختصات^{۱۰} انجام گیرد. هم چنین روش ارایه شده توسط آن‌ها قادر است که با دقت ۹۰ درصد، ابعاد خودرو را تخمین بزند. با این حال، این روش نیازمند کالیبراسیون دوربین^{۱۱} است [۲۸]. در روش ما نیازی به عملیات تنظیمات مداوم و دقیق کالیبراسیون دوربین ندارد و از دقت تشخیص بسیار بالایی برخوردار است. البته این تغییرات نباید فعالیت‌های اساسی را مختل کند.

بیشتر سیستم‌های موجود که با ساختار تصاویر خاکستری کار می‌کنند نیازمند قدرت پردازش زیاد هستند. به‌طور مشابه، پردازنده‌های خاص تصاویر ویدیویی نیز طراحی و توسعه یافته‌اند که قادر به انجام این کارها هستند. با این حال هزینه این پردازنده‌ها نسبتاً گران و نیازمند کالیبراسیون دوربین است. به‌طور کلی کالیبراسیون این سیستم‌ها نیازمند اخذ اطلاعات جامع از خیابان و نیز اطلاعات دوربین (همچون ارتفاع و زاویه دوربین) است که به دست آوردن آن‌ها به سادگی امکان‌پذیر نیست [۷]. روش ما وابستگی زیاد و اساسی به سخت‌افزارهای خاص و ارتفاع و زاویه دوربین‌ها ندارد و به دلیل استفاده از تصاویر رنگی دارای سرعت و دقت است. همچنین مطالعات [۸، ۹، ۱۰]، که به ارزیابی برخی از این سیستم‌های تجاری پرداخته‌اند، دریافته‌اند که سایه‌ها و نیز بازتاب نور می‌توانند سبب بروز مشکلاتی همچون تشخیص اشتباه خودرو و یا تشخیص زود هنگام خودرو گردند. در [۱۱] مبنای کار، ردیابی نواحی^{۱۲} خاص است. در آن کلیه نواحی متحرک نسبت به پس‌زمینه، خودرو محسوب شده و ردگیری می‌شوند. اما در آن مقاله اشاره‌ای به مشکلات مربوط به سایه خودروها نشده لذا تنها قابلیت استفاده در مواردی خاص را دارد. روش ما ضمن تشخیص دقیق سایه‌های خودرو، آن‌ها را حذف می‌کند.

مطالعاتی نیز برای تشخیص جاده و لاین اخیراً صورت گرفته است. این عملیات نیازمند استخراج جاده، شماره لاین‌ها و موقعیت آن‌ها، ادغام، تفکیک و یافتن جاده و لاین در سناریوهای شهری است [۳۴، ۳۵]. مدل‌های بسیار کمی برای تشخیص جاده و لاین براساس بینایی عادی (یک دوربین برای تصاویر دوبعدی)، بینایی استریو (دو دوربین برای تصاویر سه بعدی)، مشخصات دینامیکی خودرو (ابعاد خودرو و واحدهای اندازه‌گیری داخل خودرو^{۱۳})، تشخیص نور خودرو و مرتب‌سازی آن^{۱۴} (نیازمند حسگرهای خاص)، اطلاعات جهانی موقعیت خودرو (سیستم اطاعات جغرافیایی^{۱۵}، موقعیت‌یاب جهانی^{۱۶} و نقشه‌های دیجیتالی^{۱۷})، و دینامیک رفتاری خودرو^{۱۸} (سرعت، سرعت انحراف و شتاب) ارایه شده است [۳۶-۳۹]. هرکدام از این مدل‌ها در محدوده خاص عملیات یک سیستم ردیابی (به شرح شکل ۳) کارایی دارند.

دسته‌ای از ویژگی‌ها، خودروی در حال حرکت را از زمینه متمایز می‌کند. این روش امتیازات زیادی دارد و حتی در هنگام نزدیکی زیاد خودروها به علت حجم بالای خودروها، حداقل یک ویژگی‌های آن قابل مشاهده و کارآ است. بنابر این همواره امکان تشخیص خودرو در آن وجود دارد [۲۱].

بخش‌بندی تصویر می‌تواند بی‌درنگ انجام شود زیرا الگوریتم‌های تشخیص ویژگی به اندازه کافی سریع هستند. به علت سرباری زیاد عملیات بازسازی تصویر، انجام این کار در روش زمینه امکان‌پذیر نیست. این ویژگی‌ها می‌توانند با مدل‌های مختلف خودروها مطابقت داده شوند و نیازی به ثابت بودن موقعیت دوربین نیست. عیب این روش دسته‌بندی دقیق ویژگی‌ها برای تطبیق مدل خودرو در موقعیت‌های متفاوت است که به حجم زیاد اطلاعات برای تشخیص انواع خودرو نیاز دارد. با این‌که از سرعت اجرای خوبی برخوردار است ولی پیاده‌سازی الگوریتم‌های آن برای برخورداری از زمان اجرای کوتاه، نیازمند سخت‌افزارهای قدرتمند و پرهزینه است. با این حال به دلیل مزایای زیاد ذکر شده، تحقیقاتی در این زمینه در حال انجام است که برای آگاهی از جزئیات بیشتر به [۲۲] مراجعه کنید.

قدم بعدی، پردازش نتایج حاصل از بخش‌بندی حرکت است تا جایی که پارامترهای موردنیاز ترافیک بتوانند محاسبه شوند. این روش پردازش و محاسبه، کاملاً به نوع پارامترها و کاربردهای سیستم بستگی دارد. مثلاً روش محاسبه سرعت خودروها با روش محاسبه حجم ترافیک کاملاً متفاوت است. پارامترهای حاصل می‌توانند در یک پایگاه داده ذخیره و یا آن که مستقیماً در اختیار کاربر یا سیستم دیگری قرار گیرند.

سیستم‌های تشخیص خودرو و ترافیک، تنها بر روی تصاویر دارای خودروها و جاده‌ها کار می‌کنند. تشخیص خودرو براساس بخش‌بندی حرکت به عملیات جداسازی خودروهای در حال حرکت از زمینه ثابت می‌پردازد. به دو روش عمده ایجاد فرضیه^۲ (فرض محل حضور خودروها در تصویر) و تایید فرضیه^۴ (بررسی برای تایید محل حضور خودروها در تصویر) تقسیم می‌شود. روش ایجاد فرضیه دارای متدهای دانش‌گرا^۵، بینایی-استریو^۶ و حرکت-گرا^۷ تقسیم‌بندی می‌شود. روش تایید فرضیه به متدهای الگو-گرا^۸ و ظاهر-گرا^۹ تقسیم می‌گردد. بنابر این داشتن مشخصات اتومبیل در این سیستم‌ها یکی از مباحث مهم است. ویژگی‌های این شی متحرک، به عنوان دانش و اطلاعات طراحی سیستم در نظر گرفته می‌شود. این اطلاعات می‌تواند برای بهبود کارایی و حل مشکل آن‌ها به کار رود و وجود این اطلاعات ضروری است [۲۹]. برای اطلاع بیشتر و دقیق روش‌های حل آن به [۴] مراجعه کنید.

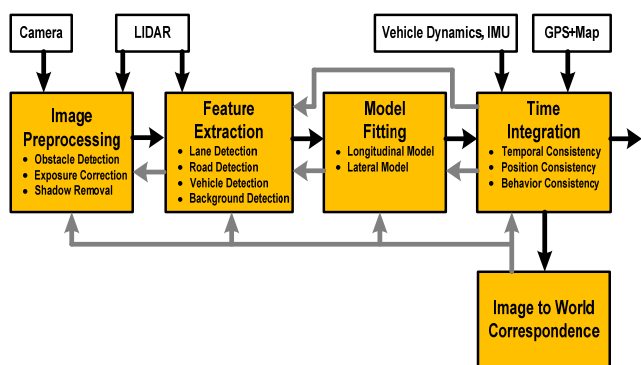
با استفاده از این اطلاعات، سرعت و دقت عملیات بخش‌بندی حرکت می‌تواند افزایش یابد. مثلاً دانستن حرکت خودروها در طول خیابان و در مسیرهای معین، برای ردیابی آن‌ها در سلسله‌ای از تصاویر بسیار مفید است. اطلاعات این مسیرها می‌تواند در کاهش محدوده تصویر، جهت پردازش و افزایش سرعت جستجو و ردیابی برای حالت بی‌درنگ کمک زیادی کند. اطلاعاتی در مورد موقعیت و جهت دوربین، محدوده شدت و تغییرات نور و نرخ فریم بر ثانیه، مثال‌هایی از این نوع اطلاعات هستند [۳۳].

پیش از آغاز اجرای عملیات، با فرض برخورداری از تصاویر ویدیویی، مقداردهی اولیه مقادیر از قبیل آستانه تشخیص خودرو و موقعیت حسگرهای مجازی برای تشخیص خودرو مشخص می‌شوند. سپس این مقادیر براساس میزان روشنایی تصویر، خطوط لاین بین خیابان‌ها و تطبیق با مسیر حرکت خودرو، باید سازماندهی شوند. همچنین اطلاعات اولیه پیش‌زمینه و پس‌زمینه مانند اطلاعات جاده و خودرو، در ابتدا باید در اختیار سیستم قرار گیرد. روش پیشنهادی ما به دلیل خودکارسازی این عملیات، به اطلاعات اولیه زیادی نیاز ندارد و نیازمند پایگاه داده خاصی نیست. بخشی از اطلاعات اولیه موردنیاز به‌طور خودکار می‌تواند از تصاویر ورودی استخراج شود. همچنین اطلاعات خیابان و خودروها را به طور

از Rbg, Gbg, Bbg نمایش داده می‌شود و در آن مقادیر $BG_{i,j} = \{Rbg, Gbg, Bbg\}$ رابطه (۱) بدست می‌آیند.

$$BG_{i,j} = \begin{cases} Rbg = \text{Median}\{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\} \\ Gbg = \text{Median}\{G_1, G_2, G_3, \dots, G_n\} \\ Bbg = \text{Median}\{B_1, B_2, B_3, \dots, B_n\} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، n تعداد فریم‌های نمونه و $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ مقادیر متناظر با رنگ قرمز، $G_1, G_2, G_3, \dots, G_n$ مقادیر متناظر با رنگ سبز و $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ مقادیر متناظر با رنگ آبی برای پیکسل با موقعیت (i, j) در فریم‌های $1, 2, 3, \dots, n$ است. فرض روش فوق آن است که مقادیر میانی، به احتمال زیاد مقادیر تصویر پس‌زمینه را تشکیل می‌دهند که این فرض برای خیابان‌های دارای بار ترافیکی متوسط به خوبی عمل می‌کند [۵].



شکل ۳- تجزیه عملیاتی یک سیستم عمومی نظارت خودرو



(الف)



(ب)

شکل ۴- (الف) فریم نمونه (ب) پس زمینه استخراجی متناظر با فریم نمونه

شکل ۶ (الف) تصویر یک خیابان و شکل ۶ (ب) تصویر پس‌زمینه بدست آمده با روش فوق را نشان می‌دهد. یکی از اشکالات وارد به این روش، نیاز مرتب‌سازی

در بیشتر عملیات نظارتی درون شهری نیازمند داده‌های دوربین و روش‌های بینایی ماشین هستیم. بعضی از روش‌های ارائه شده بیشتر نقش سیستم‌های کمکی را بازی می‌کنند. روش‌های فوق خیلی گران و نیازمند ابزارهای خاص هستند یا با چالش‌های پردازشی مواجه‌اند. هنوز پرکاربردترین ساختار استفاده از دوربین است و برای کسب اطلاعات بیشتر به [۳۹] مراجعه شود. گرچه چندین سیستم تجاری مبتنی بر پردازش تصویر جهت جمع‌آوری داده‌های ترافیکی حمل و نقل، توسعه یافته‌اند ولی دارای مشکلاتی از قبیل نیاز به کالیبراسیون دوربین، عدم دقت کافی در شرایط گوناگون آب و هوایی، و مشکلات سایه‌ها تحت شرایط متفاوت تغییر شدید و آرام نورهای محیطی درون شهری هستند [۲۳]. در این مقاله سعی شده تا سیستمی ساده ارائه گردد که از قابلیت اعتماد برخوردار باشد و بر مبنای تصاویر دریافتی از دوربین‌های رنگی عمل کند.

۴- استخراج تصویر پس‌زمینه

اولین مرحله در کلاس‌بندی خودرو، استخراج مستقیم پس‌زمینه^{۱۹} است که باید برای مقاومت در برابر تغییرات، به‌روز شود. تصویر پس‌زمینه خیابان و محیط، ملاک مقایسه و بدست آوردن اشیاء متحرک (خودروها یا پیش‌زمینه) است. روش‌های مختلفی برای استخراج تصویر پس‌زمینه ارائه گردیده که در ادامه به معرفی مهم‌ترین روش‌های آن خواهیم پرداخت.

۱- **گرفتن تصویر از زمینه یکی از اولین و ساده‌ترین روش‌ها** است که معمولاً به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا در محیط‌های باز، شرایط نور در طول روز تغییرات زیادی دارد و به تعداد زیادی تصویر از زمینه در ساعت‌های مختلف روز و شرایط نور متفاوت نیاز دارد.

۲- **متوسط‌گیری** از چندین تصویر محیط و با حضور اشیاء متحرک و ذخیره یک مقدار میانگین برای هر پیکسل از تصویر استفاده می‌کند که برای بدست آوردن یک تصویر با کیفیت خوب باید تعداد فریم‌های آن زیاد باشد.

۳- **تفاضل پویا** از چند قاب جداگانه برای اصلاح تصویر زمینه به‌صورت بازگشتی استفاده می‌کند. در این روش، اشیاء متحرک با سرعت کم، جزیی از تصویر زمینه فرض می‌شوند ولی در دراز مدت از زمینه حذف می‌گردند. نمونه‌ای از خطای این روش [۲۳]. در شکل ۴ آمده است که در دراز مدت اثر تغییرات کوتاه و سریع نور رفع می‌شود. برای آگاهی بیشتر به [۲۳] مراجعه کنید.

روش مورد استفاده پیشنهادی ما، استخراج پس‌زمینه را با استفاده از مقدار میانی هر پیکسل (از بین چندین تصویر نمونه ورودی یک دوربین ویدیویی) اخذ می‌شود. کلیه تصاویر استخراجی، رنگی سه کاناله و در فضای RGB هستند. روند عملیات استخراج پس‌زمینه (به تبع آن پیش‌زمینه) در شکل ۵ آمده است.

۴-۱- استخراج تصویر پس‌زمینه ابتدایی

برای استخراج تصویر پس‌زمینه، از تعداد مشخصی از تصاویر ویدیویی نمونه‌برداری می‌شود. به‌دلیل آن که مشخصه 25 fps ویدیویی ورودی ما برابر با ۲۵ و از سرعت حرکت خودروها بیشتر است، تفاوت محسوسی بین یک فریم و فریم بعدی وجود ندارد لذا نیازی به استفاده از کلیه فریم‌ها نیست. در روش ما جهت افزایش سرعت کار، از هر ۲۵ فریم متوالی (۱ ثانیه از زمان تصاویر ویدیویی)، ۱ فریم به‌عنوان نمونه استخراج می‌شود. مقادیر رنگ‌های هر پیکسل که در موقعیت (i, j) و در فریم t قرار دارد، به‌صورت $I_{i,j} = \{R_t, G_t, B_t\}$ نمایش داده می‌شوند. مقادیر رنگ‌های هر پیکسل تصویر پس‌زمینه که در موقعیت (i, j) قرار دارد نیز به‌صورت

عملیات استخراج تصویر پس‌زمینه و به‌روز کردن آن را به‌طور متناوب (مثلاً هر ۱۰ دقیقه یک بار) اجرا کرد.



شکل ۷- پنجره کنترلر خودکار بهره



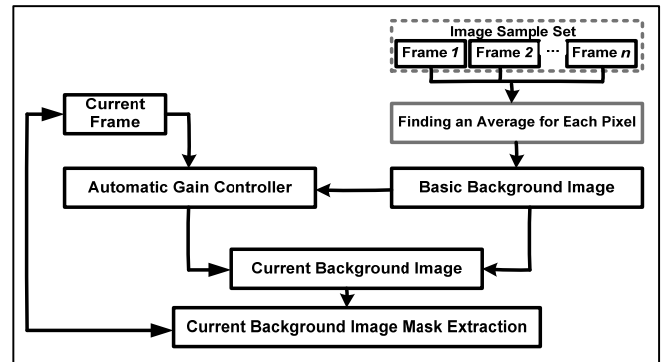
شکل ۸- اثر وزش باد بر درختان موجود در پس‌زمینه

برای حل مشکل دوم، در [۵] روشی پیشنهاد شد که در آن یک پنجره استاتیک به نام "کنترل خودکار بهره" در تصویر پس‌زمینه در نظر گرفته شود که همواره در تمامی فریم‌ها قابل مشاهده باشد (پنجره ۱ در شکل ۷). نکته‌ای که در انتخاب محل این پنجره کنترلر باید مد نظر واقع شود آن است که محلی قرار گرفتن آنجایی باشد که تنها تأثیرات نور محیط بتواند در آن اثر کند. این امر با نمونه‌برداری خودکار از سطح مسیر قابل تشخیص است. مثلاً اگر این پنجره بر روی تصویر درختان قرار گیرد (پنجره ۲ در شکل ۷)، به‌علت آن که وزش باد شاخه‌های درختان را به‌حرکت در می‌آورد، سبب تولید مقادیر نامعتبر توسط کنترلر می‌شود؛ در حالی که سطح خیابان فاقد این‌گونه تغییرات است (شکل ۸). اگر میانگین تغییرات شدت روشنایی به وجود آمده در هر فریم نسبت به پیکسل‌های مشابه در تصویر پس‌زمینه، به تصویر پس‌زمینه‌ای که برای مقایسه با فریم فعلی و استخراج پیش‌زمینه‌اش استفاده می‌شود، اعمال گردد روش قادر است که از رخداد خطاهای ناشی از تغییرات لحظه‌ای نور محیطی جلوگیری کند [۵]. میانگین تغییرات در پنجره استاتیک از رابطه (۲) حاصل می‌شود.

$$\overline{\Delta \text{int}} = \frac{\sum (bg \text{int}_{i,j} - img \text{int}_{i,j})}{A_{agc}} \quad (2)$$

که در آن $\overline{\Delta \text{int}}$ میانگین تغییرات شدت روشنایی در پنجره کنترل خودکار بهره، A_{agc} مساحت پنجره، $bg \text{int}_{i,j}$ شدت روشنایی پیکسل در موقعیت (i,j) در تصویر پس‌زمینه، و $img \text{int}_{i,j}$ شدت روشنایی پیکسل در موقعیت (i,j) در تصویر فعلی است.

پیکسل‌ها جهت یافتن مقدار میانی است. الگوریتم ارایه شده در این زمینه دارای پیچیدگی زمانی از درجه $O(n^2)$ و در بهترین حالت $O(n \log n)$ است لذا فرآیندی زمان‌بر است [۱۸]. ولی به‌دلیل آن که ما تنها از تعداد محدودی فریم (بین ۲۰ تا ۳۰ فریم) استفاده می‌کنیم، عملاً به‌صرفه است. ضمن آن که کلیه روش‌های دیگر نیز نیازمند پردازش بخشی از جریان ویدیویی برای یافتن پس‌زمینه هستند.



شکل ۵- بلاک دیاگرام استخراج ماسک پیش‌زمینه



(الف)



(ب)

شکل ۶- (الف) تصویر خیابان با خودروها (ب) پس‌زمینه استخراجی

۴-۲- به‌روز کردن تصویر پس‌زمینه

یکی از مشکلات الگوریتم‌های مبتنی بر پس‌زمینه، تأثیر تغییرات نور در استخراج پس‌زمینه است [۱۲]. به‌طور کلی دو نوع تغییرات عمده یعنی تغییرات تدریجی (یعنی تغییرات تدریجی مانند تغییرات نور آفتاب در طول روز) و تغییرات ناگهانی (یعنی مثلاً در اثر سایه ناشی از عبور ابر از مقابل آفتاب و یا بازتاب نور منعکس شده از خودروهای عبوری) ممکن است در تصاویر رخ دهد. در حالت اول، می‌توان

نمونه ماسک‌های استخراجی در شکل ۹ (به دلیل عدم وجود تغییرات ناگهانی نور محیط، نیاز به استفاده از کنترلر خودکار بهره ندارد) و شکل ۱۰ (به دلیل وجود تغییرات ناگهانی نور محیط، نیاز به استفاده از کنترلر خودکار بهره دارد) آمده است. همچنین پیش‌زمینه‌های استخراجی نیز در شکل ۱۱ و شکل ۱۲ ارائه شده‌اند. گرچه روش فوق به جز خودروها، بخش‌های دیگری از تصویر را نیز به‌عنوان پیش‌زمینه در نظر می‌گیرد ولی با استفاده از روش به‌کار رفته جهت شمارش و کلاسه‌بندی خودروها که در بخش ۵ شرح داده خواهد شد این مشکل حل می‌گردد. به‌علاوه حذف این نقاط به پردازش اضافی نیاز دارد که سبب کاهش سرعت برنامه می‌شود لذا از این گونه پردازش‌ها صرف‌نظر شده است. با این حال اگر نیاز به حذف نویز احساس شود می‌توان با استفاده از روش‌هایی اثرات نویز را کاهش داد.

۴-۴- استخراج جاده و تشخیص لاین

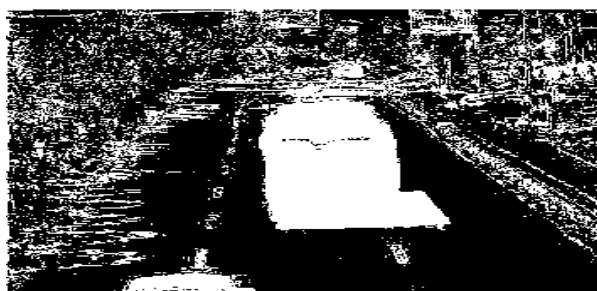
استخراج خیابان و تشخیص لاین، ابزار خوبی برای کنترل خودرو و ثبت تخلفات است. تشخیص مناسب آن می‌تواند در خودروهای هوشمند برای کنترل حرکت دوربین‌های داخل خودرو و دوربین‌های ترافیکی موثر باشد [۳۲]. در این بخش به روش استخراج نقاط عضو خیابان از تصویر پس‌زمینه می‌پردازیم.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰- (الف) تصویر ورودی (ب) ماسک محاسبه شده بدون استفاده از کنترلر خودکار بهره (ج) ماسک محاسبه شده با استفاده از کنترلر خودکار بهره



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹- (الف) تصویر ورودی (ب) ماسک محاسبه شده بدون استفاده از کنترلر خودکار بهره (ج) ماسک محاسبه شده با استفاده از کنترلر خودکار بهره

۴-۳- استخراج تصویر پیش‌زمینه

پس از استخراج پس‌زمینه، برای دستیابی به ماسک دربردارنده اجسام متحرک^{۲۲} ابتدا تفاضل بین تصویر ورودی (فریم فعلی) با تصویر پس‌زمینه محاسبه و سپس نتیجه حاصل به تصویر باینری تبدیل می‌شود. رابطه (۳) چگونگی محاسبه ماسک را نشان می‌دهد که در آن $TMinDiff$ مقدار آستانه^{۲۳} از پیش تعریف شده، I_i همان i امین تصویر ورودی، B تصویر پس‌زمینه، x و y به ترتیب عرض و ارتفاع پیکسل، و Δint مقدار محاسبه شده از رابطه (۱) است.

$$M_i(x, y) = \begin{cases} 1 & |I_i(x, y) - B(x, y) + \Delta int| > TMinDiff \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

برخوردار است ولی نتایج مطلوبی ارایه نمی‌دهد [۱۴]. روش رشد نواحی^{۲۸} [۱۵] بر اساس اعمال سایش^{۲۹} و آماس^{۳۰} در نواحی سایه قرار دارد که باید پیکسل‌های شروع مناسبی برای این کار در نظر گرفته و توسط کاربر تعیین شود. روش ما بر پایه روش ارایه شده در [۱۶] قرار دارد که نسبت به روش‌های فوق، ساده‌تر و دارای نتایج بهتری است. به‌علاوه در این روش کافی است که کاربر مقادیر آستانه چند پارامتر را تعیین کند و بقیه عملیات به‌صورت خودکار انجام می‌شود. پیش از شرح این روش، ابتدا به بیان ویژگی‌های پیکسل‌های سایه در تصویر می‌پردازیم.



(الف)



(ب)

شکل ۱۳- استخراج خیابان و خطوط (الف) $T_{Road}=10$ (ب) $T_{Road}=40$ 

شکل ۱۴- بهبود استخراج خیابان و خطوط شکل ۱۳

در هر تصویر ممکن است دو نوع سایه یعنی سایه خودی^{۳۱} و سایه پخشی^{۳۲} برای هر جسم موجود در پیش‌زمینه وجود داشته باشد [۱۷]. سایه خودی، سایه‌ای است که در داخل جسم قرار می‌گیرد و باید به عنوان بخشی از خودرو در نظر گرفته شود. سایه پخشی، ناحیه‌ای در تصویر است که در امتداد خودرو و در جهت تابش نور گسترده می‌شود و باید حذف گردد. روشنایی یا لومینانس^{۳۳} پیکسل‌های سایه پخشی کمتر از مقادیر متناظرشان در تصویر پس‌زمینه است [۱۶]. رنگ‌تابی

روش ارایه شده بر پایه الگوریتم‌های رشد ناحیه قرار دارد. ابتدا یک پیکسل از تصویر پس‌زمینه به‌عنوان بذر^{۳۴} انتخاب می‌شود. این پیکسل می‌تواند پیکسل میانی تصویر با مختصات $(\frac{Width}{2}, \frac{Height}{2})$ باشد، زیرا به احتمال فراوان این پیکسل عضو مجموعه پیکسل‌های خیابان است؛ در غیر این صورت چند نقطه کمکی دیگر به عنوان بذر انتخاب می‌شود. پس از انتخاب بذرها، عملیات رشد نواحی انجام می‌گیرد. رشد نواحی براین اساس است که اگر شدت روشنایی پیکسل‌های مجاور بذر، تفاوتی کمتر از یک مقدار آستانه با پیکسل بذر داشته باشند، به‌عنوان پیکسل خیابان برچسب می‌خورند. این روال ادامه می‌یابد تا زمانی که هیچ پیکسلی باقی نماند. نمونه نتیجه این عملیات در شکل ۱۳ آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بخش‌هایی از خیابان که شامل سایه اجسام محیطی هستند در ناحیه خیابان ادغام نشده‌اند. برای تصحیح تصویر، از سایش و آماس استفاده شده که نتیجه آن در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۱- پیش زمینه استخراجی شکل ۷ (الف)



شکل ۱۲- پیش زمینه استخراجی شکل ۱۰ (الف)

۵- حذف سایه

پیش از شمارش خودروها، لازم است که سایه اجسام متحرک (خودرو) از تصویر حذف گردد. علت این امر جلوگیری از رخداد خطاهای احتمالی است. مثلاً از آنجا که برای هر لاین^{۳۵} از خیابان، یک حسگر مجازی^{۳۶} موجود است، این امکان وجود دارد که سایه یک خودرو که در یک لاین تردد می‌کند در لاین مجاور قرار گیرد (شکل ۱۰ (الف)) و به‌عنوان یک خودروی دیگر شمرده شود. هم چنین سایه یک خودرو به آن چسبیده و در هنگام کلاسه‌بندی خودرو، جزیی از خودرو به حساب آید و در نتیجه محاسبه ابعاد واقعی خودرو دچار خطا شده و سبب کلاسه‌بندی اشتباه گردد. این‌گونه مشکلات هنگامی بحرانی است که در ساعاتی از روز (هنگام طلوع و غروب خورشید)، سایه اجسام طویل می‌شوند به این دلیل حذف سایه خودروها امری اجتناب ناپذیر است.

روش‌های زیادی برای حذف سایه ارایه شده‌اند. در روش اتسو [۱۳]^{۳۷}، تشخیص سایه بر مبنای شدت روشنایی پیکسل‌ها استوار و از سرعت بالایی

برای تعیین سایه بودن یک پیکسل از تابع $S_i(x,y)$ استفاده می‌شود. اگر مقدار این تابع زیاد باشد، پیکسل مورد نظر سایه فرض شده و حذف می‌گردد و غیر از آن پیکسل مورد نظر تغییری نمی‌کند. برای محاسبه تابع $S_i(x,y)$ از سه متغیر کمکی یعنی $SL_i(x,y)$ متناظر با تفاضل مقدار Y ، $SC_i(x,y)$ متناظر با تفاضل Cb و تفاضل Cr ، و $SG_i(x,y)$ متناظر با تفاضل گرادیان بین تصویر ورودی و تصویر پس‌زمینه استفاده می‌کنیم که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

۱- محاسبه $SL_i(x,y)$: فرض می‌کنیم که تفاضل روشنایی یا لومینانس برابر با $L_i(x,y)$ باشد که به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود که در این صورت $SL_i(x,y)$ برابر با رابطه (۷) است. نواحی با مقدار $SL_i(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با $SL_i(x,y)=0$ خودرو هستند.

$$L_i(x,y)=I_i(x,y)-I_{B,i}(x,y), \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y)=1 \quad (6)$$

$$SL_i(x,y)=\begin{cases} 1 & L_i(x,y)\leq TL1 \\ [(TL2-TL1)-L_i(x,y)]/(TL2-TL1) & TL1<L_i(x,y)<TL2 \\ 0 & L_i(x,y)\geq TL2 \end{cases} \quad (7)$$

۲- محاسبه $SC_i(x,y)$: فرض کنیم که تفاضل رنگ‌تاب یا کرومینانس برابر با $C_i(x,y)$ است که به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود. پس $SC_i(x,y)$ برابر با رابطه (۹) است. نواحی با مقدار $SC_i(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با $SC_i(x,y)=0$ خودرو است.

$$C_i(x,y)=|cbI_i(x,y)-cbB_i(x,y)|+|crI_i(x,y)-crB_i(x,y)|, \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y)=1 \quad (8)$$

$$SC_i(x,y)=\begin{cases} 1 & C_i(x,y)\leq TC1 \\ [TC2-C_i(x,y)]/(TC2-TC1) & TC1<C_i(x,y)<TC2 \\ 0 & C_i(x,y)\geq TC2 \end{cases} \quad (9)$$

۳- محاسبه $SG_i(x,y)$: فرض می‌کنیم که تفاضل رنگ یا لومینانس برابر با $L_i(x,y)$ است و با رابطه (۱۰) بیان می‌شود. در آن صورت $SG_i(x,y)$ برابر با رابطه (۱۱) است که در آن T_{G1} و T_{G2} مقادیر آستانه از پیش تعریف شده‌اند. نواحی با مقدار $SG_i(x,y)=1$ با احتمال زیاد سایه و نواحی با مقدار $SG_i(x,y)=0$ خودرو است.

$$G_i(x,y)=gI_i(x,y)-gB_i(x,y), \quad \forall(x,y) \text{ where } M_i(x,y)=1 \quad (10)$$

$$SG_i(x,y)=\begin{cases} 1 & G_i(x,y)\leq TG1 \\ [TG2-G_i(x,y)]/(TG2-TG1) & TG1<G_i(x,y)<TG2 \\ 0 & G_i(x,y)\geq TG2 \end{cases} \quad (11)$$

۴- ادغام SL ، SC و SG : با محاسبه $SL_i(x,y)$ ، $SC_i(x,y)$ و $SG_i(x,y)$ ، از ادغام آن‌ها طبق رابطه (۱۲)، به دلیل آن که برای تشخیص سایه پختی، به هر سه پارامتر $SL_i(x,y)$ ، $SC_i(x,y)$ و $SG_i(x,y)$ نیاز است لذا می‌توان آن‌را یک تابع AND منطقی تعریف کرد. حاصل ضرب هر سه پارامتر با رابطه (۱۳) بیان می‌شود.

$$S_i(x,y)=\mathfrak{A}[SL_i(x,y), SC_i(x,y), SG_i(x,y)] \quad (12)$$

$$S_i(x,y)=SL_i(x,y)\times SC_i(x,y)\times SG_i(x,y) \quad (13)$$

یا کرومینانس^{۳۴} پیکسل‌های سایه پختی مقداری ثابت یا کمی متفاوت با پیکسل‌های متناظرشان در پس‌زمینه است [۱۶]. تفاوت مقدار گرادیان^{۳۵} در پیکسل‌های سایه پختی با پیکسل‌های متناظر در پس‌زمینه کم و بالعکس این تفاوت برای پیکسل‌های خودرو زیاد است [۱۶].

۵-۱- الگوریتم حذف سایه

الگوریتم عملیات حذف سایه در شکل ۱۵ آمده است. در این روش و در ابتدا با استفاده از رابطه (۳) محل قرار گرفتن پیکسل‌های خودرو به‌دست می‌آید. نکته مورد توجه آن که با توجه به نتایج حاصل از آزمون ما، مقدار آستانه مورد استفاده لزوماً با مقدار $TMinDiff$ برابر نیست؛ بلکه باید از مقداری متفاوت استفاده شود. این مقدار را با $TMinDiff_Shadow$ و ماسک مورد نظر را با MF نمایش می‌دهیم. پس از تعیین ماسک پیش‌زمینه، مقادیر روشنایی^{۳۶}، رنگ‌تابی^{۳۷} و نیز گرادیان برای هر تصویر ورودی و نیز تصویر پس‌زمینه در نواحی دربرگیرنده پیش‌زمینه محاسبه می‌شود. سپس تابعی به نام "نمره اعتماد به‌سایه"^{۳۸} با استفاده از مقادیر بدست آمده، اقدام به تخصیص توزیع احتمال سایه می‌کند. به این معنا که مقادیر احتمال نزدیک به ۱، سایه و مقادیر نزدیک به صفر خودرو است. پس از تشخیص نواحی سایه، پیکسل‌های آن‌ها با مقادیر متناظرشان در تصویر پس‌زمینه مقادیر خروجی یک تصویر بدون سایه‌های متحرک خواهد بود. با توجه به موارد بیان شده در رابطه با پیکسل‌های سایه، با استفاده از رابطه (۴) از فضای RGB به فضای YCbCr می‌رویم. مقادیر گرادیان نیز با استفاده از عملگر سوبل با پنجره 3×3 از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} +0.2989 & +0.5866 & +0.1145 \\ -0.1688 & -0.3312 & +0.5000 \\ +0.5000 & -0.4184 & -0.0816 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} G_x &= (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \\ G_y &= (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \\ G &= \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \end{aligned} \quad (5)$$

۵-۲- محاسبه تابع

فرض می‌کنیم که پارامترهای زیر را از هر دو تصویر پس‌زمینه و تصویر ورودی در اختیار داریم:

$$I_i(x,y)=\begin{cases} I_{I,i}(x,y) \\ cbI_{I,i}(x,y), crI_{I,i}(x,y) \\ gI_{I,i}(x,y) \end{cases} \text{ و } B(x,y)=\begin{cases} I_B(x,y) \\ cbB(x,y), crB(x,y) \\ gB(x,y) \end{cases}$$

که در آن $x=0,1,\dots,W-1$ و $y=0,1,\dots,H-1$ عرض تصویر، H ارتفاع تصویر، i اندیس تصویر ورودی، $I_{I,i}(x,y)$ مقدار Y در پیکسل (x,y) از تصویر^۱، $crI_{I,i}(x,y)$ مقدار Cr و $cbI_{I,i}(x,y)$ مقدار Cb در پیکسل (x,y) تصویر^۲، $gI_{I,i}(x,y)$ مقدار گرادیان در پیکسل (x,y) تصویر^۳، $I_B(x,y)$ مقدار Y در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، $crB(x,y)$ مقدار Cr ، $cbB(x,y)$ مقدار Cb در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، $gB(x,y)$ مقدار گرادیان در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه، و $M_i(x,y)$ مقدار ماسک پیش‌زمینه در پیکسل (x,y) تصویر پس‌زمینه است.

مرحله قبل استفاده می‌کنیم. رابطه (۱۴) توصیف‌کننده این ماسک می‌باشد که در آن $E_i(x,y)$ ماسک مورد نظر و T_s مقدار آستانه است. در نمایش تصویر خروجی اگر $E_i(x,y)=1$ باشد، پیکسل $I_i(x,y)$ با پیکسل متناظرش در پس‌زمینه $B(x,y)$ تعویض می‌شود و در غیر آن بدون تغییر باقی می‌ماند. شکل ۱۶ (الف) ماسک $E_i(x,y)$ و شکل ۱۶ (ب) تصویر خروجی را نمایش می‌دهد.

$$E_i(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{(discarded) for } S_i(x,y) \geq T_s \\ 0 & \text{(retained) for } S_i(x,y) < T_s \end{cases} \quad (14)$$

۶- کلاسه‌بندی خودرو

پس از استخراج پس‌زمینه و حذف سایه اجسام متحرک، مرحله تشخیص خودروها آغاز می‌شود. برای تشخیص و شناسایی آن‌ها به‌ازای هر لاین، نیاز به یک حسگر مجازی داریم که به‌طور خودکار با تشخیص خطوط خیابان قابل تعیین است. البته در روش دوم طراحی ما، نیازی به درج ماسک نیست و با تشخیص خودرو متحرک و تخصیص یک سنسور ردیاب (در واقع با پیاده‌سازی ترد^{۳۹} در برنامه) تغییرات حرکت خارج از لاین‌ها نیز در تشخیص اثری ندارد و بسیار آسان عمل ردیابی چند تردی صورت می‌گیرد. حسگرهای مجازی شبیه به یک حلقه بسته هستند که در محل عبور خودروها در نظر گرفته می‌شوند و وظیفه مانیتور کردن ناحیه تعیین شده برای شناسایی حرکت خودروها را بر عهده دارند. همچنین به‌دلیل حرکت برخی خودروها بر روی خطوط جداکننده هر لاین (نه بین خطوط) باید یک حسگر مجازی نیز بر روی هر خط در نظر گرفته شود. در این مقاله، پنجره حسگرهای خودرو، از ۲ بخش تشکیل شده‌اند؛ بخش اول، خط ثبت^{۴۰} و بخش دوم، خط تشخیص^{۴۱} نامیده می‌شود (شکل ۱۷).

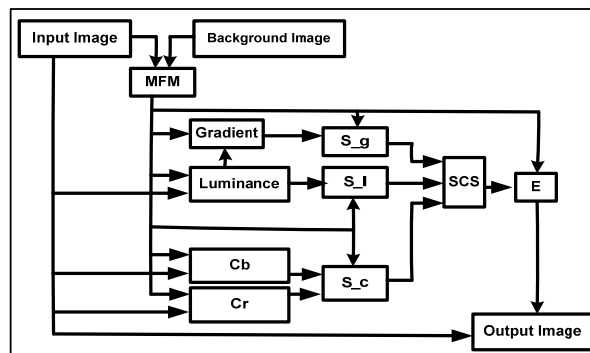
۶-۱- ثبت خودرو

در الگوریتم شمارش خودرو در هر فریم، پیکسل‌های موجود در خط ثبت (حسگر مجازی) بررسی می‌شوند. به‌محض آن که خودرو در این ناحیه قرار گیرد، تابع شمارش خودرو فعال و منتظر عبور و خروج کامل خودرو از خط ثبت می‌گردد. پس از خروج خودرو، بخش دوم که وظیفه مانیتور خط تشخیص را برعهده دارد، فعال می‌شود. حال اگر خودرو از این ناحیه عبور کند، خودرو شمارش و تابع به حالت غیر فعال می‌رود و تا زمان ارسال سیگنال فعال‌سازی از جانب خط ثبت در این حالت باقی می‌ماند.

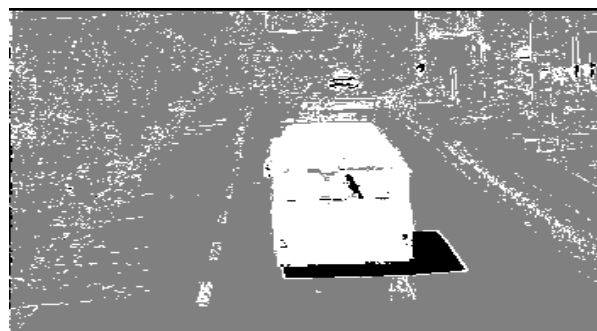
۶-۱-۱- اعلان متغیرها

فرض می‌کنیم که $p_{i,j}$ پیکسل عضو خط ثبت (یا تشخیص) با مختصات (x,y) عرض و y ارتفاع پیکسل در تصویر، $bg \text{ int}_{x,y}$ و $img \text{ int}_{x,y}$ به ترتیب شدت روشنایی پیکسل‌های پس‌زمینه و تصویر ورودی متناظر با $p_{i,j}$ و Δint برابر با مقدار بازگشتی از رابطه (۲) (تابع کنترل خودکار بهره) باشد. در این صورت میزان تغییرات بین تصویر پس‌زمینه و تصویر ورودی از رابطه (۱۵) حاصل می‌شود. از آنجا که بر روی تصاویر رنگی عمل پردازش را انجام می‌دهد لازم است که این رابطه بر اساس پیکسل‌های RGB تعیین شود.

$$D_{x,y} = bg \text{ int}_{x,y} - img \text{ int}_{x,y} - \Delta \text{int} \quad (15)$$



شکل ۱۵- بلاک دیاگرام حذف سایه خودرو



(الف)



(ب)

شکل ۱۶- (الف) ماسک $E_i(x,y)$ (ب) تصویر خودرو بدون سایه



شکل ۱۷- پنجره حسگر مجازی

۵- حذف سایه پخشی: جهت حذف سایه‌های پخشی خودروها باید ماسک در بردارنده این سایه‌ها را بدست آورد. برای این کار از تابع SCS محاسبه شده در

۶-۱-۲- ثبت خودرو

۶-۱-۳- تشخیص خودرو

پس از آن که ورود کامل خودرو به داخل پنجره توسط تابع $RegistrationLineFunction$ اعلام شد، تابع $DetectionLineFunction$ مشابه تابع $RegistrationLineFunction$ اقدام به بررسی پیکسل‌های قرارگرفته در ناحیه خط تشخیص از تصویر ورودی می‌پردازد. در هر پیکسل، اگر یکی از مقادیر قرمز، سبز یا آبی پیکسل مربوطه با مقدار متناظرش در تصویر پس‌زمینه دارای اختلافی بیش از $TMinDiff$ باشد، به متغیر $DetCounter$ یک واحد اضافه می‌شود. پس از بررسی کلیه پیکسل‌های این ناحیه، اگر مقدار متغیر $DetCounter$ بیشتر از $TMin_Width$ که آستانه لازم جهت تشخیص عبور خودرو است باشد، نشان دهنده در حال خروج بودن خودرو از پنجره حسگر تشخیص خودرو است. در این حالت خودرو شمارش شده و عملیات کلاسه‌بندی خودرو (به شرح بخش بعد) آغاز می‌گردد. شکل ۱۸ (ب)، وضعیت خودرو در زمان ثبت و شمارش را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه در رابطه با حرکت یا توقف خودرو آن که، تا زمانی که خودرو از خط ثبت به‌طور کامل عبور نکرده باشد حتی در حالتی که خودرو به خط تشخیص نیز رسیده باشد، عمل شمارش انجام نمی‌گیرد. در واقع عمل شمارش تا زمان عبور کامل خودرو از این ناحیه به تعویق می‌افتد. چنین مواردی برای خودروهای سواری کمتر رخ می‌دهد ولی برای خودروهای بزرگ صادق است. این امر از توقف خودروها و ترافیک سنگین نیز پشتیبانی می‌کند. به‌همین دلیل تا زمانی که خودرو از خط ثبت به‌طور کامل عبور نکرده باشد، شمارش نمی‌شود.

۶-۲- کلاسه‌بندی خودرو

پس از تشخیص خودرو و ثبت آن، لازم است که کلاسه خودرو مشخص شود. کلاسه یک خودرو می‌تواند ^{43}SV (سواری یا وانت) یا ^{43}LV (اتوبوس یا کامیون) باشد. برای انجام کلاسه‌بندی خودرو، پس از شمارش آن (در خط شمارش قرار گرفتن خودرو)، عملیات تعیین ابعاد خودرو انجام می‌گیرد. از آنجا که عرض خودروهای سبک و سنگین نسبت به طولشان تفاوت چندانی ندارد لذا می‌توان گفت که کلاس یک خودرو بیشتر به طول آن وابسته است. به این دلیل برای کلاسه‌بندی، کافیست که طول خودرو مشخص گردد. همچنین برای سادگی کار و برای افزایش انعطاف‌پذیری روش، به‌جای استفاده از طول واقعی خودرو برحسب متر، از طول خودرو بر اساس پیکسل استفاده شده است. مزیت این کار در این است که با توجه به ماهیت تصاویر دو بعدی و همچنین این واقعیت که اجسام دور کوچکتر از اجسام نزدیک در تصویر دیده می‌شوند، نیاز به پردازش‌های اضافی برای بدست آوردن فاصله جسم تا دوربین و تخمین ابعاد آن نیست. این کار سبب افزایش سرعت اجرای الگوریتم و نیز عدم نیاز به اطلاعات اضافی برای کالیبراسیون دوربین است.

۶-۲-۱- الگوریتم کلاسه‌بندی

فرض می‌کنیم که مشخصه خط تشخیص خودرو برابر با رابطه (۱۶) است.

$$\{p_{i,j} \in DetectionLine | startDetect \leq i < endDetect, j = H_{Detect}\} \quad (16)$$

که در آن $p_{i,j}$ کلیه پیکسل‌های عضو خط شمارش، H_{Detect} یک مقدار ثابت و برابر با ارتفاع پیکسل‌های موجود در خط تشخیص، $startDetect$ عرض نقطه شروع و $endDetect$ عرض نقطه پایان خط تشخیص در لاین m ام است (شکل ۱۹). پیش از محاسبه طول خودرو، لازم است که معادلات خطوط محدوده هر لاین را به

الگوریتم ثبت خودرو، در هر فریم تابع $RegistrationLineFunction$ ، به بررسی پیکسل‌های قرار گرفته در ناحیه خط ثبت از تصویر ورودی می‌پردازد. کلیه پیکسل‌های تشکیل‌دهنده خط ثبت به‌عنوان مجموعه‌ای به‌نام $RegistrationLine$ ، و کلیه پیکسل‌های خط تشخیص به‌عنوان مجموعه‌ای به‌نام $DetCounter$ و $RegCounter$ متغیرهای $DetectionLine$ در نظر گرفته شده‌اند. متغیرهای $DetCounter$ و $RegCounter$ برای شمارش پیکسل‌های متفاوت با پس‌زمینه استفاده می‌شوند. متغیر $IsVehicleRegistered$ تعیین می‌کند که آیا خودرویی در حال عبور از خط ثبت است یا خیر. متغیر $IsVehicleLeaveRegisterLine$ نشان می‌دهد که خودرو خط ثبت را ترک کرده یا خیر.



(الف)



(ب)

شکل ۱۸- (الف) ورود خودرو به خط ثبت (ب) خروج خودرو از خط ثبت

نهایتاً شروع عملیات ثبت خودرو را متغیر $StartDetectionLineFunction$ اعلام می‌کند. در هر پیکسل، اگر یکی از مقادیر قرمز، سبز یا آبی پیکسل مربوطه با مقدار متناظرش در تصویر پس‌زمینه دارای اختلافی بیش از $TMinDiff$ باشد، به متغیر $RegCounter$ یک واحد اضافه می‌شود. پس از بررسی کلیه پیکسل‌های این ناحیه، اگر مقدار متغیر $RegCounter$ از $TMin_Width$ که آستانه لازم جهت تشخیص عبور خودرو است، بیشتر شود، نشان دهنده ورود خودرو به داخل پنجره حسگر تشخیص خودرو است. سپس آن تابع اقدام به بررسی فریم‌های بعدی می‌کند. تا زمانی که مقدار $RegCounter$ بیشتر از $TMin_Width$ باشد، نشان دهنده آن است که خودرو هنوز به‌طور کامل وارد پنجره نشده است. اگر مقدار $RegCounter$ کمتر از $TMin_Width$ باشد، تابع بخش تشخیص و ثبت خودرو را از طریق مقداردهی به متغیر $StartDetectionLineFunction$ فعال می‌کند و خود از طریق تغییر مقدار متغیر $IsVehicleRegistered$ مجدداً به حالت انتظار برای ورود خودروی بعدی می‌رود. شکل ۱۸ (الف) ورود خودرو را به پنجره و شکل ۱۸ (ب) عبور خودرو را از خط ثبت نمایش می‌دهد.

موقعیت (w_e, H) ختم شود، موقعیت بعدی پنجره را می توان با استفاده از معادلات رابطه (۱۷) به صورت رابطه (۱۸) به دست آورد.



شکل ۲۱- حذف بخش هایی از خودرو

$$\begin{aligned} H_{next} &= (H + i) \\ w_{s_next} &= A \times (H + i) + B \\ w_{e_next} &= A' \times (H + i) + B' \end{aligned} \quad (18)$$

که در آن i با توجه به جهت حرکت پنجره، مقدار مثبت در جهت پایین و مقدار منفی در جهت بالا و با اندازه ۱ بوده و (w_{s_next}, H_{next}) نقطه start و (w_{e_next}, H_{next}) نقطه end بعدی است. پیکسل هایی از تصویر که در پنجره فوق قرار می گیرند، مورد ارزیابی واقع می شوند. اگر تفاضل هر کدام از این پیکسل ها نسبت به تصویر پس زمینه از $TMinDiff$ بیشتر باشد، به متغیر ClassCounter یک واحد اضافه می شود. اگر مقدار ClassCounter در اسکن هر سطر از $TMin_width$ بیشتر شود، یک واحد به متغیر LengthofVehicle که طول خودرو را ذخیره می کند، افزوده می شود. عملیات کلاسه بندی زمانی به پایان می رسد که در هر دو جهت بالا و پایین حرکت پنجره، ClassCounter از $TMin_width$ کمتر شود.

۳-۶- موقعیت حسگر مجازی

از آنجا که حسگرهای مجازی، اساس تشخیص خودرو هستند لذا تعیین موقعیت آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ما روشی خودکار نیز برای تعیین موقعیت این حسگرها ارائه داده ایم. با این حال نتایج حاصل از این روش چندان دقیق نیست و امکان خطای روش را افزایش می دهد. بنابر این توصیه می شود که موقعیت این پنجره ها به صورت مستقیم توسط کاربر تعیین شود. در ادامه به مواردی که باید در تعیین موقعیت حسگرهای مجازی به آنها توجه شود، می پردازیم. رعایت این موارد، سبب عدم نیاز به پردازش های اضافی و در نتیجه افزایش سرعت روش است.

۳-۶-۱- فاصله حسگر نسبت به دوربین

اگر فاصله حسگرها از دوربین زیاد باشد (ناحیه ۱ شکل ۲۰)، احتمال عدم تشخیص خودروها بیشتر می شود. زیرا در فواصل دورتر، خودروها کوچکتر به نظر آمده و همچنین امکان حذف قسمت هایی از خودرو در اثر فرآیندهایی مانند تفاضل گیری (به جهت هم رنگ بودن این بخش ها با پس زمینه) و یا حذف سایه وجود دارد

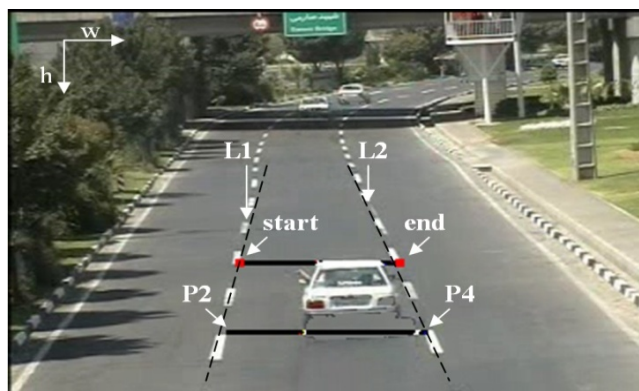
۱. مه آبادی: شناسایی و ردیابی بی درنگ خودروها در سناریوهای حمل و نقل ... (مقاله عادی)

دست آوریم (خطوط $L1$ و $L2$ در شکل ۱۹). معادلات خطوط فوق را می توان با استفاده از چهار نقطه $P1, P2, P3$ و $P4$ مطابق رابطه (۱۷) به دست آورد. این نقاط، همان نقاط تعیین کننده پنجره حسگرهای مجازی هستند که قبلاً توسط کاربر تعیین شده اند.

$$\begin{aligned} P1 : (w_1, h_1) \quad , \quad P2 : (w_2, h_2) \\ P3 : (w_3, h_3) \quad , \quad P4 : (w_4, h_4) \\ L1 : \left\{ w = Ah + B \quad A = \frac{w_2 - w_1}{h_2 - h_1} \quad , \quad B = w_1 - Ah_1 \right\} \\ L2 : \left\{ w = A'h + B' \quad A' = \frac{w_2 - w_1}{h_2 - h_1} \quad , \quad B' = w_1 - A'h_1 \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

پس از ثبت خودرو، ملاک کلاسه بندی بر اساس طول خودرو بر حسب پیکسل است. از آنجا که در هنگام شمارش، خودرو بر روی خط تشخیص قرار دارد لذا می تواند به عنوان نقطه شروع استفاده گردد. تابع از دو بخش تشکیل شده است که هر دو بخش به صورت سطر به سطر اقدام به اسکن و بررسی تصویر می کند. بخش اول قسمت فوقانی و بخش دوم قسمت تحتانی خط تشخیص را اسکن می کند. برای این کار از پنجره زیر با طول متغیر استفاده می شود:

start	start+1	start+2	start+3	end
-------	---------	---------	---------	------	-----



شکل ۱۹- نمایش پارامترهای مورد نیاز کلاسه بندی خودرو



شکل ۲۰- نواحی انتخاب حسگرها

که در آن start نقطه ای متعلق به خط $L1$ و end نقطه ای متعلق به خط $L2$ است. پنجره فوق در دو جهت بالا و پایین خط تشخیص حرکت داده می شود. اگر محل فعلی پنجره از نقطه start با موقعیت (w_s, H) شروع و به نقطه end با



شکل ۲۳- حرکت خودرو در حاشیه لاین

(شکل ۲۰). همچنین اگر این فاصله خیلی کم باشد (ناحیه ۴ شکل ۲۰)، ممکن است که بخش‌هایی از خودرو (به خصوص خودروهای بزرگ)، در لاین‌های مجاور قرار گیرد و این لاین‌ها، و خودروهای عبوری از آنها، از دید دوربین مخفی شوند. به همین دلیل، ممکن است که خودرو دوبار (در هر دو لاین) شمارش شود. همچنین نزدیک بودن این فاصله می‌تواند پیامدهای منفی مثل افزایش خطاهای ناشی از انعکاس نور خودروها را ایجاد کند. ضمناً از آنجا که در این تصویر، در سر پیچ خیابان اکثر خودروها تغییر لاین می‌دهند لذا ناحیه ۲ نیز در این مثال چندان مناسب نیست. بنابراین بهتر است که این حسگرها در ناحیه ۳ از تصویر شکل ۲۰ قرار گیرند.

۶-۳-۲- قرارگیری خطوط در سایه اجسام محیط

به دلیل امکان حرکت این اجسام (مانند حرکت درختان در اثر وزش باد)، سایه ناشی از آن‌ها که در داخل محدوده خیابان قرار می‌گیرد، می‌تواند لبه‌های کاذب تولید کند. اگرچه می‌توان از طریق انجام پیش‌پردازش‌هایی این مشکلات را کاهش داد ولی دقت در رعایت این مساله سبب عدم نیاز به این پیش‌پردازش‌ها و بالا رفتن عملکرد روش می‌شود.

۶-۳-۳- فاصله خطوط ثبت و تشخیص

نکته دیگری که باید مد نظر قرار گیرد فاصله بین دو خط ثبت و شمارش است. اگر این فاصله زیاد باشد، ممکن است که خودرو در این فاصله لاین خود را تغییر داده و وارد لاین مجاور شود. در این حالت خط ثبت پنجره اول خودرو را تشخیص داده ولی به جهت تغییر لاین، خودرو از خط تشخیص این پنجره عبور نکرده و در نتیجه شمارش نمی‌شود. در این روش، این فاصله تقریباً برابر طول یک خودروی سواری قرار داده شده است. از آنجا که سرعت خودروها کم است، لذا خودروی عبوری در این فاصله قادر به تغییر لاین نبوده و لذا این مقدار مناسب تشخیص است.



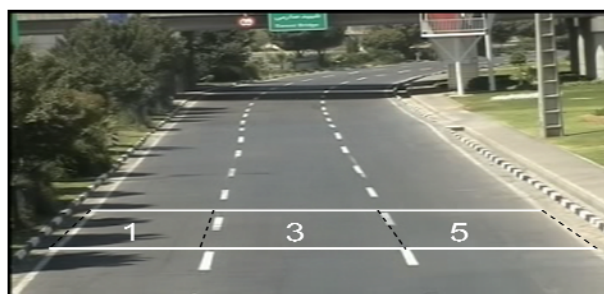
(الف)



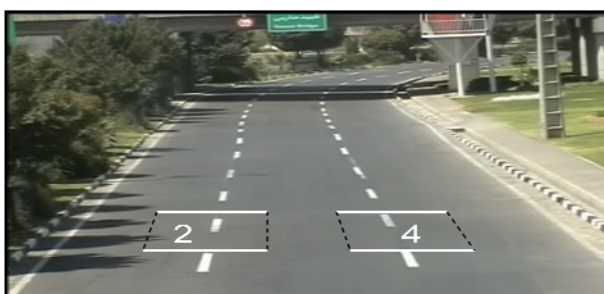
(ب)



(ج)



(الف)



(ب)

شکل ۲۴- (الف) تشخیص خودرو در خط ثبت حسگر ۴ (ب) کاهش عرض پنجره حسگر ۳ (ج) کاهش عرض پنجره حسگر ۵

شکل ۲۲- (الف) حسگرهای لاین‌های اصلی (ب) حسگرهای لاین‌های فرعی



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲۵- (الف) عبور کامل خودرو از خط تشخیص حسگر ۴ (ب) و (ج) بازگشت عرض پنجره حسگرهای مجاور به مقدار اصلی



شکل ۲۶- حذف نقاط هم‌رنگ با پس‌زمینه از ماسک پیش‌زمینه

۳-۴-۶- آستانه ثبت خودرو

از $T_{Min_Width_Reg}$ برای تشخیص این که آیا خودرو در حال عبور از خط ثبت است یا خیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. براساس مشاهدات تجربی ما، هر خودروی سبک (مانند پراید یا پیکان) بین ۵۰ تا ۵۵ درصد از عرض یک لاین خیابان را اشغال می‌کند. همچنین این مقدار برای خودروهای سنگین بین ۷۰ تا ۸۰ درصد است.

در بررسی‌های تجربی، مشاهده شد که عرض یک خودروی سواری در حدود ۵۰ تا ۵۵ درصد عرض یک لاین خیابان است. اگر عرض این پنجره‌ها زیاد باشد، ممکن است که خودروهایی که در حاشیه لاین‌های مجاور حرکت می‌کنند (شکل ۲۳) نیز شمارش شوند. بنابراین در تعیین اندازه آن‌ها باید دقت زیادی صورت گیرد. لذا نتیجه آن که عرض این پنجره‌ها کمی بیشتر از عرض یک خودرو انتخاب گردد.

عرض این پنجره‌ها ۶۰ درصد عرض یک لاین در نظر گرفته می‌شود. البته این کار به تنهایی کافی نیست و همچنان این احتمال وجود دارد که خودرویی که در یکی از دو پنجره ۲ یا ۴ در حال تردد است، توسط پنجره‌های مجاور نیز شمارش شود. برای حل این مشکل، در هر فریم، باید پیش از بررسی حسگرهای ۱، ۳ و ۵، ابتدا حسگرهای ۲ و ۴ بررسی شوند. در صورتی که هر کدام از این حسگرها عبور خودرو (مشاهده خودرو در خط ثبت) را تشخیص دهند، عرض پنجره‌های مجاور کاهش یافته (شکل ۲۴) و در لحظه‌ای که خودرو از پنجره به طور کامل عبور می‌کند، عرض پنجره به اندازه اول خود باز می‌گردند (شکل ۲۵).

۴-۶- تعیین مقادیر آستانه

گام بعدی تعیین مقادیر مناسب برای آستانه متغیرها و پارامترهای موجود در روش است که در زیر به آن می‌پردازیم.

۱-۴-۶- آستانه تفاضل پیکسل‌های خودرو

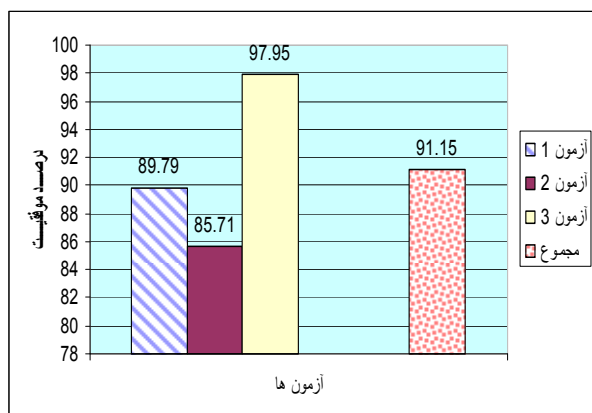
آستانه تفاضل برای تعیین ماسک دربردارنده خودروها (که یک تصویر باینری است) مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بدست آوردن این ماسک، تفاضل فریم فعلی با پس‌زمینه فعلی محاسبه، و سپس نتیجه توسط $T_{MinDiff}$ آستانه‌گیری می‌شود. به جهت آن که می‌خواهیم این ماسک کلیه بخش‌های خودرو را در بر گیرد، در ابتدا بهتر است که این مقدار، کم (به عنوان مثال ۱۰ تا ۱۵) انتخاب شود و به صورت تجربی آزمون گردد و در صورت نامناسب بودن افزایش یابد. ضمناً در مواقعی که نویز تصویر زیاد باشد، از روشی استفاده کرده‌ایم که به صورت پویا این مقدار تغییر یابد.

۲-۴-۶- آستانه تفاضل پیکسل‌های پیش‌زمینه

از $T_{MinDiff_Shadow}$ برای تعیین ماسک پیش‌زمینه (خودروها به همراه سایه آن‌ها) استفاده می‌شود. روش مورد استفاده، مشابه $T_{MinDiff}$ است. با این حال این مقدار لزوماً با مقدار $T_{MinDiff}$ برابر نیست؛ بلکه باید از مقداری متفاوت استفاده شود. تفاوت بین $T_{MinDiff}$ و $T_{MinDiff_Shadow}$ به این علت است که اگر مقدار آستانه زیاد باشد، بخش‌هایی از خودرو (مانند شیشه خودروها) که رنگی مشابه رنگ پس‌زمینه را دارند، از ماسک خودرو حذف می‌شوند (شکل ۲۶).

از آنجا که این نقاط جزئی از سایه خودرو نیستند، حذف این نقاط از ماسک خودرو جهت انجام عملیات حذف سایه مفید و می‌تواند مانع از تشخیص اشتباه و همچنین حذف آن‌ها توسط تابع حذف سایه گردد. بالعکس در شمارش خودروها، از آنجا که حذف این نقاط می‌تواند سبب خطا در تشخیص و شمارش خودرو گردد، لذا تعیین مقدار آستانه پایین، مانع از حذف این نقاط شده و شمارش خودروها با دقت بیشتری انجام می‌شود.

باشند، متفاوت است. طول این خودروها در حالت بدون بار، بین ۴۰ تا ۵۰ پیکسل و در حالتی که دارای بار مجاز باشند بین ۵۰ تا ۶۰ پیکسل است. در رابطه با خودروهای سنگین مثل اتوبوس، این میزان بیشتر از ۱۰۰ پیکسل می‌باشد. در این روش خودروهای عبوری تنها به دو دسته تقسیم می‌شوند.



شکل ۲۹- نمودار نتایج آزمون تایید مدل سازی

لذا تعیین یک آستانه $T_{Vehicle_Size}$ برای انجام این کار کفایت می‌کند. بر همین اساس آستانه انتخاب شده در پیاده‌سازی ما برابر ۸۰ انتخاب شده است. اگر بخواهیم از ۲ آستانه استفاده کنیم، می‌توان خودروها را به صورت رابطه (۱۹) کلاسه‌بندی کرد.

$$Vehicle\ Class = \left\{ \begin{array}{ll} SV & Length < T_1 \\ LV|SV|MV & T_1 < Length < T_2 \\ LV & T_2 < Length \end{array} \right\} \quad (19)$$

که در آن $Length$ طول خودرو و T_1 و T_2 مقادیر آستانه هستند. در حالت $T_1 < Length < T_2$ ، ممکن است که دو خودروی سواری به هم چسبیده (شکل ۳۳)، یا یک خودرو با ابعاد نامتعارف (مانند وانت با حمل بار غیر مجاز) و یا یک مینی‌بوس علت این نوع تعیین طول شده باشند. در چنین مواردی یا می‌توان کلاس جدیدی به عنوان MV که خودروهای نیمه سنگین را در بر دارد تعریف کرد و خودرو را متعلق به این کلاس به حساب آورد و یا این که این حالت را به تصادف به یکی از کلاس‌های SV یا LV منصوب کرد یا به عنوان خطا در نظر گرفت.

۷- آزمایشات تجربی

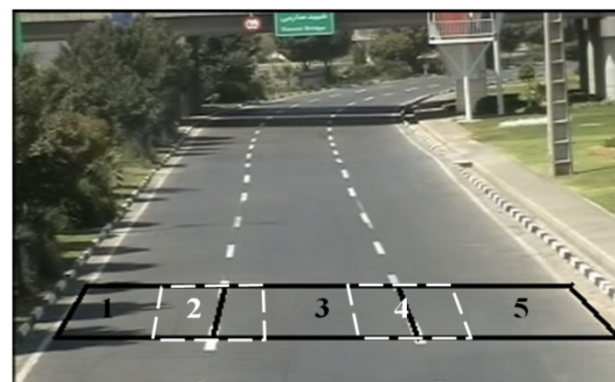
در این بخش به بررسی کارایی روش ارایه شده می‌پردازیم و نتایج شبیه‌سازی را در سه بخش بررسی و تحلیل شده است. این بخش‌ها عبارت از تنظیمات شبیه‌سازی، نتایج تایید مدل‌سازی، و آزمایشات تایید اعتماد^{۴۴} و نیرومندی مدل پیشنهادی است. ضمناً با توجه به نتایج تجربی آزمایشات، ما به مساله مهم تحلیل خطا در تایید مدل می‌پردازیم و نتایج اعتماد در شرایط متفاوت آب و هوایی را نیز ارایه می‌دهیم.

۷-۱- تنظیمات آزمایشات

در پیاده‌سازی سیستم از زبان برنامه‌نویسی C++ و محیط برنامه‌نویسی C# استفاده شده است. اولین مرحله دریافت تصاویر ویدیویی است. فرمت این ورودی



شکل ۲۷- حسگرهای آزمون نوع اول



شکل ۲۸- حسگرهای آزمون نوع دوم

بر این اساس با توجه به احتمال حذف بخشی از خودرو در اثر عملیات تفاضل‌گیری (به جهت هم‌رنگی خودرو با پس زمینه) و یا عملیات حذف سایه، لازم است که مقدار $T_{Min_Width_Reg}$ ، کمتر از عرض خودرو مثلاً بین ۴۰ تا ۴۵ درصد انتخاب گردد. در رابطه با پنجره‌های ۲ و ۴ از شکل ۲۷، چون عرض این پنجره‌ها نسبت به عرض پنجره‌های لاین‌های خیابان کمتر است لذا باید برای این پنجره‌ها، این مقدار را افزایش داد. با توجه به عرض این دو پنجره که ۶۰ درصد عرض لاین‌های خیابان است، مقدار $T_{Min_Width_Reg}$ برابر ۷۰ درصد انتخاب گردیده است.

۶-۴-۴- آستانه تشخیص خودرو

تعیین آستانه $T_{Min_Width_Det}$ با استدلالی مشابه آستانه ثبت انجام می‌گیرد با این تفاوت که چون خودرو ممکن است در حین حرکت در داخل پنجره منحرف شود (تغییر لاین دهد)، لذا ممکن است که بخشی از آن خارج از محدوده پنجره حسگر قرار گیرد. ب همین دلیل برای جلوگیری از عدم شمارش خودرو، بهتر است که برای این آستانه نسبت به $T_{Min_Width_Reg}$ مقدار کمتری در نظر گرفته شود.

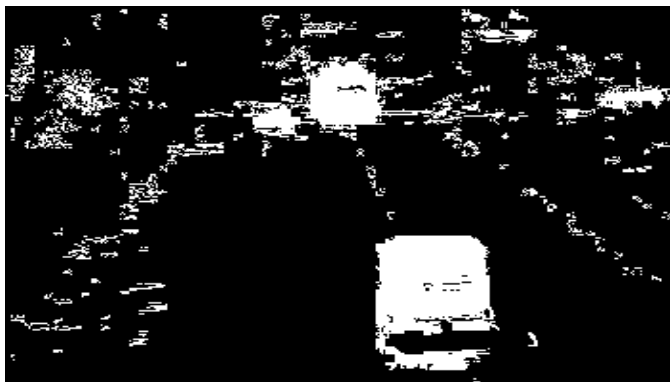
۶-۴-۵- آستانه طول خودرو

در بررسی‌های تجربی، مشاهده شد که طول خودروهای سواری که در پنجره حسگرهای شکل ۲۹ قرار می‌گیرند، کمتر از ۴۰ پیکسل است. البته این میزان برای وانت بارها بیشتر و وابسته به این که این خودروها دارای بار و یا بدون بار

خودرو را نشان می‌دهد. با تنظیم دقیق فاصله دوربین و زاویه دید آن، وضعیت نور با پیچیدگی کم تصویر زمینه نتایج بهتری گزارش شده است. همچنین از میانگین زمان پردازش کمتر از ۲۸ میلی ثانیه برای هر فریم برخوردار است که در بیشتر موارد خودروها با حرکت تنگاتنگ، حتی از بین دو لاین خود نیز عبور نمی‌کنند. البته بررسی آن در این جا به وسیله ۳ مجموعه تصاویر ویدیویی خاص ارایه شده که ابعاد مختلف حل مساله را بیان می‌دارد و جمعا به مدت زمان ۲ دقیقه و ۴۷ ثانیه است صورت می‌گیرد.



شکل ۳۰- اثر حرکت سایه درختان



شکل ۳۱- عامل خطای شمارش

روش برای نرخ فریم در دو حالت ۲۵ و ۱۲ فریم در ثانیه با رزولوشن تصاویر ۳۵۲×۲۴۰ آزمون شده است. به منظور انتخاب حسگرها، آزمایش‌ها برای ۴ حسگر مختلف صورت گرفته است. پردازنده مورد استفاده در این آزمون، پردازنده Core2duo 3GHZ و میزان حافظه مورد نیاز روش برای اجرای برنامه ۱۶ مگابایت است. با توجه به کندی حرکت خودروها در شهر، بین دو حالت ۲۵ فریم بر ثانیه و ۱۲ فریم بر ثانیه تفاوتی مشاهده نشده است. به دلیل آن که روش برای عملیات درون شهری طراحی شده، در بیشتر آزمون‌ها تعداد خودروهای سنگین در تصویر زیاد نیست. در این بخش سعی بر ارایه نتایج در خیابان دارای درختان حاشیه و سایه بیان شده است.

۷-۲- آزمایشات تایید مدل‌سازی

با وجود آن که روش تحت آزمایشات مختلف قرار خواهد گرفت و نتایج حاصل آن در بخش بعدی ارایه خواهد شد، در این بخش آزمایشات تایید مدل براساس محل حسگر و اثرات سایه ارایه می‌گردد. در ابتدا به نتایج آزمایشات تایید مدل و سپس به تحلیل آن‌ها می‌پردازیم. نتایج آزمایش‌ها در سه بخش برای بررسی قابلیت

باید در قالب Divx با کدینگ MP4 باشد. ضمن آن که در روش محدودیتی از نظر رزولوشن تصاویر ایجاد نشده است. رزولوشن تصاویر ۳۵۲×۲۴۰ برای نرخ فریم در دو حالت ۲۵ و ۱۲ فریم در ثانیه است. پیش از آغاز اجرای فعالیت، می‌توان مشخصات پنجره‌های تشخیص خودرو را تعیین و در صورت نیاز، مقادیر آستانه برخی از پارامترهای مورد استفاده روش را جهت رسیدن به بهترین نتیجه، تغییر داد. برای تایید روش، آزمون‌هایی از تصاویر ویدیویی رنگی شهر تهران (ایران) تحت شرایط مختلف آب و هوایی و تغییرات نور اخذ شده است. روش به وسیله تصاویر بسیار ویدیویی اخذ شده جمعا به ۱۰ ساعت در حالت‌های مختلف آزمون شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از آزمون نوع اول

شماره پنجره	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد خودروهای نشده شمارشی	تعداد شمارش اضافه	درصد موفقیت
۱	۱۸	۱۶	۰	۰	۰	۸۸.۸۸
۲	۳	۳	۰	۰	۰	۱۰۰
۳	۱۸	۱۹	۰	۰	۱	۹۴.۴۴
۴	۴	۴	۱	۱	۰	۱۰۰
۵	۵	۶	۰	۱	۲	۶۰.۰۰
جمع	۴۸	۴۷	۱	۲	۳	۸۹.۷۹

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون نوع دوم

شماره پنجره	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد واقعی خودروهای شمارشی کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد خودروهای نشده شمارشی	تعداد شمارش اضافه	درصد موفقیت
۱	۱۸	۲۰	۰	۰	۱	۳	۷۷.۸
۲	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۳	۱۸	۱۹	۰	۰	۰	۱	۸۳.۴
۴	۴	۴	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۵	۵	۶	۱	۱	۰	۱	۸۰.۰
جمع	۴۸	۵۲	۱	۱	۲	۵	۸۵.۷

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون نوع سوم

شماره پنجره	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای شمارشی کلاس SV	تعداد واقعی خودروهای عبوری کلاس LV	تعداد واقعی خودروهای شمارشی کلاس LV	تعداد خودروهای نشده شمارشی	تعداد شمارش اضافه	درصد موفقیت
۱	۱۸	۱۷	۰	۰	۱	۰	۹۴.۴۴
۲	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۳	۱۸	۱۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
۴	۴	۴	۱	۱	۰	۰	۱۰۰
۵	۵	۵	۰	۰	۰	۰	۱۰۰
جمع	۴۸	۴۷	۱	۱	۱	۰	۹۷.۹۵

نتایج عملیاتی در تشخیص دقیق خودروهای متحرک با تصاویر واقعی ترافیکی، کارایی بالای ۹۹ درصد تشخیص و ۹۱ درصد کلاسه‌بندی و تشخیص نوع

پیشگیری از بروز این مشکل، قرار نگرفتن خطوط ثبت و تشخیص در مجاورت و یا در داخل این ناحیه‌ها است. در غیر این صورت، با استفاده از عملیات حذف نویز، می‌توان رخ دادن این خطاها را کاهش داد.

۲- کیفیت پایین تصاویر ارسالی و وجود نویز: در این تصاویر نیز می‌تواند علت تشخیص اشتباه باشد. نمونه‌ای از این اشتباه در شکل ۳۱ نشان داده شده است. با استفاده از عملیات حذف نویز، می‌توان تعداد رخداد این خطاها را کاهش داد.

۳- قرار گرفتن بخشی از خودرو در لاین‌های مجاور: از دید دوربین (شکل ۳۲) این نیز نمونه‌ای دیگر از این نوع خطا است. معمولاً این گونه خطاها در هنگام عبور یک خودرو کلاس LV رخ می‌دهد. علت بروز این خطا، زاویه نامناسب دوربین و همچنین نزدیکی حسگرها به دوربین است. نمونه برجسته این خطا در شکل ۲۸ به نمایش در آمده است. در این شکل، از دید دوربین، اتوبوس دو لاین را اشغال و لذا دوبار شمارش شده است. ضمن آنکه خودروی سواری نیز در پشت اتوبوس استار شده است و شمارش نمی‌شود. در این موارد، روش‌های پردازش تصویر ناکارآمد است و قادر به تشخیص صحیح نیست. از راهکارهای کاهش این خطا، بهبود زاویه دوربین و نیز انتخاب پنجره حسگر در فاصله دورتر است.

۴- صحت شمارش با وجود انتظار خطا: همچنین در مورد زیر نیز انتظار شمارش اضافی داریم (شکل ۳۴) در حالی که سیستم مرتکب خطا نشده است. در این حالت با وجود آن که به علت انعکاس نور خودرو در تمامی حسگرهای خیابان، تغییر حاصل شده است ولی سیستم دچار اشتباه نشده است.

علت عدم خطای روش در این مورد، همزمانی تغییر در هر دو خط ثبت و تشخیص است. در اینجا هر دو خط به‌طور همزمان تغییرات را تشخیص می‌دهند و این تغییرات به‌طور همزمان در هر دو خط متوقف شده‌اند. به دلیل آن که در الگوریتم شمارش خودرو، ابتدا باید خط ثبت دچار تغییرات شود و همچنین تا زمانی که این تغییرات برقرار است، خط تشخیص قادر به شمارش خودرو نخواهد بود. همچنین به‌دلیل آن که در زمان کاهش تغییرات در خط ثبت، خط تشخیص نیز فاقد تغییر است لذا شمارش اشتباه صورت نمی‌گیرد. با این حال بهتر است که برای پرهیز از هرگونه خطای احتمالی، از روش شی‌گرایی خودرو استفاده شود.



شکل ۳۲- قرار گرفتن خودرو در دو لاین



شکل ۳۳- قرار گرفتن خودرو در دو لاین و استتار خودروی عقب

روش، براساس محل قرار گرفتن حسگرهای مجازی در لاین‌های اصلی و فرعی و مکان‌های مختلف شکل ۲۰، به‌صورت زیر ارایه می‌شود: ۱- آزمون حسگر در منطقه ۲، ۲- آزمون حسگر در منطقه ۳ و بررسی اثر سایه درختان حاشیه خیابان، خطوط ثبت و تشخیص بر روی سایه‌ها، و ۳- آزمون حسگر در منطقه ۳ و قرارگرفتن خطوط ثبت و تشخیص در خارج از ناحیه سایه درختان.

۷-۲-۱- آزمون نوع اول

در این آزمون حسگرها در منطقه ۲ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۷). نتایج حاصل در جدول ۱ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص ۸۹.۷۹٪ است. در منطقه ۲ حسگر مشکلات چندانی مشاهده نمی‌شود که دلیل این امر ممکن است عبور کم خودرو باشد ولی به دلیل به دلیل منطقه حسگر از نتیجه خوبی برخورداریم.

۷-۲-۲- آزمون نوع دوم

در این آزمون، حسگرها در منطقه ۳ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۸). برای بررسی اثر سایه درختان حاشیه خیابان، خطوط ثبت و تشخیص بر روی این سایه‌ها قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله در جدول ۲ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص ۸۵.۷٪ است. در منطقه ۳ حسگر مشکل مشاهده می‌شود که دلیل آن نزدیکی حسگرها به دوربین و اثرات سایه درختان حاشیه است که نتایج را کمی تضعیف کرده است.

۷-۲-۳- آزمون نوع سوم

در این آزمون، حسگرها در منطقه ۳ از شکل ۲۰ انتخاب شده‌اند (شکل ۲۸). در اینجا خطوط ثبت و تشخیص در خارج از ناحیه سایه درختان قرار گرفته‌اند. نتایج حاصله در جدول ۳ آمده است. نمودار نتایج حاصل از این سه آزمون در شکل ۲۹ آمده است. طبق مشاهده در مناطق مختلف نتایج متفاوت ارایه شده و در مجموع در این آزمون دقت تشخیص بالای ۹۷.۹۵٪ است. در منطقه ۳ حسگر مشاهده می‌شود که با وجود نزدیکی حسگرها به دوربین بر اثر حذف سایه درختان حاشیه، نتایج بسیار دقیق‌تر شده است. این امر اثرات سایه بر نتایج را نشان می‌دهد. درمجموع آزمون‌ها، مطابق شکل ۲۹ درصد موفقیت روش ۹۱.۸۳٪ است.

۷-۳- تحلیل خطاهای تایید مدل‌سازی

اگر روشی در شمارش و یا کلاسه‌بندی خودروها دچار تشخیص اشتباه گردد، خطا رخ داده است. در روش پیشنهادی به‌طور کلی ممکن است که به سه صورت شمارش اضافی، عدم شمارش و کلاسه‌بندی به اشتباه خطا رخ دهد. در اینجا به بیان و تحلیل چند نمونه از خطاها، علل و راه‌حل‌های ممکن می‌پردازیم.

۷-۳-۱- شمارش‌های اضافی

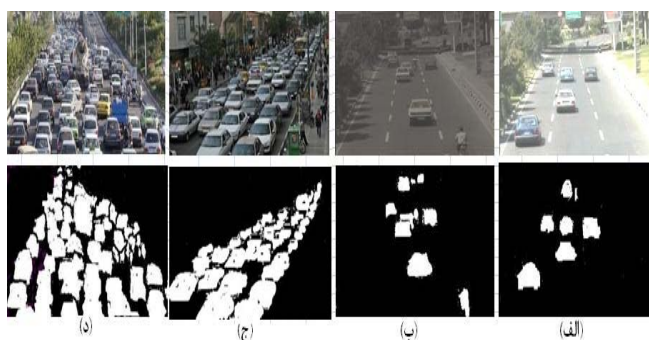
در آزمون‌ها مشخص شد که سیستم در موارد زیر یک خودرو را بیش از یک‌بار شمارش کرده است:

۱- تغییر موقعیت سایه درختان حاشیه خیابان: این امر علت تولید تعدادی پیکسل تفاضلی کاذب (شکل ۳۰) و تشخیص اشتباه است. بهترین راه برای

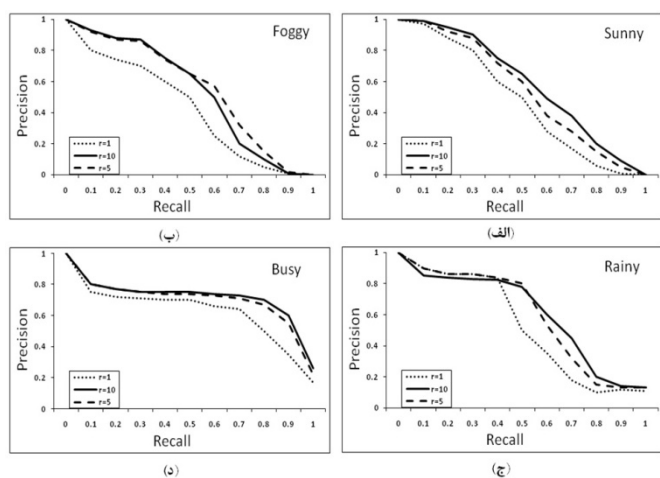
۷-۴- آزمایشات اعتماد مدل

نتایج آزمون‌های ما در حالت‌های توقف و حرکت خودروها، موید فرآیند مطلوب و تایید کارایی روش براساس استخراج خودکار اطلاعات از مدل پس‌زمینه و عدم وابستگی به ساختار جاده و تغییرات آن است. این روش از نرخ تطبیق خوب با تغییر شرایط و عدم وابستگی به سرعت حرکت خودروها برخوردار است. ضمناً اشیاء متحرک مزاحم را به‌صورت مطلوب از محاسبات پردازشی خودروهای خود حذف می‌کند. آزمون‌های بخش قبل تایید مدل‌سازی را نشان داد و تحلیل خطاهای آن، راه کارهای مناسب برای تداوم فعالیت‌های آینده را بیان می‌کند. اکنون به تداوم بررسی و آزمون‌ها در قالب تایید اعتماد و نیرومندی روش و ارزیابی آن با استفاده از معیارهای فراخوانی و دقت تحت شرایط متفاوت آب و هوایی می‌پردازیم.

برای آزمون اعتماد روش پیشنهادی، ما از سه نوع تصویر ویدیویی متنوع که یک نمونه فریم از هر کدام در ردیف بالای شکل ۳۶ نمایش داده شده است، استفاده می‌کنیم. اولین نوع، به نام "آفتابی" که نمایش دهنده ترافیک در هوای روشن آفتابی است. نوع دوم، به نام "مه‌آلود" که مبین ترافیک در هوای مه‌آلود است. نوع سوم، به نام "بارانی" که موید ترافیک در هوای بارانی است. نوع چهارم، یعنی "شلوغ" حاوی تراکم زیاد با حرکت عابرین پیاده در خیابان است. مه و باران اساساً رنگی هستند؛ اول آنها را به روشنایی تبدیل و مشخصات رنگی آنها را محو می‌کنیم. این کار مبین کارایی روش حذف زمینه تحت شرایط متفاوت آب و هوایی در جریان ترافیک است.



شکل ۳۶- فریم‌های نمونه (ردیف بالا) و فریم‌های راستی آزمایی (ردیف پایین) در حالت (الف) آفتابی، (ب) مه‌آلود، (ج) بارانی و (د) شلوغ



شکل ۳۷- منحنی فراخوانی - دقت کارایی استخراج زمینه در حالت (الف) آفتابی، (ب) مه‌آلود، (ج) بارانی و (د) شلوغ



شکل ۳۴- نویز حاصل از انعکاس نور از خودرو



شکل ۳۵- دو خودروی به هم چسبیده

۷-۳-۲- عدم شمارش خودروها

مواردی که احتمال عدم شمارش خودرو در آن وجود دارد عبارت از فاصله کم خودرو، استتار و حالت‌های خاص مانند هم‌رنگی خودروها است که به شرح زیر بیان می‌شود:

۱- **دو خودرو به هم چسبیده:** در حالتی که دو خودرو با فاصله اندک از یکدیگر در حال حرکت‌اند، سیستم این دو خودرو را یک خودرو حساب می‌کند. با این حال به دلیل طول کم مجموع این دو خودرو (۵۰ پیکسل) و عدم رسیدن به آستانه $T_{Vehicle_Size}$ این مورد، یک خودرو LV دسته‌بندی نشده است (شکل ۳۵). علت این خطا آن است که زاویه دوربین نسبت به خیابان مناسب نیست. از دید سیستم، این دو خودرو به هم چسبیده و لذا یک خودرو محسوب می‌شوند. ضمن آن که طول برخی از خودروهای کلاس SV نظیر وانت بارها نیز همین مقدار است. البته این مورد را می‌توان در صورت امکان به‌وسیله بهبود زاویه دوربین برطرف کرد. در غیر این صورت، سیستم دچار خطا خواهد شد. با این حال از آنجا که چنین مواردی در یک خیابان با ترافیک کم و متوسط به ندرت اتفاق می‌افتد لذا در این ترافیک قابل صرف‌نظر است.

۲- **استتار خودرو در اثر عبور یک خودروی LV:** در این حالت خودرو از دید روش مخفی و با یک دوربین کاری نمی‌توان انجام داد زیرا اصولاً خودرو در تصویر قابل مشاهده نیست (شکل ۳۳). راه‌حل استفاده از دو دوربین است.

۳- **موارد استدلالی:** علاوه بر موارد فوق، حالت‌هایی نیز وجود دارد که احتمال عدم شمارش خودرو بر آن‌ها متصور است و در آزمون‌های روش ما مشاهده نشد. زیرا در تصاویر رنگی که میزان نزدیکی رنگ خیلی کم نیست و عدم تبدیل تصاویر به سیاه و سفید از این مشکل می‌کاهد:

- هم‌رنگ بودن خودرو با پس‌زمینه علت حذف بخش‌هایی از خودرو است.
- حذف بخش‌هایی از خودرو در اثر عملیات حذف سایه از بین رفته است.
- انحراف خودرو از مسیر به دلیل خروج از لاین است.

۸- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش قابل اعتماد جهت شناسایی، کلاسه بندی و ردیابی خودروها با استفاده از تصاویر ویدیویی در سناریوهای مختلف ترافیک درون شهری و تحت شرایط متفاوت آب و هوایی ارائه شد. از ویژگی های آن قابلیت اعتماد بالا، استقلال از ساختار و اطلاعات خیابان، مقاومت در برابر لرزش دوربین، نویز محیطی، تغییرات روشنایی و اجتناب از تشخیص اشیاء غیرساکن و سایه های بخشی اشیاء متحرک با عملکرد مناسب است. آزمون های روش پیشنهادی براساس دقت نتایج، سرعت پردازش، مدل سازی پس زمینه، تشخیص پیش زمینه، تایید مدل و اعتماد روش، استقلال از اطلاعات زمینه و کار در شرایط مختلف بوده که از نتایج آن بهبود در اعتماد روش در برابر نویز محیطی، تغییرات ناگهانی روشنایی و تعادل بین تطبیق سریع و مدل سازی اعتماد است. همچنین دارای تشخیص دقیق خودروهای متحرک و عابرین، کارایی بالا در شناسایی، ردیابی و کلاسه بندی خودرو است. ما در آینده مواردی را جهت بهبود کارایی و افزایش قابلیت های مورد نیاز جهت رفع مشکلات موجود مانند موارد زیر را به مشخصات سیستم اضافه خواهیم کرد.

- افزایش کارآمدی و دقت برنامه تشخیص و ردیابی خودرو.
- ایجاد قابلیت تشخیص عابرین پیاده و خودرو کلاس موتورسیکلت.
- پویایی موقعیت حسگرهای مجازی هنگام زوم و یا چرخش دوربین.
- افزایش قابلیت تشخیص توقف و سرعت خودروهای در حال حرکت.
- درج قابلیت تشخیص میزان ترافیک و انسداد حمل و نقل خیابان.
- طراح و پیاده سازی فرآیند تشخیص تخلفات رانندگی.
- تشخیص و تفکیک خودروهای استتار شده و هم سرعت.
- تشخیص یدک کش ها و خودروهای همراه آن ها.

مراجع

- [1] Traffic Safety Facts 2003: A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System. US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C. 2004.
- [2] A. Peters, S. von Klot, M. Heier, I. Trentinaglia, A. Hörmann, H. E. Wichmann, and H. Löwel, "Exposure to Traffic and the Onset of Myocardial Infarction," *The New England Journal of Medicine*, vol. 351, no. 17, pp. 1721-1730, 2004.
- [3] J. J. Kim, S. Smorodinsky, M. Lipsett, B. C. Singer, A. T. Hodgson, and B. Ostro, "Traffic related Air Pollution near Busy Roads: The East Bay Children's Respiratory Health Study," *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 170, pp. 520-526, 2004.
- [4] A. Mahabadi, and A. Ranjbar, "Reliable License Plate Recognition," *The CSI journal on Computer Science and Engineering*, vol. 7, no. 2&4 (b), pp. 51-67, 2009.
- [5] G. Zhang, R. P. Avery, and Y. Wang, "A Video-based Vehicle Detection and Classification System for Real-time Traffic Data Collection Using Uncalibrated Video Cameras," Department of Civil and Environmental Engineering, pp. 2, 2006.

ما برای ارزیابی کمی کارایی روش، از ده فریم در بازه های منظم زمانی برای هر سلسله آزمون بهره برده ایم و در آن ها به صورت دستی تمامی اشیاء متحرک را مشخص و پررنگ کرده ایم. این فریم های "درستی آزمایی" برای حداقل کردن اثر تطبیق اولیه روش را از بین بخش انتهایی هر سلسله آزمون (و از ۸۰۰ فریم آخر حالت آفتابی) انتخاب کرده ایم. ما در روش علامت گذاری دستی، فقط پیکسل هایی که متعلق به خودرو و عابرین پیاده است و واقعا در آن فریم متحرک اند را مشخص کرده ایم. از هیچ پیکسل سایه متداخل در مقایسه هایمان استفاده نکرده ایم و وجود آن پیکسل های سایه را با حرکت اشیاء درج می کنیم. فریم های درستی آزمایی فقط نشان دهنده اشیاء متحرک هستند که در ردیف پایین شکل ۳۶ نمایش داده شده اند.

$$\text{تعداد پیکسل های صحیح تشخیص داده شده تصویر متن توسط روش ما} \\ \text{تعداد کل پیکسل تصویرهای راستایی آزمایی} = \text{فراخوانی}$$

$$\frac{\text{تعداد پیکسل های صحیح تشخیص داده شده تصویر متن توسط روش ما}}{\text{تعداد کل پیکسل تشخیص های داده شده تصویر متن توسط روش ما}} = \text{دقت} \quad (20)$$

برای ارزیابی این بخش از دو معیار اندازه گیری بازایی اطلاعات (فراخوانی) و دقت^{۲۵} به صورت رابطه (۲۰) بهره می بریم که میزان انطباق روش پیشنهادی با درستی آزمایی ها را تعیین می کنند [۴۰]. معیارهای فراخوانی و صحت در محدوده ۰ و ۱ تعریف و میانگین تمامی فریم های اندازه گیری شده هستند. بین این دو معیار تقابل وجود دارد که معمولا معیار فراخوانی متناسب با تعداد پیکسل های تشخیص داده شده متن افزایش می یابد و ممکن است به کاهش معیار دقت منجر شود. یک روش خوب تشخیص زمینه با فراخوانی بالا، حتی الامکان بدون ضربه به میزان دقت به دست می آید.

ما نقاط کار متفاوت فراخوانی - دقت را با مقدار ۱، ۵ و ۱۰ فریم بر ثانیه (۲) به دست آورده ایم. برای تولید یک نقطه داده ای، نیاز به اجرای الگوریتم برای کل فریم های یک تصویر ویدیویی داریم. اثر به روز کردن تصاویر زمینه، در حذف اثرات تغییرات آن بسیار موثر است. منحنی شکل ۳۷ برای چهار دسته آزمون، گراف نتایج را نشان داده که با تغییر آستانه تصویر اصلی متن به دست آمده است. براساس نمایش شکل ۳۷ و بررسی های مشاهدات، ما نتایج زیر را برای قابلیت اعتماد روش پیشنهادی یافته ایم:

- با این روش بهترین دقت و فراخوانی را براساس پارامترهای مناسب، به دست آورده ایم.
- به کارایی خوبی دست یافته ایم و نتایج نشان می دهد که میزان به روز کردن تصویر زمینه، مستقل از پیکسل های تصویر متن است. نسبت به ترافیک روان قابل اعتماد است و به آرامی با تغییرات بزرگ در تصویر زمینه تطبیق می یابد.
- مشاهده تصویری روش نشان می دهد که بدترین تصویر زمینه حتی با وجود مقدار بزرگ آستانه تصویر پیش زمینه متن و نرخ کم به روز کردن، به وسیله پیکسل های تصویر زمینه تحت تاثیر قرار می گیرد.
- در این روش، تصاویر زمینه به نویز محیطی حساسیت زیادی ندارند و برای انواع بارانی و مه آلود، از مقدار فراخوانی و دقت پایین تری برخوردارند.
- برای کلیه آزمون ها، تطبیق آرام دارای کارایی بالاتری از تطبیق سریع است و نتایج بهتری ارائه می دهد. یعنی روش از آسیب حالت گذاری تصویر پیش زمینه متن به مدل تصویر پس زمینه، جلوگیری می کند. به نوعی اثرات نهایی حرکت خودرو در یک تصویر، در تصویر بعدی و در حالت تطبیق آرام به طور کامل از بین می رود یعنی به اثر تغییرات زمینه توجه ندارد.

Approach," *Journal of Transportation Research Report*, no. 1994, pp. 82-88, 2006.

[19] Artificial Intelligence Laboratory at Kyungpook National University, Vehicle Detection & Tracking in a Traffic Scene, <http://ailib.knu.ac.kr/trafficsurveillancesystem/tracking.html>, 2015.

[20] D. Young, Sussex Computer Vision: Teach Vision 6, <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/davidy/teachvision/vision6.html>, 2015.

[21] D. Beymer, P. McLauchlan, B. Coifman, and J. Malik, "A Real-time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters," *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 495-501, 1997.

[23] A. Mahabadi, "Intelligent Traffic Light," *The CSI journal on Computer Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 51-67, 2009.

[24] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine Vision and Applications*, no. 25, pp. 727-745, 2014.

[25] T. Gao, P. Wang, C. Wang, Z. Yao, "Feature Particles Tracking for Moving Objects," *JOURNAL OF MULTIMEDIA*, vol. 7, no. 6, pp. 408-414, 2012.

[26] C. Chi, M. Ku, and C. Wang, "Automatic Traffic Surveillance System for Vision-Based Vehicle Recognition and Tracking," *Journal of Information Science and Engineering*, no. 26, pp. 611-629, 2010.

[27] D. Devarajan, Z. Cheng, and R. Radke, "Calibrating distributed camera networks," *IEEE proceeding*, vol. 96, no. 10, OCT, pp. 1625-1639, 2008.

[28] M. Darms, P. Rybski, and C. Urmson, Vehicle detection and tracking for the urban challenge, in *Automatisierungs, Assistenz und Eingebettete Systeme für Transportmittel Symp.*, Braunschweig, Germany, 2008.

[29] Y. Li, B. Li, and D. Wen, "Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions*, vol. 15, no. 2, pp. 597-606, 2014.

[30] V. Ramakrishnan, A. K. Prabhavathy, and J. Devishree, "A Survey on Vehicle Detection Techniques in Aerial Surveillance," *International Journal of Computer Applications*, vol. 55, no. 18, pp. 43-47, 2012.

[31] H. C. Choi, J. M. Park, W. S. Choi, and S. Y. Oh, "Vision-based Fusion of Robust Lane Tracking and Forward Vehicle Detection in a Real Driving Environment," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 653-669, 2012.

[6] A. H. S. Lai, G. S. K. Fung, and N. H. C. Yung, "Vehicle Type Classification from Visual-Based Dimension Estimation," *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, Oakland, CA, pp. 201-206, 2001.

[7] R. P. Avery, Y. Wang, and G. S. Rutherford, "Length-Based Vehicle Classification Using Images from Uncalibrated Video Cameras," *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 737-742, 2004.

[8] j. Bonneson, and M. Abbas, "Video Detection for Intersection and Interchange Control," FHWA/TX-03/4285-1, Texas Transportation Institute, College Station, Texas, 2002.

[9] P. T. Martin, G. Dharmavaram, and A. Stevanovic, "Evaluation of UDOT's Video Detection Systems: System's Performance in Various Test Conditions," Report No: UT-04.14. Salt Lake City, Utah, 2004.

[10] A. Rhodes, D. M. Bullock, J. Sturdevant, Z. Clark, and D. G. Candey, "Evaluation of Stop Bar Video Detection Accuracy at Signalized Intersections," CD-ROM, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 2005.

[11] S. Gupte, O. Masoud, R. F. K. Martin, and N. P. Papanikolopoulos, "Detection and Classification of Vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 37-47, 2002.

[12] R. Cucchiara, C. Grana, M. Piccardi, and A. Prati, "Detecting Moving Objects, Ghosts and Shadows in Video Streams," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 10, pp. 1337-1342, 2003.

[13] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

[14] R. P. Avery, G. Zhang, Y. Wang, and N. L. Nihan, "An Investigation into Shadow Removal from Traffic Images," *86th Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington, D.C.*, 2006.

[15] L. G. Shapiro, and G. C. Stockman, *Computer Vision*, Prentice Hall, New Jersey: pp. 289-290, 2001.

[16] G. S. K. Fung, N. H. C. Yung, G. K. H. Pang, and A. H. S. Lai, "Effective Moving Cast Shadow Detection for Monocular Color Traffic Image Sequences," *Optical Engineering*, vol. 41, no. 6, pp. 1425-1440, 2002.

[17] J. M. Wang, Y. C. Chung, C. L. Chang, and S. W. Chen, "Shadow Detection and Removal for Traffic Images," *IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol. 1, pp. 649-654, 2004.

[18] J. Zheng, Y. Wang, N. L. Nihan, and E. Hallenbeck, "Extracting Roadway Background Image: a Mode-Based

- ¹ Single-Loop Detector
- ² Dual-Loop Detector
- ³ Hypothesis Generation (HG)
- ⁴ Hypothesis Verification (HV)
- ⁵ Knowledge-Based
- ⁶ Stereo-Vision
- ⁷ Motion-Based
- ⁸ Template-Based Methods
- ⁹ Appearance-Based Methods
- ¹⁰ Coordinate Mapping Functions
- ¹¹ Camera Calibration
- ¹² Region Tracking
- ¹³ Inertial Measurement Unit (IMU)
- ¹⁴ Light Detection and Ranging (LIDAR)
- ¹⁵ Geographic Information Systems (GIS)
- ¹⁶ Global Positioning System (GPS)
- ¹⁷ Digital Maps
- ¹⁸ Vehicle Dynamics
- ¹⁹ Online Background Extraction and Update
- ²⁰ Frame Per Second (f/s)
- ²¹ Automatic Gain Control (AGC)
- ²² Moving Foreground Mask
- ²³ Threshold Value
- ²⁴ Seed
- ²⁵ Lane
- ²⁶ Virtual Detector (Sensor)
- ²⁷ Dual-Pass Otsu
- ²⁸ Region Growing
- ²⁹ Erosion
- ³⁰ Dilation
- ³¹ Self Shadow
- ³² Cast Shadow
- ³³ Luminance Value
- ³⁴ Chrominance Value
- ³⁵ Gradient density
- ³⁶ Luminance
- ³⁷ chrominance
- ³⁸ Shadow Confidence Score
- ³⁹ Thread
- ⁴⁰ Registration Line
- ⁴¹ Detection Line
- ⁴² Small Vehicle
- ⁴³ Large Vehicle
- ⁴⁴ Robust
- ⁴⁵ Sunny
- ⁴⁶ Foggy
- ⁴⁷ Rainy
- ⁴⁸ Busy
- ⁴⁹ Recall
- ⁵⁰ Precision

[32] H. Kong, J. Audibert, and J. Ponce, "General road detection from a single image," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 19, no. 8, pp. 2211–2220, 2010.

[33] Y. Li, B. Li, and D. Wen, "Rear-View Vehicle Detection and Tracking by Combining Multiple Parts for Complex Urban Surveillance," *IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, Issue. 2, pp. 597–606, 2014.

[34] C. Rasmussen, and T. Korah, "On-vehicle and aerial texture analysis for vision-based desert road following," *CVPR Workshop on Machine Vision for Intelligent Vehicles*, vol. III, pp. 66-66, 2005.

[35] S. Kammel, and B. Pitzer, "LIDAR-based lane marker detection and Mapping," *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 1137–1142, 2008.

[36] A. S. Huang, D. Moore, M. Antone, E. Olson, and S. Teller, "Finding multiple lanes in urban road networks with vision and LIDAR," *Auton. Robots*, no. 26, pp.103–122, 2009.

[37] J. McCall, and M. Trivedi, "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: survey," *system and evaluation, IEEE Transaction Intelligent Transportation System*, no. 7, pp. 20–37, 2006.

[38] Y. Yi, *On improving the accuracy and reliability of GPS/INS based direct sensor georeferencing*, Ph.D. Dissertation, Ohio State University, Columbus, 2007.

[39] A. B. Hillel, R. Lerner, D. Levi, and G. Raz, "Recent progress in road and lane detection: a survey," *Machine Vision and Applications*, no. 25, pp. 727–745, 2014.

[40] C. J. V. Rijsbergen, *Information retrieval*, London: Butterworth & Co Ltd (Publishers), second edition, 1979.

امین‌اله مه‌آبادی تحصیلات خود را در رشته مهندسی

برق سخته‌افزار و معماری کامپیوتر به انجام رسانده و

اکنون استادیار گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد است. تحقیقات

مورد علاقه نامبرده شبکه‌های اجتماعی، حمل و نقل

هوشمند، پردازش تصویر، سیستم بر تراشه و طراحی ابزارهای شبیه‌سازی هوشمند است.



آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

mahabadi@shahed.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۴/۱۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱

نویسنده مرتبط: دکتر امین‌اله مه‌آبادی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

یک روش برای کاهش طبقه‌بندی داده با استفاده از تکنیک وزن‌دهی در SVM+

آرش قربان‌نیا دلاور زهرا جعفری

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

SVM یک الگوریتم یادگیری مرتبط به تجزیه و تحلیل داده‌ها و تشخیص الگوها مورد استفاده می‌باشد. اما مسئله مهمی که وجود دارد داده‌های تکراری و همچنین زمان پردازش واقعی آن بدرستی مورد محاسبه واقع نشده است. به همین دلیل در این مقاله ما یک روش DCSVM+ که برای کاهش طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از تکنیک وزن‌دهی در SVM+ است را ارائه داده‌ایم. روش پیشنهادی که با در نظر گرفتن پارامترها نسبت به SVM+ زمان پاسخگویی بهینه دارد. با مشاهده پارامتر حجم داده‌ها و چگالی آن‌ها توانستیم اندازه بازه را به‌صورت موردی قسمت‌بندی نماییم که این طبقه‌بندی نسبت به مطالعه موردی بررسی شده زمان اجرای الگوریتم SVM+ را کاهش می‌دهد. همچنین با ارائه تابع هدف روش پیشنهادی، توانستیم با ادغام نمودن پارامترها و قسمت‌بندی داده‌ها، داده‌های تکراری را نسبت به SVM+ کاهش داده و در نهایت حد‌آستانه‌ای برای روش DCSVM+ ارائه نمودیم تا با توجه به تابع صلاحیت، زمان پردازش را کاهش داده و همچنین سرعت پردازش داده‌ها را افزایش دهیم. در نهایت الگوریتم پیشنهادی با تکنیک وزن‌دهی تابع نسبت به SVM+ از لحاظ کارآمدی بهینه شده است.

کلمات کلیدی: داده‌کاوی، ماشین بردار پشتیبان، طبقه‌بندی داده، داده‌های تکراری، چگالی، حد آستانه.

۱- مقدمه

یک پیاده‌سازی مبتنی بر SVM از LUPi می‌باشد که به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. روش SVM+ با استفاده از دانش قبلی جهت بهبود عملکرد الگوریتم و کاهش میزان داده‌های موردنیاز است که الگوی محرمانه آن به تازگی توسط VAPINK و همکاران معرفی شده است.

با استفاده روزافزون از پایگاه داده‌های اطلاعاتی و افزایش کارایی بهره‌وری از اطلاعات نیاز به ارائه روشی جهت بهبود کارایی الگوریتم کاربردی در داده‌کاوی است که بتوان از آن در جهت کاهش داده‌های تکراری و کاهش افزونگی استفاده کرد.

استفاده از داده‌های خاص یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که هدف از آن ارتقاء هر چه بهتر کلاس‌بندی و طبقه‌بندی با استفاده از داده‌هایی است که تنها در مرحله آموزش در دسترس است. عوامل متعددی هزینه‌های طبقه‌بندی را کاهش می‌دهد، از آن جمله عوامل وزن‌دهی داده‌ها است که از طریق چک کردن داده‌های ورودی بر روی سرعت اجرا تأثیر می‌گذارد. در این تحقیق ما با استفاده از تکنیک وزن‌دهی به داده‌های مشخص و شاخص سعی بر کاهش طبقه‌بندی داده‌ها داریم که بتوانیم سرعت اجرای الگوریتم را بالا برده و نتایج بهتری را بگیریم.

در دهه ۲۰۰۰ (میلادی) استفاده از الگوریتم SVM+ به‌عنوان یکی از روش‌های الگوریتم SVM^۱ رواج پیدا کرد، که نسبت به سایر روش‌های دیگر آن از قبیل SVM^۲، WSVM^۳، MVSVM^۴، GEPSVM^۵، عملکرد بهتری دارد.

داده‌کاوی که به مفهوم استخراج اطلاعات نهان و روابط مشخص در حجم زیادی از داده‌ها در یک یا چند بانک اطلاعاتی بزرگ است دارای چندین الگوریتم است. SVM یک الگوریتم یادگیری مرتبط به تجزیه و تحلیل داده‌ها و تشخیص الگوهای مورد استفاده برای طبقه‌بندی با در نظر گرفتن عموم داده‌ها است که محدود نبوده و قابل گسترش است. آموزش با استفاده از داده‌های خاص یکی از روش‌های یادگیری ماشین است که هدف آن ارتقای هر چه بهتر کلاس‌بندی با استفاده از داده‌هایی است که تنها در مرحله آموزش در دسترس است.

SVM+ نسخه کاربردی و حالت کلی‌تر SVM است که تکیه ظریفی بر ارتباط بین داده‌های منظم و شاخص دارد، که ممکن است حداقل در برخورد با برخی مشکلات اجرایی مشابه استفاده کاربردی اطلاعات معقول داشته باشد. SVM+

۲- کارهای مرتبط

SVM یک الگوریتم یادگیری مرتبط با تجزیه و تحلیل داده‌ها و تشخیص الگوهای موردنظر برای طبقه‌بندی با در نظر گرفتن عموم داده‌ها است که محدود نبوده و قابل گسترش می‌باشد. بر پایه این الگوریتم، پایه الگوریتم‌هایی ارائه شده است که هر کدام مزایا و معایب خود را دارند که سعی در بالا بردن سرعت اجرا و کاهش هزینه دارند و به عبارتی سعی در بهبود الگوریتم پایه SVM دارند. از جمله الگوریتم‌هایی که بر پایه SVM مطرح شده عبارتند از: WSVM، $LSSVM^5$ ، $WLS\ SVM^6$ ، $RLS\ SVM^7$ ، $MVSVM$ ، $GEP\ SVM$ ، EMV و SVM^+ و $SVM^+[1, 2]$.

جدول ۱

Proble m(Sec tion)	m	SVM+ SVM	SVM+ $R^{sep}_{V_{\cdot}}$ SVM	SVM+ $R^{non-sep}_{V_{\cdot}}$ SVM	SVM+ vs.SV $M+R^n$ on-sep
Digits (3.2)	40	0.000	0.000	0.000	0.934
	50	0.002	0.023	0.000	0.472
	60	0.005	0.048	0.043	0.005
	70	0.001	0.002	0.001	0.473
	80	0.001	0.036	0.003	0.114
	90	0.000	0.005	0.002	0.398

LUPI یک الگوی آموزش ماشین است که اخیراً مطرح شده و به منظور بهبود طبقه‌بندی با استفاده از اطلاعاتی است که صرفاً هنگام آموزش در دسترس می‌باشد و نه در زمان امتحان، که از روش‌های آموزش و یادگیری انسانی نشأت گرفته است. اهداف LUPI تقلید رفتار جهان محاسباتی در برخورد با مجموعه گسترده‌ای از آموزش‌های نظارتی است. این اطلاعات در دسترس نیست ولی در طی آموزش برای ساخت مدل بهتر کمک می‌کند.

SVM^+ همان نسخه کاربردی SVM از $LUPI^8$ است. باوجود پتانسیل کاربردی این الگو در اپلیکیشن‌های LUPI و SVM^+ به ندرت برای بروزرسانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

در این تحقیق گزارشی از تلاش‌های مان را برای نتیجه‌گیری مجدد در زمینه SVM^+ و نیز تحقیق در زمینه‌های علمی SVM^+ ارائه می‌دهیم. گرچه تحقیقات بیشتری در زمینه تئوری و عملی LUPI و SVM^+ برای درک بهتر ماهیت و امکان‌پذیری و محدودیت‌های آن موردنیاز می‌باشد، این تحقیق قصد دارد تا با تمرکز بر جنبه‌های عملی SVM^+ گامی به جلو بردارد.

از نظر مفهومی ایده اصلی تأثیر اطلاعات شاخص در تشدید و تقویت اجزاست. بررسی‌هایی که توسط دو گونه از اطلاعات شاخص انجام شده از یک سو اطلاعات شاخص ارائه شده حقیقی و از سوی دیگر خصوصیات اتفاقی مستنتج به‌صورت اطلاعات جدانشدنی و جدانشدنی است. SVM^+ برای اشاره به هر یک از مدل‌ها است در صورتی که SVM برای اشاره به هر دو مدل است.

SVM^+ دو روش در استفاده از داده‌ها را داراست: در روش اول از اطلاعات شاخص و داده‌های منظم استفاده می‌کند. در روش دوم ابتدا از داده‌های منظم استفاده می‌کند و سپس از اطلاعات شاخص بهره می‌برد. روشی که ما در این

تحقیق ارائه داده‌ایم ابتدا داده‌ها را براساس اطلاعات شاخص طبقه‌بندی کرده و سپس از داده‌های منظم و سایر ورودی‌ها بهره می‌برد.

در اصل هدف از طبقه‌بندی تمایز بین مجموعه اطلاعات ورودی است که به‌عنوان اطلاعات شاخص در LUPI مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی باید به این نکته توجه داشت که یافتن اطلاعاتی که به‌عنوان شاخص مورد استفاده قرار گیرد، آسان نیست.

مهندسان در مورد مشکلات خاص در دنیای واقعی از SVM^+ استفاده می‌کنند پس سعی در بهینه کردن این الگوریتم با استفاده از طبقه‌بندی انجام شده است.

$DCSVM^+$ هم مانند SVM^+ تکیه ظریفی بر ارتباط بین داده‌های منظم و اطلاعات شاخص دارد. همچنین حداقل در برخی موارد نشان داده شده است که شاخص‌هایی به‌صورت اتفاقی ایجاد شده‌اند و ممکن است نقش کلیدی را به‌عنوان اطلاعات شاخص ایفا کند. بنابراین زمانی که شاخص‌های رندم به‌عنوان اطلاعات شاخص در نظر گرفته می‌شوند نه‌تنها به‌عنوان اولین انتخاب منطقی به‌نظر می‌رسد بلکه یک خط مبنا برای اطلاعات شاخص اصلی برای مقایسه هستند.

$MVSVM$ یک طبقه‌بندی کننده مؤثر است که می‌تواند به‌طور همزمان مسائل پیچیده را به‌طور منحصر به فرد و یا با XOR رسیدگی کند. همزمان با این روش $GEP\ SVM$ هم مطرح شد که یک طبقه‌بندی کننده چند سطحی برای طبقه‌بندی داده‌های باینری است که به‌عنوان ماشین بردار پروگزیمال چند سطحی از طریق مقدار ویژه تعمیم است و در اصل انگیزه‌ای برای حل مشکلات XOR و به‌طور همزمان کاهش زمان محاسبات از SVM است که به‌جای حل تنها در یک سطح آن را به دو سطح غیرموازی حل می‌کند [4, 5].

هنوز هم $MVSVM$ نتایج امیدوارکننده‌تر و نمایش تعمیم بهتری از $GEP\ SVM$ برای انجام طبقه‌بندی‌های مختلف دارد. استفاده تنها از یک طرح‌ریزی بردار وزن برای هر کلاس جهت به دست آوردن طبقه‌بندی بهتر کافی نیست پس روش $EMSVM$ ارائه شد که حداکثر فاصله از بردار متوسط پیش‌بینی‌شده خود را به نفاطی از کلاس مختلف برای پیدا کردن تفکیک بهتر، متفاوت از $MVSVM$ با حداکثر تفکیک بین کلاس‌ها با اعمال حداکثر فاصله بین بردار متوسط از کلاس مختلف اعمال می‌کند. این کار باعث می‌شود $EMSVM$ بیش از یک وزن بردار افتراقی برای هر کلاس با توجه به رتبه آن از بین کلاس ماتریس پراکندگی تشکیل شده به دست آورد. درواقع $EMSVM$ می‌تواند دقت طبقه‌بندی را با افزایش تعداد بردارهای وزن بهبود بخشد، درواقع $MVSVM$ ، $GEP\ SVM$ و $EMSVM$ دارای مزیت رقابتی قابل‌توجهی بیش از SVM از نظر هزینه محاسباتی می‌باشند.

روش بعدی ارائه شده $LMSVM$ بوده است که برای حداقل مربعات قوی SVM برای رگرسیون و طبقه‌بندی با نویز استفاده می‌شود. روش $LS\ SVM$ حداقل مربعات SVM است که به نقاط دورافتاده یا نویز در مجموعه داده‌ای حساس هستند. در این روش جهت جلوگیری از تنظیم وزن یک رمان قوی از $LS\ SVM$ ارائه می‌شود.

روش $WLS\ SVM$ جهت چگونگی نسبت دادن وزن مناسب به نمونه آموزشی تعریف شد. استفاده از پارامتر P برای کنترل خطاها و افزایش استحکام باعث بیان شدن $RLS\ SVM$ شد.

$RLS\ SVM$ قوی‌تر از $LS\ SVM$ ، $WLS\ SVM$ و $LMSVM$ است و زمان آموزش آن کوتاه‌تر از همه موارد می‌باشد [5, 6].

بعد از این روش‌ها روش SVM^+ با استفاده از دانش قبلی جهت بهبود عملکرد الگوریتم و کاهش میزان داده‌های موردنیاز توسط VAPINK و همکاران معرفی شد. SVM^+ یک روش بر پایه SVM با استفاده از LUPI است و به عبارتی نسخه کاربردی SVM می‌باشد که تکیه ظریفی بر ارتباط بین داده‌های منظم و شاخص دارد و قابل مقایسه با روش $WSVM$ است که براساس وزن‌دهی به نقاط براساس

D رگرسیون اضافه، β_i لاگرانژ و K_z کرنل در فضای z است.

۴- نوآوری و نتایج شبیه سازی

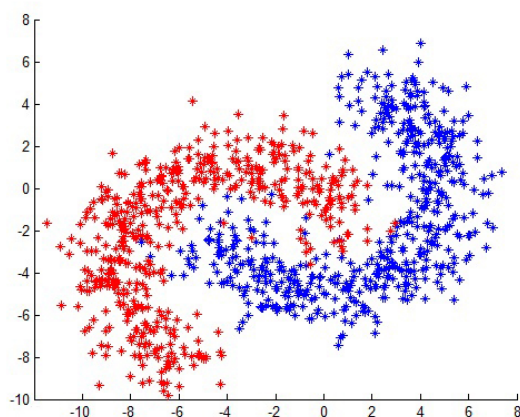
چون هدف کاهش طبقه بندی داده با استفاده از تکنیک وزن دهی است با توجه به تعداد و حجم داده ها به جای متغیر C از W بر J از نسبت تجمع داده ها بر چگالی فضای مسئله استفاده می کنیم و در نهایت به تابع صلاحیتی با شکل جدید زیر دست پیدا کردیم:

$$\max_{\alpha} \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(X_i, X_j) - \frac{1}{2\eta} \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i + \beta_i - \frac{W}{J})(\alpha_i + \beta_i - \frac{W}{J}) K_z(z_i, z_j) \quad (3)$$

W حجم و J چگالی هستند.

نتیجه شبیه سازی این تابع صلاحیت با جلوگیری از داده های خارج از محدوده، نتیجه ای با تراکم بیشتر داده ها و کمی سرعت بالاتری در اجرا مشاهده شد. (شکل ۲)

```
(1) alldata = [];
(2) for i = 1:N1
(3) if
(4) size(find(data(i,:)==10000),2)<1
(5) alldata = [alldata;
(6) data(i,:)];
```



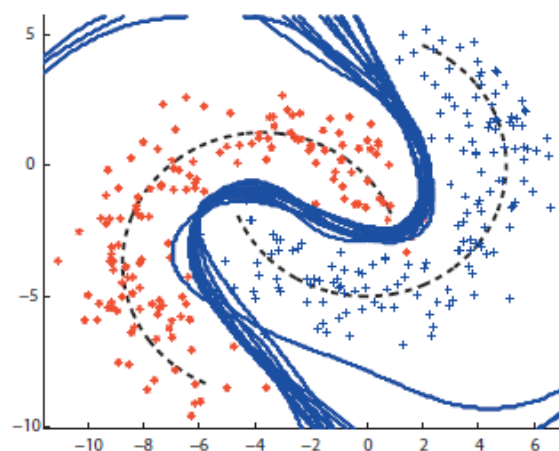
شکل ۲

سیس با قراردادن شمارنده ای، از ورود داده های تکراری جلوگیری کردیم که زمان اضافه ای جهت پردازش این داده ها که قبلاً پردازش شده بودند، صرف نگردد. با این انجام این کار سرعت اجرای برنامه بالاتر رفته که امتیاز خوبی از نظر زمانی برای این روش محسوب می شود. (شکل ۳)

```
(1) for j = 1:5
(2) testindex = [];
(3) trainindex = [];
(4) for k = 1:N3
(5) if mod(k,5)==mod(j,5)
(6) testindex = [testindex k];
(7) else
(8) trainindex = [trainindex k];
```

چون کاهش طبقه بندی داده هدف مورد نظر است، آنگاه با قرار دادن حد آستانه و تقسیم بندی کل فضای داده ای به ۴ بخش بین میانگین صفر و واریانس

نزدیکی یا دوری آن ها دارد. شکل اجرایی $SVM+$ بر روی مجموعه داده تعریف شده (در شکل ۱) آورده شده است. روش $SVM+$ راه حل غیربندی منحصراً به فردی بسیار قوی تر از $WSVM$ در جاهایی که افست واحد نبود، ارائه داد [۲].



شکل ۱- مرجع شماره [۱]

با فرموله کردن $SVM+$ مشکل دوگانگی بهینه شد. البته لازم به ذکر است که روش $WSVM$ هم با در نظر گرفتن داده های خاص می تواند رفتار $SVM+$ را تقلید کند. به عبارتی هر راه حل $SVM+$ نیز یک راه حل $WSVM$ با انتخاب وزن مناسب است. ولی توجه به این نکته ضروری است که هر راه حل غیربندی $SVM+$ منحصراً به فرد است برخلاف راه حل های $WSVM$ که ممکن است غیرمنحصراً به فرد باشد پس $WSVM$ و $SVM+$ معادل نیستند [۱، ۲، ۳].

۳- روش پیشنهادی

آموزش با استفاده از داده های خاص یکی از روش های یادگیری ماشین است که هدف از آن ارتقاء هرچه بهتر کلاس بندی و طبقه بندی با استفاده از داده هایی است که تنها در مرحله آموزش در دسترس است. در این مقاله ما گزارشی از نتایج تلاش هایمان برای کاهش طبقه بندی داده با استفاده از وزن دهی داده ها ارائه می دهیم.

روش های متعددی برای بهبود الگوریتم SVM ارائه شد که عدم تعمیم مناسب و نبود تعداد بردارهای تعریفی مناسب باعث ناکارآمدی آن ها شده است. در نهایت الگوریتم $SVM+$ به عنوان یک روش مناسب شناخته شده است که سعی بر بهبود آن در این مقاله داریم.

فرمول SVM (Carlos Serra-Toro, 2014:2) به شکل زیر تعریف شده است:

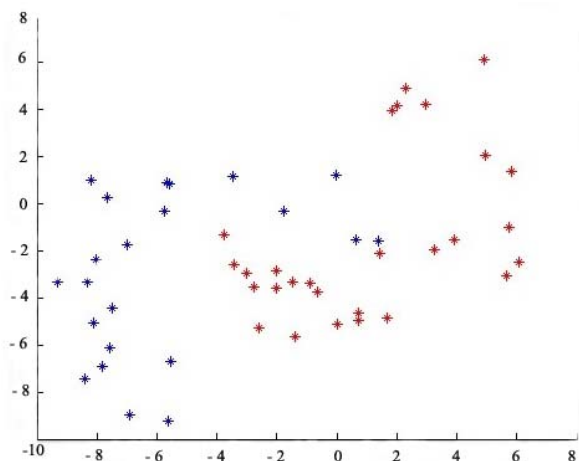
$$\max_{\alpha} \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(X_i, X_j), \quad \text{s.t.} \sum_{i=1}^m y_i \alpha_i = 0, \quad 0 \leq \alpha_i \leq C \quad (1)$$

متغیر مستقل K نماد کرنل و C نماد رگرسیون هستند.

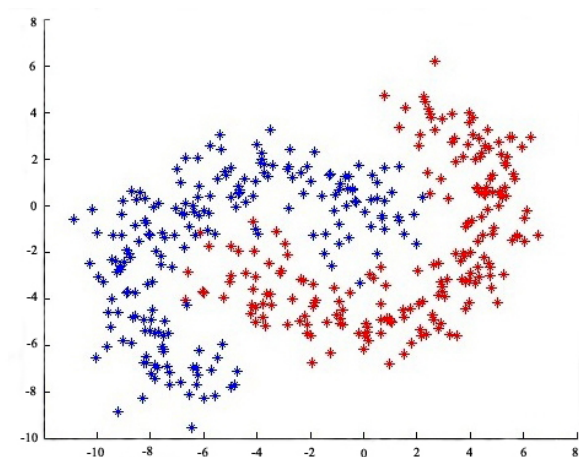
بر پایه فرمول بالا، شکل ریاضی $SVM+$ (Carlos Serra-Toro, 2014: 2) به شکل زیر تعریف شده است:

$$\max_{\alpha} \sum_{i=1}^m \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(X_i, X_j) - \frac{1}{2\eta} \sum_{i,j=1}^m (\alpha_i + \beta_i - C)(\alpha_i + \beta_i - C) K_z(z_i, z_j) \quad (2)$$

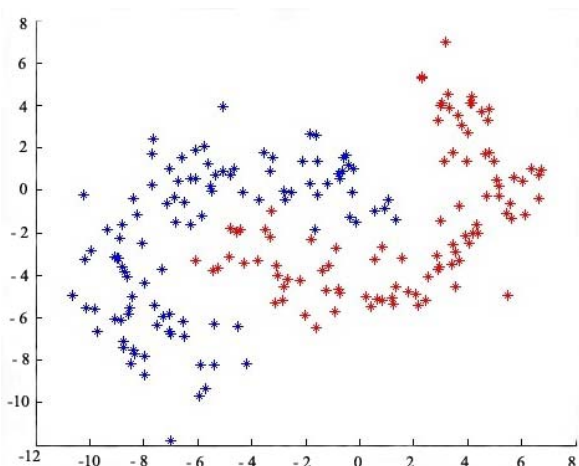
یک با شبه کد زیر این کار بهبود و پیاده‌سازی را انجام داده‌ایم که نتایج آن در شکل‌های ۴ تا ۷ قابل مشاهده است.



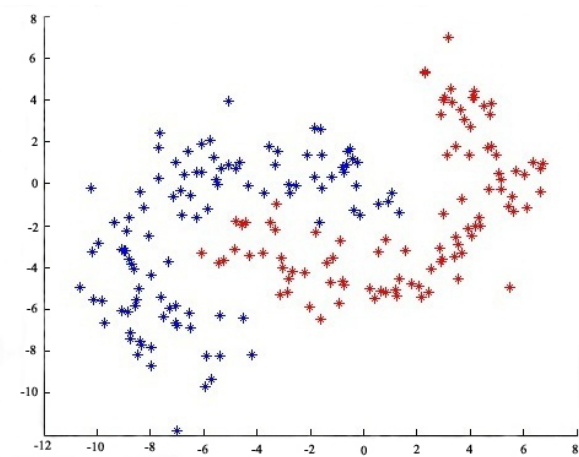
شکل ۶



شکل ۳



شکل ۷



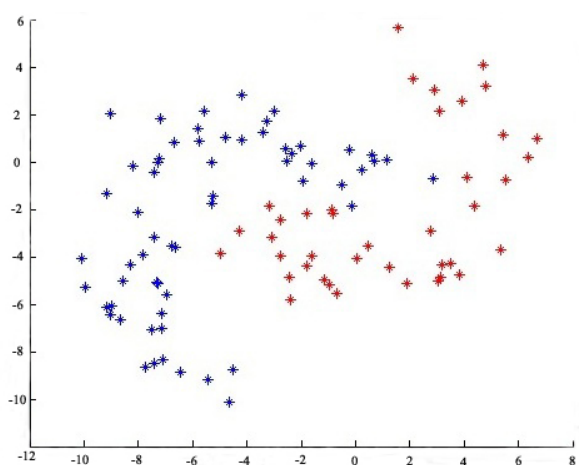
شکل ۴

- (1) `mdatax=mean(data(:,1));`
- (2) `mday=mean(data(:,2));`
- (3) `f1=(data(:,1)>=mdatax & data(:,2)>=mday);`
- (4) `datai=data(f1==1,:);`
- (5) `labels=labels(f1==1);`
- (6) `BEYNE 0 VA 1`
- (7) `for i = 1:N2-1`
- (8) `tmp1 = min(alldata(:,i));`
- (9) `tmp2 = max(alldata(:,i));`
- (10) `alldata(:,i) = (alldata(:,i)-tmp1)/(tmp2-tmp1);`

۵- نتایج

SVM+ از تمامی مدل‌های SVM اجرای بهتر و بالاتری دارد. حتی زمانی که از شاخص‌های اتفاقی به عنوان اطلاعات استفاده می‌کند. SVM+ از نظر معنایی و مفهومی عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های SVM دارد پس در این مقاله سعی در بهبود این الگوریتم شد.

SVM+.LUPI و DCSVM+ از نظر تئوری بسیار جذاب بوده و به صورت بالقوه در حل بسیاری از موارد مفید و مؤثر می‌باشد.



شکل ۵

[7] M. M. Rahman, S. K. Antani, and G. R. Thoma, "A Learning-based Similarity Fusion and Filtering Approach for Biomedical Image Retrieval using SVM Classification and Relevance Feedback," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* vol. 15, pp. 640–646, 2011.

[8] C.-C. Chang, and C.-J. Lin, "LIBSVM: a Library for Support Vector Machines," *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* vol. 2, 2011.

[9] B. Ribeiro, C. Silva, A. Vieira, A. Gaspar-Cunha, and J. das Neves, "Financial Distress Model Prediction using SVM+," *Proc. IJCNN*, pp. 1–7, 2010.

[10] D. Pascual, F. Pla, and J. S. Sanchez, "Cluster Validation Using Information Stability Measures," *Pattern Recogn. Lett.*, vol. 31, pp. 454–461, 2010.

[11] D. Pechyony, R. Izmailov, A. Vashist, and V. Vapnik, "SMO-style Algorithms for Learning using Privileged Information," *Proc. Int. Conf. Data Mining*, pp. 235–241, 2010.

[12] F. Chang, C. Y. Guo, X. R. Lin, and C. J. Lu, "Tree Decomposition for Large-scale SVM Problems," *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 11, pp. 2935–2972, 2010.

[13] O. Amayri, and N. Bouguila, "A Study of Spam Filtering using Support Vector Machines," *Artif. Intel. Rev.*, vol. 34, pp. 73–108, 2010.

[14] V. Vapnik, and A. Vashist, "A New Learning Paradigm: Learning using Privileged Information," *Neural Networks*, vol. 22, pp. 544–557, 2009.

[15] V. Vapnik, A. Vashist, and N. Pavlovitch, Learning using Hidden Information: Master-class Learning, *Proc. NATO Workshop on Mining Massive Data Sets for Security*, pp. 3–14, 2008.

[16] L. Liang, and V. Cherkassky, "Connection between SVM+ and Multi-task Learning," *Proc. International Joint Conference on Neural Networks*, pp. 2048–2054, 2008.

آرش قربان‌نیا دلاور در سال ۱۳۸۱ (۲۰۰۲) مدرک کارشناسی ارشد و در سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) درجه دکتری خود را در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه علوم و تحقیقات دریافت کرد. ایشان در حال حاضر استادیار در گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه پیام نور، تهران، هستند.



علاقه پژوهشی دکتر قربان‌نیا دلاور در زمینه‌های شبکه‌های کامپیوتری و داده‌کاوی می‌باشد.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

a_ghorbannia@pnu.ac.ir

اگر مقادیر ارزشیابی با مجموعه بزرگ‌تری از داده‌ها جایگزین شود DSVM+ احتمالاً نسبت به SVM+ از نظر اجرای محاسباتی و طبقه‌بندی مفیدتر خواهد بود.

اگر میزان نرخ خطا را با یک تفاوت منطقی برای SVM+ و DSVM+ افزایش بدهیم هنوز DSVM+ عملکرد و اجرای بهتر و بالاتری نسبت به SVM+ دارد. با توجه به جدول شماره ۱ که در آن الگوریتم SVM+ نسبت به سایر الگوریتم‌های بهینه‌تر بوده را در نظر گرفته و نتایج بدست آمده آنرا با نتایج الگوریتم DCSVM+ در جدول مقایسه می‌نماییم.

جدول ۲

ALGORITHM DIGIT	SVM & SVM+	SVM+ & DCSVM+
40	000/0	000/0
50	002/0	001/0
60	005/0	002/0
70	001/0	001/0
80	001/0	000/0
90	000/0	000/0

میانگین بدست آمده از الگوریتم SVM+ برابر با ۰/۰۰۹ است و میانگین بدست آمده از DCSVM+ ۰/۰۰۴ است. می‌توان نتیجه گرفت DCSVM+ در حالت بیشینه ۰/۰۰۵ کاهش پیدا کرده و در حالت کمینه برابر با خود SVM+ است.

با افزایش مقادیر ورودی در DCSVM+ نیز قالب‌های ارزشیابی و مقادیر اجرا بهبود یافته و اجرای بهتری نسبت به SVM+ دارد.

مراجع

[1] C. Serra-Toro, V. Javier Traver, and F. Pla, "Exploring Some Practical Issues of SVM+: Is Really Privileged Information that Helps," *Pattern Recogn. Lett.*, pp. 40–46, 2014.

[2] M. Lapin, M. Hein, and B. Schiele, "Learning Using Privileged Information: SVM+ and Weighted SVM," *Neural Networks*, vol. 53, pp. 95–108, 2014.

[3] J. Feyereisl, and U. Aickelin, "Privileged Information for Data Clustering," *Information Sciences*, vol. 194, pp. 4–23, 2012.

[4] D. Pechyony, and V. Vapnik, Fast Optimization Algorithms for Solving SVM+, in *Statistical Learning and Data Science*, Chapman and Hall/CRC, 2011, ch. 3, pp. 27–42.

[5] D. Pechyony, and V. Vapnik, "On the Theory of Learning with Privileged Information," *Proc. NIPS*, pp. 1894–1902, 2010.

[6] D. Bollegala, Y. Matsuo, and M. Ishizuka, "A Web Search Engine-based Approach to Measure Semantics Similarity between Words," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* vol. 23, pp. 977–990, 2011.



زهرا جعفری در سال ۱۳۸۸ (۲۰۱۰) مدرک کارشناسی و در سال ۱۳۹۱ (۲۰۱۲) مدرک کارشناسی ارشد را در رشته مهندسی کامپیوتر - نرم‌افزار از دانشگاه پیام نور دریافت کرد. ایشان در حال حاضر به عنوان پژوهشگر در گروه علوم کامپیوتر، دانشگاه پیام نور، تهران، هستند.

علاقه پژوهشی زهرا جعفری در زمینه شبکه، داده‌کاوی و محاسبات ابری می‌باشد که در این زمینه موفق به دریافت گواهی‌نامه‌های داخلی و بین‌المللی شده است.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

zj.nov1985@yahoo.com

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۲/۲۵

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۴/۱۸

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

نویسنده مرتبط: زهرا جعفری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

¹ Support Vector Machine

² Weighted SVM

³ Multi-Weight Vector Projection SVM

⁴ Generalized-Eigenvalue Based Multisurface SVM

⁵ Least Squares SVM

⁶ Weighted Least Squares SVM

⁷ Realest Squares SVM

⁸ Enhanced Multi Weight Vector Project SVM

⁹ Learning Using Privileged Information

مشکلات و راهکارهای بهبود پروتکل TCP در شبکه‌های بی‌سیم

مریم شفیعی ناصر یزدانی مسعود رهگذر

دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

پروتکل TCP رایج‌ترین پروتکل انتقال در اینترنت است. از آنجا که این پروتکل برای شبکه‌های سیمی طراحی و پیاده‌سازی شده است، کارایی آن در محیط‌های بی‌سیم دچار افت و کاهش شدیدی می‌شود. از طرفی این پروتکل ارسال مطمئن داده‌ها را تضمین می‌کند و حدود ۸۵٪ کاربردهای اینترنت از این استاندارد استفاده کرده‌اند، بنابراین حذف این پروتکل یا نادیده گرفتن مشکلات آن در شبکه‌های بی‌سیم عملاً غیرممکن است. در سال‌های اخیر، طرح‌ها و پیشنهادهای بسیاری به منظور حل مشکل ناکارآمد بودن TCP در شبکه‌های بی‌سیم ارائه شده است. ما در این مقاله سعی کرده‌ایم تا تمام مشکلاتی که در شبکه‌های بی‌سیم بر کارایی TCP تأثیر منفی گذاشته‌اند را مورد بررسی قرار دهیم. ما این مشکلات را به دو دسته، مشکلات ناشی از ساختار پروتکل TCP و مشکلات ناشی از ویژگی‌های محیط بی‌سیم بر کارایی پروتکل TCP، تقسیم کرده‌ایم. همچنین متناسب با این مشکلات، روش‌های بهبود کارایی TCP را از نقطه نظر کاربردها و از نقطه نظر پیاده‌سازی به دو دسته تقسیم کرده‌ایم. از نقطه نظر کاربردها، شبکه‌های بی‌سیم رایج شامل شبکه‌های ماهواره‌ای، Ad hoc و سلولی هستند. در دسته دوم نیز روش‌های بهبود TCP را به پنج دسته تقسیم کرده‌ایم: اتصال تقسیم شده، کنترل ازدحام انفعالی، کنترل ازدحام فعالانه، ارتقاء کارکرد لایه پیوند داده و روش‌های همکاری بین لایه‌ای. ما درباره ماهیت هر یک از روش‌ها بحث کرده و برای هر کدام از آنها پروتکل‌هایی را برای مثال آورده‌ایم و درباره عملکرد و نقاط ضعف و قوتشان بحث کرده‌ایم. در ادامه یک پروتکل جدید انتها به انتها به نام VECU که در برخورد با اتلاف بسته‌های تصادفی موثر و کارآمد است معرفی می‌نماییم. عنصر کلیدی VECU این است که این پروتکل سطح ازدحام شبکه را مانیتور کرده و از این اطلاعات برای تشخیص علت اتلاف بسته‌ها (ازدحام و یا خطای بیتی) استفاده می‌کند. در این روش زمانی که اندازه پنجره از نقطه اشباع دور است، اندازه پنجره را به صورت تهاجمی افزایش می‌دهد و وقتی که نزدیک به نقطه اشباع است به کندی افزایش می‌دهد. VECU با رفع وابستگی تابع افزایش پنجره از RTT، پهنای باند را بصورت عادلانه بین جریان‌ها با RTT متفاوت به اشتراک می‌گذارد. این پروتکل پایدار و مقیاس‌پذیر است و از لینک به صورت کامل استفاده می‌کند. این روش تنها نیاز به تغییر در سمت فرستنده دارد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های بی‌سیم، روش‌های بهبود کارایی TCP، VECU، مشکلات پروتکل TCP.

۱- مقدمه

بسته به عنوان ازدحام در شبکه رفتار می‌شود در حالیکه این فرض در شبکه‌هایی با کانال‌های بی‌سیم همواره صحیح نمی‌باشد چون اتلاف بسته‌ها به دلایلی مثل نویز، خطای لینک و یا دلایلی غیر از ازدحام است و این تفسیر غلط باعث کاهش قابل توجه کارایی می‌شود [۳، ۴]. در مساله مورد نظر پرسش اصلی مربوط به بالابردن کارایی TCP در شبکه‌های بی‌سیم سرعت بالا است. از آنجا که بسیاری از کاربردها و سرویس‌های اینترنت تحت قوانین TCP عرضه می‌شوند و از طرفی استفاده از شبکه‌های بی‌سیم سرعت بالا بسیار ضروری و مفید است، و با توجه به مشکلات TCP در این محیط، هدف ما بالا بردن کارایی TCP را در این محیط‌ها است که تأثیر قابل توجهی بر بروی کارایی کاربردها و سرویس‌ها

در طول دهه‌های گذشته ما شاهد رشد بی‌نظیری در شبکه‌های بی‌سیم بوده‌ایم ولی کیفیت سرویس‌دهی و بهره‌وری شبکه‌های بی‌سیم امروزی هنوز فاصله زیادی از نقطه مطلوب و ایده‌آل خود دارد. اتصالات بی‌سیم از نرخ خطای بیت بالا، پهنای باند پایین و تأخیرهای طولانی رنج می‌برند. TCP یک پروتکل عملی است که سرویس انتقال با قابلیت اطمینان، انتها به انتها و اتصال‌گرا را روی اینترنت فراهم می‌کند [۲، ۷]. همزمان که اینترنت به سمت شبکه‌های خیلی سریع و با فاصله زیاد حرکت می‌کند، کارایی TCP نیز به چالش کشیده شده است. در TCP استاندارد با اتلاف

وجود مزایای بسیار زیاد شبکه‌های بی‌سیم، برخی ویژگی‌های آن تاثیر منفی بر کارایی TCP دارد که شامل موارد زیر می‌باشند [۱، ۲۰، ۲۱].

- نرخ خطای بی‌تی بالا
- قطع شدن ارتباط
- پهنای باند محدود و متغیر
- اندازه سلول
- محدودیت انرژی
- توپولوژی پویای شبکه
- عدم تقارن لینک‌ها

۳- رویکردهای بهبود کارایی TCP

از آنجا که TCP برای یک نوع شبکه خاص یا برنامه‌های کاربردی بخصوص طراحی نشده است، پس می‌توان اصلاحات و بهبودهایی در مکانیزم‌های آن انجام داد تا کارایی آنرا افزایش داد. محققان سعی کردند تا ساختارهایی را پیشنهاد کنند که ضمن اینکه عملکرد پروتکل را در این شبکه‌های خاص بهبود می‌بخشد، در عین حال کمترین تغییر ممکن را در خود پروتکل ایجاد کند.

۳-۱- TCP برای کاربردهای مختلف بی‌سیم

اگر از جنبه کاربردها به این مسئله نگاه کنیم، ما چند محیط بی‌سیم داریم و TCP را می‌توان متناسب با مشکلات هر محیط طراحی کرد. رایج‌ترین شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های ماهواره‌ای، شبکه‌های ad hoc و زیرساخت‌های بی‌سیم عمومی مانند شبکه‌های محلی بی‌سیم و سلولی هستند. طراحی TCP می‌تواند براساس ویژگی‌ها و نیازهای این محیط‌ها انجام شود. با این وجود مشکل اصلی همه شبکه‌های بی‌سیم، نرخ خطای بی‌تی بالا در آنها می‌باشد و هدف اصلی در طراحی این است که فرستنده از علت اصلی اتلاف بسته‌ها مطلع شود. در این صورت فرستنده قادر خواهد بود که تصمیم مناسبی برای تنظیم پنجره ازدحام بگیرد.

۳-۱-۱- شبکه‌های ماهواره‌ای

در شبکه‌های ماهواره‌ای، فاز شروع آهسته استاندارد TCP باعث می‌شود که فرستنده زمان زیادی را برای رسیدن به نرخ ارسال بالا صرف کند. از آنجا که اکثر کاربردها مثل HTTP فایل‌های کوچک را انتقال می‌دهند، ممکن است در کل زمان انتقال فایل، TCP در فاز شروع آهسته بماند و نتواند به صورت کامل از پهنای باند شبکه استفاده کند.

TCP-Peach به پروتکل TCP و مکانیسم انتقال مجدد سریع دو مکانیسم اضافه می‌کند، شروع ناگهانی و بازبایی سریع. در فاز شروع ناگهانی، در بازه زمانی $0 \leq t < RTT$ ، فرستنده ابتدا یک بسته داده می‌فرستد و سپس به اندازه $(rwnd-1)$ بسته ساختگی با اولویت کم می‌فرستد و بعد در بازه $RTT \leq t < 2RTT$ ، ACK‌های مربوط به داده و بسته‌های ساختگی که در بازه $0 \leq t < RTT$ فرستاده شده بودند به فرستنده می‌رسند. پس به ازای هر ACK مربوط به بسته‌های ساختگی، فرستنده اندازه cwnd را یکی اضافه می‌کند و یک بسته داده ارسال می‌کند. بنابراین نرخ ارسال فرستنده به صورت ناگهانی افزایش می‌یابد. بازبایی سریع هم جایگزین مکانیسم بازبایی سریع در استاندارد TCP می‌شود تا بازدهی را در لینک‌هایی با نرخ خطای بالا، افزایش دهد [۱۳].

خواهد داشت. در این مقاله ابتدا راه حل‌های موجود برای بالا بردن کارایی TCP در شبکه بی‌سیم و نقاط ضعف و قوت آنها مورد مطالعه قرار گرفته، سپس پروتکلی را به عنوان راه حل برای بالا بردن کارایی TCP در شبکه‌های بی‌سیم با سرعت‌های بالا ارائه داده‌ایم.

در بخش بعدی به معرفی ویژگی‌های محیط‌های بی‌سیم و سیار و مسائل و مشکلاتی که شبکه‌های بی‌سیم کنونی در زمینه TCP با آنها مواجه هستند می‌پردازیم. در بخش سوم و چهارم نیز به دسته‌بندی و مقایسه روش‌های بهبود کارایی پروتکل TCP در این شبکه‌ها پرداخته‌ایم. در ادامه یک پروتکل جدید ارائه داده‌ایم که جزئیات این پروتکل در بخش پنجم آمده است. به‌منظور ارزیابی کمی این روش و مشخص شدن مقدار بهبودی حاصله در این روش در مقایسه با سایر راهکارها، ما روش خود را در نرم NS شبیه‌سازی کردیم. پارامترهای محیط شبیه‌سازی و نتایج حاصل از آزمایشات در قالب نمودارها در فصل ششم آمده است. سرانجام در بخش هفتم نتیجه‌گیری از تحقیق بیان شده است.

۲- دلایل کارایی ضعیف TCP در شبکه‌های بی‌سیم

TCP الگوهای رفتاری نامطلوبی در شبکه‌های بی‌سیم از خود نشان می‌دهد و فاقد استراتژی‌هایی برای مصرف مقرون به صرفه انرژی است تا ما را به بازدهی بالایی برساند. TCP قادر به تشخیص ماهیت خطا نمی‌باشد بلکه تنها وقوع خطا را اعلام می‌کند. بنابراین مکانیزم بازبایی خطا همیشه کارایی ندارد، بخصوص وقتی که الگوی خطا مرتب عوض می‌شود، زیرا گم شدن بسته همیشه از نظر پروتکل ناشی از ازدحام است [۸].

۲-۱- مشکلات ناشی از ساختار پروتکل TCP

TCP یک پروتکل عملی است که سرویس انتقال با قابلیت اطمینان، انتها به انتها و اتصال‌گرا را روی اینترنت فراهم می‌کند. TCP از پنجره‌ای به نام پنجره ازدحام (cwnd) برای رسیدگی به ازدحام در شبکه استفاده می‌کند. پیاده‌سازی عملی TCP اغلب بر مبنای مفروضاتی بهینه‌سازی می‌شوند که فقط برای شبکه‌های سیمی صادق هستند و برای شبکه‌های بی‌سیم با شکست مواجه می‌شود و در لینک‌های سرعت بالا باعث درست مصرف نشدن منابع شبکه می‌شود [۶، ۷، ۸، ۹].

۳-۱-۱- عدم تشخیص خطای بی‌تی از ازدحام:

- افزایش تهاجمی cwnd
- به روزرسانی قطعی cwnd
- اقدامات قطعی
- ناعادلانه بودن TCP
- انقضای زمان متوالی
- متغیر بودن اندازه بسته‌ها
- افزایش پنجره ارسال به اندازه یک بسته در هر RTT
- زمان رفت و برگشت طولانی

۲-۲- مشکلات ناشی از لینک‌های بی‌سیم بر کارایی TCP

تفاوت بین شبکه‌های بی‌سیم و سیمی، همانطور که از نام آن برمی‌آید در این است که گره‌ها بدون اختیار داشتن هیچ زیرساختی بتوانند با هم ارتباط برقرار کنند. با

۳-۱-۲- شبکه‌های ad hoc

۳-۲-۱- تقسیم اتصال

قسمت سیمی در یک شبکه ناهمگن از جهت ظرفیت اتصال و نرخ خطا از قست بی‌سیم بسیار قابل اطمینان‌تر است و اتصالات پراتلاف بی‌سیم در انتقال، تبدیل به یک گلوگاه می‌شود. در این دسته روش‌ها می‌توان هر اتصال TCP را در نقطه تماس دو زیر شبکه (مثلا ایستگاه پایه) به دو اتصال مجزا تقسیم کرد. بزرگترین نقطه ضعف این روش مشکل حفظ مفاهیم انتها به انتها بخصوص در مکانیزم اعلام وصول‌ها (ACK) می‌باشد. ضعف دیگر این است که فرآیند handover بسیار پیچیده و زمان‌بر می‌شود که سربرار زیادی به شبکه تحمیل می‌کند.

I-TCP: در این روش [۱۶] ایستگاه ثابت از یک اتصال TCP با میزبان ثابت بهره می‌برد، در حالی که در همان زمان از پروتکل دیگری که برای کار روی پیوندهای بی‌سیم بهینه شده است، برای اتصال با میزبان سیار استفاده می‌کند. داده‌های ارسال شده به میزبان سیار توسط ایستگاه ثابت دریافت شده و بافر می‌شود و بلافاصله به فرستنده اعلام وصول می‌شود. به این ترتیب امکان دارد که قبل از آنکه یک بخش عملاً توسط گیرنده (میزبان سیار) دریافت شود توسط ایستگاه پایه به فرستنده اعلام وصول شود. پس از انتقال ACK از ایستگاه ثابت به فرستنده، وظیفه انتقال و تحویل داده‌ها به میزبان سیار به عهده ایستگاه پایه گذاشته می‌شود.

MTCP: روشی مشابه با I-TCP پیشنهاد کرده است با این تفاوت که تنها زمانی رسیدن داده به فرستنده اعلام وصول می‌شود که آخرین بایت از داده به میزبان سیار رسیده باشد. این کار به منظور حفظ مفاهیم انتها-به-انتها TCP انجام می‌شود. برتری MTCP به I-TCP در این است که اولاً مفهوم انتها به انتها را حفظ می‌کند و دیگر اینکه در صورت قطعی اتصال مکرر و کوتاه، یا طولانی و نادر که به علت جابجایی کاربر یا علل دیگر پدید می‌آید، بهتر عمل می‌کند [۱۷].

۳-۲-۲- کنترل ازدحام انفعالی و انتها به انتها

کنترل جریان استاندارد Reno بصورت انفعالی است؛ TCP با افزایش مداوم و تدریجی پنجره ازدحام تا رسیدن شبکه به وضعیت ازدحام، به دنبال فهمیدن ظرفیت دردسترس شبکه است و در این صورت، ازدحام غیرقابل اجتناب است. پس از آن، TCP به نرخ انتقال بسیار کندتر سقوط خواهد کرد که این برای اتلاف بسته تصادفی در شبکه‌های بی‌سیم غیر ضروری است.

عبارت است از یک شبکه بدون زیرساخت ثابت که از تعدادی گره بی‌سیم تشکیل شده است که به‌طور کاملاً پویا شبکه را بدون هیچ مدیریت مرکزی تشکیل می‌دهند. ATCP [۱۴] به عنوان یک راه حل انتها به انتها برای بهبود کارایی این شبکه‌ها طراحی شده است که به صورت یک لایه بین لایه‌های TCP و IP پیاده‌سازی شده است، پس تغییری در کدهای TCP نمی‌دهد، و از ECN برای تشخیص ازدحام و علت وقوع خطا استفاده می‌کند. همچنین این الگوریتم از پیام "عدم دسترسی به مقصد" برای تشخیص تغییر در مسیرها استفاده می‌کند. فرستنده بر اساس این دو بازخورد شبکه، در حالت کنترل ازدحام یا انتقال مجدد قرار می‌گیرد و اگر تغییر مسیر رخ دهد، در فاز پافشاری برای مسیری برای ارسال مجدد می‌ماند.

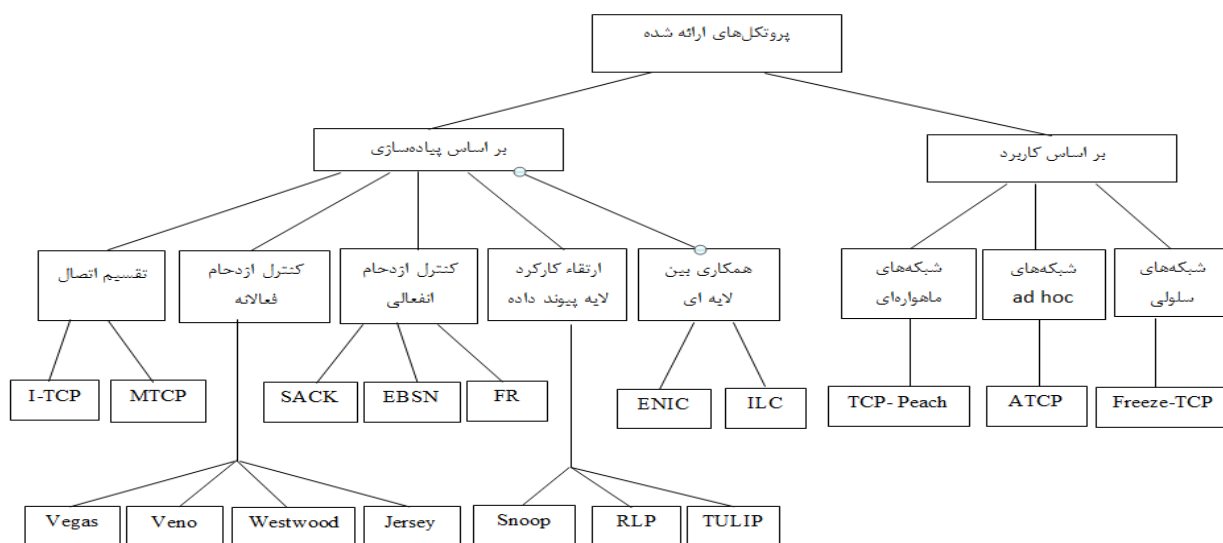
۳-۱-۳- شبکه‌های سلولی

این شبکه‌ها امکان اینکه تعداد زیادی عامل بی‌سیم در هر نقطه از شبکه با یکدیگر از طریق ایستگاه‌های پایه ارتباط برقرار کنند را بوجود می‌آورد. تغییرات TCP در این شبکه‌ها براساس ویژگی‌های شبکه بی‌سیم مانند نرخ خطای بی‌بی‌لا و handoff صورت می‌گیرد. Freeze-TCP یک راه حل انتها به انتها برای بهبود کارایی TCP در این شبکه‌ها است.

این الگوریتم علت اصلی کاهش کارایی را قطع شدن‌های مکرر می‌داند و فرض می‌کند که واحد متحرک از قدرت سیگنالش اطلاع دارد و می‌تواند قطعی اتصال قریب الوقوع را پیش‌بینی کند. پس گیرنده متحرک در این شرایط اندازه پنجره‌اش را در ACK مقدار صفراعلام می‌کند و فرستنده هم مجبور می‌شود که ارسال بسته‌ها را تا تغییر اندازه پنجره متوقف کند [۱۵].

۳-۲-۳- پیاده‌سازی‌های TCP در شبکه‌های بی‌سیم

از نقطه نظر پیاده‌سازی و اجرا، الگوریتم‌های TCP بی‌سیم می‌توانند به پنج دسته تقسیم شود. حالت تقسیم، کنترل ازدحام انفعالی، کنترل ازدحام فعالانه، لایه پیوند داده و همکاری بین لایه‌ای.



شکل ۱- روش‌های بهبود کارایی پروتکل TCP

شده و توان عملیاتی مورد انتظار که بوسیله اندازه پنجره محاسبه می‌شود، تغییرات توان عملیاتی را در نظر می‌گیرد. الگوریتم پرهیز از ازدحام از این اطلاعات برای حفظ مقدار بهینه داده در شبکه استفاده می‌کند.

TCPVeno: متدولوژی آن شبیه Vegas است به علاوه راهی را برای تشخیص علت اتلاف بسته‌ها پیشنهاد می‌دهد. اگر تعداد بسته‌های انباشته شده کمتر از یک مقدار آستانه باشد، اتلاف به دلیل خطای تصادفی است و در غیر این صورت به دلیل ازدحام است. اگر اتلاف به دلیل ازدحام باشد، رویکرد Reno را اتخاذ می‌کند و اگر به دلیل خطای تصادفی باشد، پنجره ازدحام را با رفتاری محافظه کارانه افزایش می‌دهد [۲۲].

TCP Westwood: یک رویکرد مبتنی بر سرعت و انتها به انتها می‌باشد که فرستنده با اندازه‌گیری و میانگین‌گیری نرخ بازگشت ACKها، پهنای باند قابل دسترسی را به صورت پویا تخمین می‌زند و از آن برای تعیین نرخ ارسال استفاده می‌کند. وقتی که TCP Westwood با رسیدن سه ACK تکراری تشخیص می‌دهد که اتلاف رخ داده است، مقدار آستانه را به معکوس ضریب پهنای باند- تاخیر تنظیم می‌کند [۲۳].

TCP-Jersey: نرخ ارسال را متناسب با وضعیت شبکه تنظیم می‌کند که دارای دو جزء کلیدی است. الگوریتم تشخیص پهنای باند در دسترس (ABE) که در سمت فرستنده پیاده‌سازی می‌شود و هشدار ازدحام (CW) در مسیر یاب پیاده می‌شود [۲۴].

۳-۲-۴- ارتقاء کارکرد لایه پیوند داده

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، اکثر مشکلات پروتکل‌های انتقال مطمئن مانند TCP از ماهیت متفاوت رسانه بی‌سیم ناشی می‌شود. بنابراین عاقلانه آن است که تلاش شود تا این مشکل را در ریشه خود حل کنیم. پروتکل لایه پیوند (LL) که بالای لایه فیزیکی اجرا می‌شود زودتر از دیگر لایه‌ها از حذف شدن بسته‌ها مطلع می‌شود و بنابراین می‌تواند سریع‌تر به آن پاسخ دهد. همچنین کنترل بیشتری روی پروتکل لایه فیزیکی دارد. لذا انتظار داریم با کاهش ناکارآمدی رسانه بی‌سیم در لایه پیوند داده‌ها، کانال ارتباطی قابل اطمینانی- همانند آنچه در کانال سیمی داریم- برای پروتکل لایه انتقال فراهم شود. با این روش ما مجبور نیستیم پیاده سازی‌های کنونی TCP را تغییر بدهیم و براحتی می‌توانیم با ساختار نرم‌افزاری و سخت‌افزاری موجود کار کنیم. علیرغم تمام محاسنی که برای روش‌های مرتبط با لایه پیوند داده‌ها ذکر شده، ولی متأسفانه شبیه کردن رسانه بی‌سیم به کانال سیمی کار ساده‌ای نیست، پروتکل LL باید توزیع و تحویل نسبتاً مطمئن بسته‌ها را تضمین کند. اینکار معمولاً با استفاده از راهکار ARQ یا FEC انجام می‌شود. ولی این روش‌ها نیز مشکلات و کاستی‌های خاص خود را دارند [۲۵].

Snoop: مشهورترین روش از گروه لایه پیوند داده‌ها پروتکل snoop می‌باشد [۲۶]. در این روش یک عامل Snoop به ایستگاه پایه اضافه می‌شود که بسته‌های ارسالی ولی اعلام وصول نشده را در حافظه خود نگاه می‌دارد تا بتواند بر طبق تایم اوت‌ها و سیاست بسته اعلام وصول نشده، انتقال مجدد‌های محلی را روی این بسته‌ها اجرا کند. ایستگاه ثابت بی‌آنکه نیازی به افزایش کارکرد لایه انتقال داشته باشد، تمام بسته‌های مبادله شده روی اتصال‌های سیمی و بی‌سیم را مانیتور می‌کند. همچنین Snoop اعلام وصول‌های دریافتی از میزبان سیار را مانیتور و پردازش می‌کند تا بدین‌وسیله عملیات‌های مورد نیاز را اجرا نماید. پس از دریافت یک ACK جدید، Snoop فقط بسته‌های اعلام وصول شده را از حافظه پاک می‌کند.

RLP: این الگوریتم [۱۲] سگمنت‌های TCP را به فریم‌هایی تقسیم می‌کند و از یک کد تصحیح خطای قوی (ARQ) و مکانیسم ارسال سریع برای پنهان کردن

SACK: این الگوریتم [۱۸] در واقع راهی برای تهیه اطلاعات بیشتر در مورد بسته‌های دریافت شده است. گزینه SACK یک فیلد اختیاری در سرآیند TCP است. هرگاه داده‌ای خارج از ترتیب دریافت شود، SACK فرستاده می‌شود. زمانی که فرستنده یک ACK با گزینه SACK دریافت می‌کند، همه بخش‌هایی که در بلاک‌های SACK مشخص شده‌اند به‌عنوان SACKed مارک می‌شوند و سطر مربوط به هر بخش تا وقتی که آن بخش ACK شود، در جدول باقی می‌ماند. در طول مدت انتقال مجدد سریع، فرستنده ابتدا تلاش می‌کند تا حفره‌های موجود در بلاک‌های SACK را قبل از فرستادن هر بسته جدید انتقال مجدد دهد. هر وقت که فرستنده یک بخش را دوباره انتقال می‌دهد، آن بخش در جدول به عنوان انتقال مجدد شده مارک می‌شود. اگر یک بخش انتقال مجدد شده گم شود، فرستنده تایم اوت داده و شروع آهسته را اجرا می‌کند. زمانی که تایم اوت رخ می‌دهد، فرستنده جدول SACK را دوباره تنظیم می‌کند.

FR: این مکانیسم [۱۲] از ساده‌ترین روش‌ها برای بهبود کارایی TCP است که در آن از مکانیسم بازبایی سریع در TCP استاندارد استفاده شده است تا مشکل اتلاف بسته‌ها بر اثر handoff را حل کند. تغییرات کمی در نرم‌افزار IP میزبان متحرک نیز صورت می‌گیرد تا برای handoff بتواند به میزبان ثابت سیگنال بفرستد. این روش بر مشکل handoff تمرکز می‌کند و توجهی به دیگر مشکلات ندارد.

ECN: این راهکار بر پایه این واقعیت کار می‌کند که مسیر یاب‌ها هیچ اطلاعاتی به فرستنده فیدبک نمی‌کنند و از مکانیزم صف‌بندی drop tail استفاده می‌کنند. TCP با اعلان صریح ازدحام، وظایف بیشتری به روترها می‌دهد. این روش برای تحویل فیدبک و انتقال قابلیت ECN از دو بیت در سرآیند IP و یک بیت در سرآیند TCP استفاده می‌کند. زمانی که طول صف از یک سطح آستانه تجاوز کند، مسیر یاب بسته‌ها را با علامت «دچار ازدحام شده» نشانه‌گذاری می‌کند. در مقصد، بیت دچار ازدحام شده به بیت ECN_echo در اعلام وصول TCP کپی شده و با ACK به فرستنده TCP بازگردانده می‌شود. فرستنده TCP پس از دریافت ECN_echo از پنجره ازدحام خود می‌کاهد تا ازدحام را کاهش دهد [۱۹].

Congestion Coherence (CC): این روش [۲۰] انتقال مجدد محلی روی پیوند بی‌سیم را در کنار یک راهکار با عنوان «انجماد ازدحام» به خدمت می‌گیرد. روش کار الگوریتم به این صورت است که در صورت گم شدن بسته‌ها یا نامرتب رسیدن آن‌ها، گیرنده به بسته‌های مجاور آن نگاه می‌کند، اگر بعضی از بسته‌ها با ECN نشانه‌گذاری شده باشد پس علت وقوع خطا، ازدحام در شبکه است. در واکنش به ازدحام، با استفاده از اعلام وصول تکراری یک انتقال مجدد انتها به انتها را آغاز می‌کند. حال اگر بسته‌های مجاور با ECN نشانه‌گذاری نشده باشند، نتیجه‌گیری می‌کند که گم شدن بسته ناشی از خطای انتقال در پیوند بی‌سیم بوده است و باید انتقال مجدد محلی روی لایه پیوند بی‌سیم برای بازبایی آن اجرا شود.

۳-۲-۳- کنترل ازدحام فعالانه

در کنترل ازدحام فعالانه، فرستنده به صورت هوشمندانه به وضعیت شبکه یا دلیل اتلاف بسته‌ها واکنش نشان می‌دهد، بنابراین از وارد شدن شبکه به وضعیت نامطلوب جلوگیری می‌کند. استراتژی‌های متفاوتی را در طراحی می‌توان در نظر گرفت تا فرستنده بتواند اطلاعات صریح و روشنی از وضعیت شبکه داشته باشد.

TCPVegas: این الگوریتم [۲۱] بسته‌های جمع شده در بافر لینک گلوگاه را تخمین زده و سرعت واقعی ارسال را ثبت می‌کند تا بازده واقعی را محاسبه کند. تفاوت بین بازدهی بهینه و سرعت ارسال واقعی برای محاسبه تعداد بسته‌های جمع شده در شبکه به کار می‌رود. همچنین با مقایسه توان عملیاتی اندازه‌گیری

تا بازیابی مجدد مسیر متوقف می‌شود. ضمناً متغیرهایی مثل اندازه پنجره ازدحام، مهلت زمان سنج انتقال مجدد و غیره دست نمی‌خورند. بعد از اینکه یک مسیر جدید توسط الگوریتم مسیریابی باز سازی شد، پیغامی داخلی به نشانه بازیابی مسیر (ERRN)^۵ به TCP ارسال می‌شود.

ILC-TCP: در این روش [۲۹] یک لایه مدیریتی جدید به نام SM موازی با پشته شبکه اضافه می‌شود. مطابق با شکل زیر هر لایه مقداری از اطلاعات خود را با این لایه به اشتراک می‌گذارد. در زمانی که کانال ارتباطی در حال نوسان یا ضعیف شدن باشد یا قطعی اتصال در شرف وقوع باشد، لایه پیوند اطلاعات مربوط به وضعیت خود را به SM می‌فرستد و لایه IP وضع اتصال‌پذیری به شبکه را به SM اطلاع می‌دهد. این روش، یک مکانیزم انتها به انتهای واقعی است و نیازی به کمک گرفتن از هیچ گره میانی مانند ایستگاه پایه ندارد.

۴- مقایسه روش‌ها

در دو جدول زیر خلاصه‌ای از ویژگی‌های پروتکل‌های ارائه شده و مشکلاتی که توسط آن‌ها برطرف شده‌اند را آورده‌ایم. به علاوه می‌توان گفت که مزیت اصلی پروتکل‌های لایه لینک و انفعالی و فعالانه این است که مفهوم انتها به انتهای TCP را حفظ می‌کنند. پروتکل‌های لایه لینک و فعالانه در محیط‌هایی با نرخ خطای بی‌بیتی بالا بسیار خوب عمل می‌کنند اما پروتکل‌های لایه لینک ساختار لایه‌ای پروتکل‌های شبکه را حفظ نمی‌کند. راهکار تقسیم اتصال، مفاهیم انتها به انتها را نقض می‌کند. پروتکل‌های فعالانه می‌توانند ماهیت خطا را تشخیص دهند و متناسب با نوع خطا تصمیم مناسب را برای تنظیم پنجره ازدحام بگیرند و از کاهش بیهوده پنجره ازدحام و در نتیجه کاهش سرعت انتقال جلوگیری کنند. پروتکل‌های لایه پیوند بشدت به خصوصیات پیوند بی‌سیم وابسته هستند و نمی‌توانند در مواردی که قطعی طولانی مدت یا مکرر داریم کمک کنند. روش‌های فعالانه و انفعالی این مشکل را دارند که نیاز به تغییر در کد TCP میزبان ثابت دارند و در بعضی مواقع نمی‌توانند به سازگاری برسند. مزیت پروتکل‌های تقسیم این است که با پروتکل‌های شبکه‌های سیمی سازگاری دارند، بنابراین برای تطبیق با میزبان‌های سیار نیاز به تغییری در میزبان‌های ثابت ندارد. آنها مشکلات قابلیت حرکت و شبکه بی‌سیم را از دید میزبان ثالث پنهان نگه می‌دارند. این دسته پروتکل‌ها می‌توانند مشکل قطعی اتصال را به صورت کارآمدی مدیریت کنند.

خطاهای محیط بی‌سیم از دید فرستنده، استفاده می‌کند و مانع کاهش کارایی TCP می‌شود.

TULIP: این روش [۲۵] برای کانال‌های بی‌سیم نیمه دوطرفه با پهنای باند محدود طراحی شده است. با وجود اینکه TULIP در گروه روش‌های ناآگاه از TCP قرار می‌گیرد، اما باید حداقل از نوع سرویس ارائه شده در لایه انتقال آگاه باشد. TULIP همانند SnooP بسته‌ها را بطور محلی بافر می‌کند و با کمک روش ARQ سعی می‌کند تا پیش از این که فرستنده TCP تایم اوت بدهد، خطاهای روی پیوند بی‌سیم را بازیابی نماید. نکته جالب توجه این است در TULIP تحویل قابل اعتماد اعلام وصول‌های TCP پیش‌بینی نشده است.

DDA: یک راهکار مبتنی بر پروتکل لایه پیوند و ناآگاه از TCP است که اساس کار آن با SnooP یکسان است [۲۷]. طراحان این روش خاطرنشان کرده‌اند که بخش‌های داده TCP باید در فریم LL منفرد و هر بخش ACK نیز در ACK مربوط به LL منفرد خود قرار داده شود. DDA از شماره ترتیب‌های متفاوت برای فریم‌ها استفاده می‌کند، همچنین پروتکل هیچ کوششی برای تحویل مرتب بسته‌ها به لایه‌های بالاتر نمی‌کند. رسیدن اعلام وصول تکراری به BS نشان دهنده این است که خطایی در LL بوقوع پیوسته است.

۳-۲-۵- روش‌های همکاری بین لایه‌ای

در شبکه‌های بی‌سیم علت‌های کاهش کارایی به تنهایی از یک لایه نشأت نمی‌گیرد، بلکه تأثیرات متقابل فاکتورهای مختلف در لایه‌های متفاوت منجر به افت کارایی TCP می‌شود. به‌منظور رسیدن به یک انتقال مطمئن‌تر و کاراتر، باید فعل و انفعالات میان لایه‌های مختلف را به دقت مورد توجه و بررسی قرار دهیم. افزایش ارتباطات عمودی لایه به لایه می‌تواند باعث نزدیک‌تر شدن پروتکل‌های لایه بالاتر به لایه‌های پایین‌تر شود که به فعالیت‌های بین لایه‌ای درست‌تر و مؤثرتر منتهی خواهد شد. بدین ترتیب نه تنها سربار ناشی از ارسال پیام‌های کنترلی در روی پهنای باند کم می‌شود، بلکه سرعت واکنش به خطاهای شبکه در موقع جابجایی کاربر و خطای انتقال بالا بسیار افزایشی یابد [۲۸].

ENIC: یک راهکار مبتنی بر اعلان صریح به همراه یک مکانیزم کنترل بین لایه‌ای پیشرفته می‌باشد [۲۸] که در آن سه پروتکل MAC (لایه پیوند)، مسیریابی (لایه شبکه) و TCP (لایه انتقال) بطور گروهی عمل می‌کنند. روال کار به این صورت است که پس از شکسته شدن یک مسیر، پروتکل مسیریابی در لایه شبکه یک پیغام مبنی بر خرابی مسیر (EREN)^۴ به TCP فرستاده و عملیات انتقال داده

جدول ۱- مقایسه پروتکل‌های ارائه شده

کاربرد	ایجاد تغییرات	پشتیبانی از قابلیت حرکت	مفهوم TCP	تشخیص علت خطا	نام روش
ماهوره‌ای	مسیریاب و فرستنده	بالا	انتها به انتها	نه	TCP-Peach
Ad hoc	پشته TCP	بالا	انتها به انتها	بله	ATCP
سلولی	ایستگاه ثابت	بالا	انتها به انتها	بله	Freeze-TCP
ناهمگن	فرستنده	کم	انتها به انتها	نه	TCP-New Reno
ناهمگن	فرستنده	کم	انتها به انتها	نه	TCP-SACK
ناهمگن	فرستنده	کم	انتها به انتها	بله	TCP-Vegas
ناهمگن	فرستنده	کم	انتها به انتها	بله	TCP-Veno
ناهمگن	فرستنده	بالا	انتها به انتها	بله	TCP-Westwood
ناهمگن	مسیریاب و فرستنده	بالا	انتها به انتها	بله	TCP-Jersey
ناهمگن	فرستنده و گیرنده	کم	انتها به انتها	بله	ENIC
ناهمگن	فرستنده	بالا	انتها به انتها	بله	ILC-TCP

جدول ۲- مقایسه پروتکل‌های ارائه شده

ILC-TCP	Santa Cruz	Veno	Westwood	DDA	RLP	Snoop	CC	ECN	FR	EBSN	WTCP	MTCP	I-TCP	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	نرخ خطای بیت‌ی بالا
	✓			✓		✓				✓		✓		خطای توده‌ای
✓			✓	✓		✓		✓	✓				✓	Handoff
✓												✓	✓	قطعی اتصال طولانی
✓												✓	✓	قطعی اتصال مکرر
	✓	✓	✓		✓						✓			پهنای باند
									✓					اندازه سلول
✓								✓		✓	✓			محدودیت انرژی
				✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓	انقضای زمان متوالی
				✓						✓		✓		متغیر بودن اندازه بسته‌ها
		✓	✓	✓	✓	✓						✓	✓	سازگاری
✓				✓		✓	✓	✓				✓	✓	دوطرفه بودن

۵- راهکار پیشنهادی برای بهبود کارایی TCP

که در معادلات بالا cwnd برابر اندازه فعلی پنجره، BaseRTT کمترین RTT اندازه‌گیری شده و RTT زمان رفت و برگشت اندازه‌گیری شده است. اختلاف بین این نرخ‌ها برابر است با

$$\text{Diff} = \text{Expected} - \text{Actual} \quad (۳)$$

زمانی که $\text{RTT} > \text{BaseRTT}$ ، به این معنی است که یک لینک گلوگاه وجود دارد که بسته‌های اتصال در آن جمع شده‌اند. به انباشتگی در این صف، N می‌گوییم.

$$\text{RTT} = \text{BaseRTT} + N / \text{Actual} \quad (۴)$$

قسمت دوم سمت راست معادله بیانگر تاخیر اضافی در لینک گلوگاه است. با توجه به فرمول‌های بالا داریم:

$$N = \text{Actual} * (\text{RTT} - \text{BaseRTT}) = \text{Diff} * \text{BaseRTT} \quad (۵)$$

از N برای تعیین اینکه اتصال در وضعیت ازدحام است یا نه، استفاده می‌کنیم. به عبارت دیگر در زمانی که یک اتلاف رخ می‌دهد، اگر $N < \gamma$ فرض می‌کنیم که اتلاف رندم بوده است و به دلیل ازدحام نبوده است و کاهش را با سرعت کمتری انجام می‌دهیم. در غیر این صورت فرض می‌کنیم که اتلاف به دلیل ازدحام بوده است. آزمایشات نشان می‌دهد که $\gamma = 3$ یک مقدار خوب است.

۵-۲- مکانیسم افزایش پنجره ازدحام

برای تابع افزایش اندازه پنجره از یک تابع چند جمله‌ای درجه فرد استفاده می‌کنیم. این الگوریتم با دریافت یک رخداد اتلاف بسته، اندازه پنجره‌اش را با پارامتر ضربی β کاهش می‌دهد. اندازه پنجره دقیقاً قبل از کاهش را W_{\max} و اندازه پنجره دقیقاً بعد از کاهش را W_{\min} می‌نامیم. از آنجا که اتلاف بسته در W_{\max} رخ می‌دهد، اندازه پنجره‌ای که در حال حاضر شبکه می‌تواند بدون اتلاف مدیریت کند باید جایی بین این دو باشد. در حالیکه اکثر الگوریتم‌های استاندارد TCP از تابع افزایش محدب بعد از رخداد اتلاف استفاده می‌کنند، ما از تابع مقعر و سپس محدب که تابعی از زمان سپری شده از آخرین ازدحام است، برای افزایش پنجره استفاده می‌کنیم. در نتیجه رشد پنجره فقط به زمان واقعی بین دو رویداد ازدحام پشت سر هم وابسته می‌باشد و این باعث می‌شود که رشد پنجره مستقل از RTT شود. این ویژگی به جریان‌های VECU رقیب این امکان را می‌دهد که مستقل از RTT آنها، تقریباً اندازه پنجره مشابه داشته باشند و به RTT-fairness بهتر دست

تفسیر غلط اتلاف تصادفی به عنوان ازدحام باعث می‌شود که TCP نرخ داده را کم کند که این باعث کاهش قابل توجه کارایی می‌شود. برای غلبه بر این مشکل ما می‌توانیم آن را دو قسمت کنیم:

(۱) چگونه اتلاف بسته تصادفی و اتلاف ناشی از ازدحام را از هم تشخیص دهیم.

(۲) چگونه از این اطلاعات برای تصحیح فرایند تنظیم پنجره ازدحام استفاده کنیم.

ایده‌ای در TCP Vegas [۲۱] وجود دارد که از یک مکانیسم ساده برای اندازه‌گیری شرایط شبکه استفاده می‌کند و از اتلاف بسته‌ها به صورت فعال جلوگیری می‌کند. ما از این ایده برای تعیین علت اتلاف بسته به دلیل ازدحام و یا اتلاف تصادفی استفاده می‌کنیم. بنابراین ما می‌توانیم در زمانی که اتلاف تصادفی رخ می‌دهد با سرعت کمتری اندازه پنجره ازدحام را کاهش دهیم و از کاهش غیرضروری کارایی جلوگیری کنیم. این روش تاثیر منفی بر روی دیگر اتصالات TCP همزمان در شبکه ندارد.

VECU بهبودهایش را از کارایی در بهره‌برداری از پهنای باند استفاده نشده بدست می‌آورد نه از گرفتن پهنای باند از دیگر اتصالات TCP. همچنین این روش فقط نیاز به تغییر در سمت فرستنده دارد، بدون نیاز به هیچ گونه تغییری در سمت گیرنده یا مداخله نوده‌های شبکه میانی. بنابراین می‌تواند به سرعت در سرورهای برنامه‌های کاربردی اینترنت پیاده‌سازی شود.

۵-۱- تشخیص علت اتلاف بسته‌ها

تشخیص بین اتلاف حاصل از ازدحام و اتلاف تصادفی یک مشکل بنیادی در TCP است. ما سعی می‌کنیم که وضعیت شبکه را مانیتور کنیم. اگر اتلاف بسته در حالی که اتصال در وضعیت ازدحام است تشخیص داده شود، فرض می‌کنیم که اتلاف به دلیل ازدحام است و در غیر این صورت فرض می‌کنیم که اتلاف تصادفی است. ابتدا مانند آنچه که در TCP Vegas است، نرخ واقعی و نرخ مورد انتظار را اندازه‌گیری می‌کنیم:

$$\text{Expected} = \text{cwnd} / \text{BaseRTT} \quad (۱)$$

$$\text{Actual} = \text{cwnd} / \text{RTT} \quad (۲)$$

$$\frac{1}{RTT} \sqrt{\frac{3}{2p}} \quad (۸)$$

پس برای اینکه فرمول اول مشابه فرمول اندازه پنجره TCP شود، α باید برابر باشد. اگر TCP اندازه پنجره‌اش را در هر RTT به اندازه α افزایش دهد، می‌توانیم اندازه پنجره TCP در زمان سپری شده t را از فرمول زیر بدست آوریم:

$$W_{TCP}(t) = W_{max}(1 - \beta) + 3 \frac{\beta}{2 - \beta} \frac{t}{RTT} \quad (۹)$$

بنابراین بر اساس مقدار $cwnd$ تابع افزایش در سه حالت متفاوت خواهد بود:

(۱) اگر $cwnd$ کم‌تر از $W_{TCP}(t)$ باشد، از اندازه پنجره استاندارد TCP استفاده می‌کنیم و $cwnd$ با دریافت هر ACK به $W_{TCP}(t)$ تنظیم می‌شود.

(۲) اگر $cwnd$ از $W_{TCP}(t)$ بیشتر و از W_{max} کمتر باشد، پس در ناحیه مقعر از تابع افزایش قرار دارد. پس در زمانی که اندازه فعلی پنجره از ظرفیت در دسترس فاصله زیادی دارد، اندازه پنجره را سریع افزایش می‌دهد و زمانی که اندازه فعلی پنجره به نقطه اشباع نزدیک می‌شود، سرعت افزایش را کاهش می‌دهد.

(۳) اگر $cwnd$ از W_{max} بیشتر باشد، پس در ناحیه محدب از تابع افزایش قرار دارد که به این معنی است که ظرفیت در دسترس افزایش یافته است و به دنبال W_{max} جدید خواهیم بود.

۵-۳- رویکرد کاهش اندازه پنجره

یکی از اهداف این پروتکل تشخیص علت اتلاف بسته‌ها می‌باشد. ما مکانیسم تشخیص علت اتلاف را در بخش‌های قبلی توضیح دادیم. اگر شبکه در زمانی که یک رخداد اتلاف بسته دریافت کند در وضعیت عدم ازدحام باشد، VECU فرض می‌کند که اتلاف تصادفی رخ داده است و به آرامی اندازه پنجره را کاهش می‌دهد. در نتیجه از کاهش غیرضروری کارایی جلوگیری می‌کند. بنابراین ما براساس تخمین وضعیت شبکه و علت اتلاف بسته‌ها از دو پارامتر کاهش ضریبی (β) متفاوت استفاده می‌کنیم:

- (۱) اگر $N < \gamma$ ، این بدان معنی است که اتلاف تصادفی رخ داده است. پس $cwnd$ را با ضریب $4/5$ کاهش می‌دهد.
- (۲) اگر $N > \gamma$ ، یعنی اتلاف به دلیل ازدحام رخ داده است و $cwnd$ را با ضریب $1/2$ کاهش می‌دهد.

۶- پیاده‌سازی و نتایج آزمایشات

در این بخش به بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در این پروژه می‌پردازیم. تحلیل‌های انجام شده با استفاده از استاندارد IEEE 802.11n صورت گرفته و برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار NS-2 استفاده شده است و معیارهای کارایی از جمله میزان گذردهی، استفاده از لینک، پایداری و عدالت VECU را با پروتکل‌های HTCP [۳۱]، HSTCP [۳۲]، FastTCP [۳۳] و STCP [۳۴] مقایسه کرده‌ایم. ابعاد محیط شبیه‌سازی 1000×1000 با ۵۰ نود می‌باشد و نودها حرکت می‌کنند و ثابت نیستند. پروتکل‌های لایه کاربرد، مسیریابی و MAC به ترتیب AODV، FTP و 802.11n می‌باشند. مدت شبیه‌سازی ۵۰۰ ثانیه است و هر آزمایش را ۴۰ بار تکرار کرده‌ایم. مدل قرارگیری نودها به صورت تصادفی است و میزان توقف گره‌ها پس از هر بار تحرک برابر ۱۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. نودها از صف droptail با اندازه بافر ۲۴ استفاده می‌کنند و سائز بسته‌ها برابر ۱۴۶۰ بایت می‌باشد.

یابد. توجه داشته باشید که پروتکل‌ها با تابع افزایش محدب بیشترین افزایش پنجره را در اطراف نقطه اشباع دارند که این باعث اتلاف بسته‌های توده‌ای می‌شود. پس این الگوریتم بعد از دریافت رخداد اتلاف بسته، مقدار W_{max} را که اندازه فعلی پنجره است ثبت می‌کند و شروع به کاهش اندازه پنجره می‌کند. بعد از اینکه بعد از مرحله بازیابی سریع وارد پیشگیری از ازدحام شد، شروع به افزایش پنجره ازدحام با منحنی مقعر تابع افزایش می‌کند. تابع افزایش به این صورت تنظیم شده است که فلاتش را در W_{max} داشته باشد، پس رشد اندازه پنجره با تابع مقعر ادامه می‌یابد تا اندازه پنجره برابر W_{max} شود. تاثیر این مسئله این است که زمانی که اندازه فعلی پنجره از ظرفیت در دسترس مسیر فاصله زیادی دارد، رشد پنجره زیاد است و اگر نزدیک ظرفیت در دسترس باشد (جایی که ما اتلاف قبلی را داشته‌ایم، W_{max}) رشد پنجره را به آرامی کاهش می‌دهد. پس کمترین رشد پنجره را در نقطه اشباع دارد و بیشترین مقدار آن در زمانی است که از نقطه اشباع فاصله دارد که در این ناحیه اتلاف‌هایی که رخ می‌دهد بسیار کم است. این تابع مقعر، پنجره ازدحام را مدت طولانی‌تری در نقطه اشباع نگه می‌دارد. همچنین از تابع محدب یا خطی تعادل و توازن بیشتری دارد زیرا این توابع بیشترین افزایش پنجره را در نقطه اشباع دارند، پس بیشترین افزایش را در زمانی که اتلاف بسته رخ می‌دهد دارند. این ویژگی باعث پایداری و در عین حال مقیاس‌پذیری شدن VECU می‌شود.

اگر رشد پنجره از مقدار ماکزیمم عبور کند، این به این معنی است که اندازه پنجره باید از مقدار ماکزیمم فعلی بزرگ‌تر شده باشد و مقدار ماکزیمم جدید باید پیدا شود که در این شرایط تابع افزایش وارد منحنی محدب می‌شود. در این مرحله، پنجره ابتدا به آرامی افزایش می‌یابد (آهسته‌تر از تابع خطی) تا مقدار ماکزیمم جدید را در همین نزدیکی پیدا کند. این ویژگی به پایداری پروتکل می‌افزاید زیرا اگر پروتکل در پیدا کردن پنجره ماکزیمم جدید دچار اشتباه شود، پنجره ماکزیمم بعدی را در نزدیکی مقدار ماکزیمم قبلی پیدا می‌کند، پس مدت طولانی‌تری در نقطه اشباع قبلی می‌ماند. اما تابع نمایی بعد از گذشت مدتی از شروع آهسته، اگر اتلافی رخ ندهد و مقدار ماکزیمم جدید را پیدا نکند، شروع به افزایش سریع‌اندازه پنجره می‌کند.

تابع افزایش پنجره VECU از تابع زیر استفاده می‌کند:

$$W_t = C(t-K)^3 + W_{max} \quad (۶)$$

C یک پارامتر ثابت و t زمان سپری شده از آخرین کاهش پنجره است. K نیز برابر است با $1/3 [(W_{max} * \beta) / C]$. زیرا زمانی که تابع افزایش پنجره شروع می‌شود، اندازه پنجره برابر $W_{max} * \beta$ است. به عبارت دیگر ما می‌توانیم بگوییم که K مدت زمانی است که تابع بالا می‌گیرد تا W را به W_{max} افزایش دهد در حالی که اتلاف بسته وجود نداشته باشد.

ممکن است شرایطی پیش بیاید که اندازه پنجره کمتر از مقداری باشد که استاندارد TCP در زمان t بعد از آخرین اتلاف به آن می‌رسد. در این شرایط کارایی VECU کمتر از استاندارد TCP خواهد شد. برای حل این مسئله، در چنین شرایطی اندازه پنجره را به اندازه پنجره استاندارد TCP تنظیم می‌کنیم. روند کار در این مرحله به صورت زیر می‌باشد:

زمانی که در فاز پرهیز از ازدحام یک ACK می‌رسد، اندازه پنجره استاندارد TCP در زمان سپری شده t را محاسبه می‌کنیم. اندازه پنجره در مکانیسم AIMD با پارامتر افزایش α و پارامتر کاهش β از فرمول زیر بدست می‌آید [۳۰].

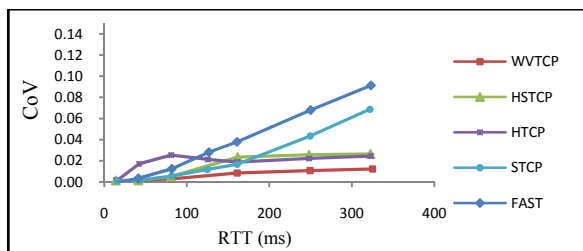
$$\frac{1}{RTT} \sqrt{\frac{\alpha(2-\beta)}{2\beta p}} \quad (۷)$$

میانگین اندزه پنجره TCP با $\alpha=1$ و $\beta=0.5$ برابر است با

همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، VECU بکارگیری لینک خوبی دارد. همچنین در اکثر پروتکل‌ها، بکارگیری لینک در RTT‌های بیشتر از 150ms کاهش می‌یابد. البته این مسئله در VECU ناچیز است.

۳-۶- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از نظر پایداری

پایداری پروتکل‌ها را براساس اندازه‌گیری میزان CoV نرخ انتقال بررسی کرده‌ایم. هرچه میزان CoV کمتر باشد، پایداری بیشتر خواهد بود. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، پروتکل VECU نسبت به دیگر پروتکل‌ها دارای پایداری بهتری است.

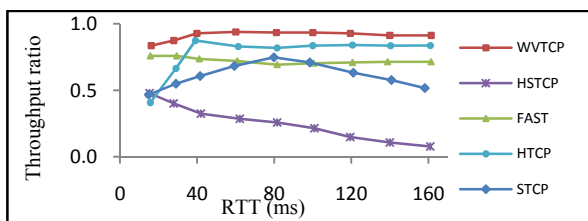


شکل ۵- نمودار ضریب تغییرات در RTT‌های متفاوت

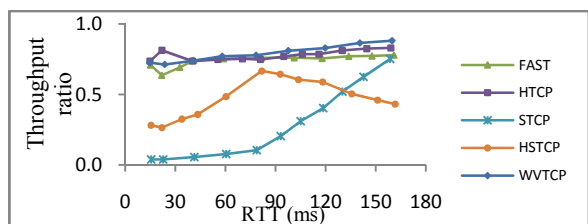
۴-۶- بررسی رفتار عادلانه پروتکل پیشنهادی

برای بررسی رفتار عادلانه پروتکل پیشنهادی، پارامترهای IntraProtocolFairness، RTT Fairness و TCP-Friendliness را اندازه گرفته‌ایم. Intra Protocol Fairness معیاری برای اندازه‌گیری به اشتراک‌گذاری عادلانه پهنای باند بین جریان‌هایی با پروتکل مشابه می‌باشد. بنابراین برای اندازه‌گیری این معیار در مورد هریک از پروتکل‌های TCP در هر بار اجرا دو جریان با پروتکل مشابه را اجرا کردیم.

RTT fairness معیاری برای اندازه‌گیری به اشتراک‌گذاری عادلانه پهنای باند بین جریان‌هایی با RTT متفاوت است. برای اندازه‌گیری این معیار، دو جریان با پروتکل مشابه را اجرا می‌کنیم که مقدار RTT یکی از این جریان‌ها را ثابت در نظر گرفته و مقدار RTT دیگر را بین مقادیر صفر تا ۱۷۰ متغیر در نظر می‌گیریم.



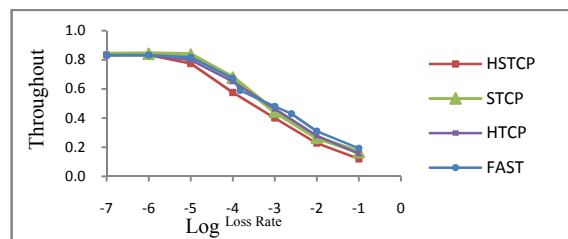
شکل ۶- Intra Protocol Fairness



شکل ۷- RTT Fairness

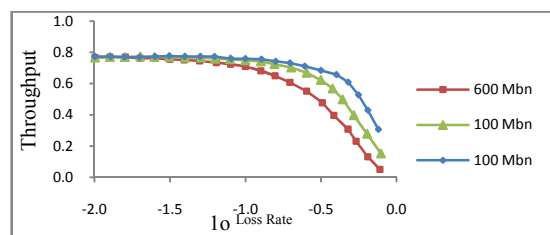
۱-۶- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در نرخ خطای بیتی متفاوت و سرعت متفاوت

همانطور که می‌دانیم یکی از ویژگی‌های شبکه‌های بی‌سیم، نرخ خطای بیتی بالا در این شبکه‌ها است. ما در شکل ۲ گذردهی پروتکل‌های TCP را در نرخ اتلاف بسته متفاوت مقایسه کرده‌ایم. همانطور که در شکل مشخص است، این پروتکل‌ها در نرخ اتلاف بسته بالا افت شدید گذردهی را تجربه می‌کنند. در نمودار بعدی گذردهی پروتکل ارائه شده در نرخ اتلاف بسته متفاوت و در سرعت‌های متفاوت نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار گذردهی در نرخ خطای بیتی متفاوت

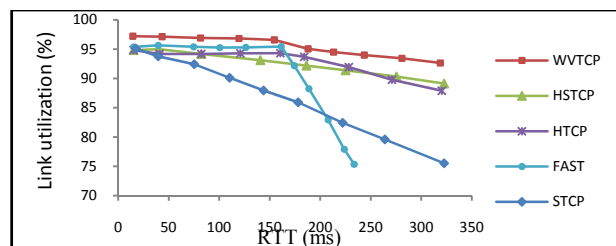
آنچه که از شکل ۲ و ۳ مشخص می‌شود این است که پروتکل پیشنهادی در شبکه‌های بی‌سیم با نرخ اتلاف بسته بالا گذردهی بهتری دارد. شکل ۳ همچنین نشان می‌دهد که در سرعت‌های بالاتر، اتلاف بسته، کارایی را بیشتر کاهش می‌دهد.



شکل ۳- نمودار گذردهی VECU در سرعت‌های متفاوت و نرخ خطای بیتی متفاوت

۲-۶- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از نظر بکارگیری لینک

همانطور که انتظار داشتیم، VECU درصد بکارگیری لینک خوبی را نشان می‌دهد. از آنجا که این پروتکل دارای ویژگی TCPFairness نیز می‌باشد، ما می‌توانیم بگوییم که بهبودهایش را با گرفتن پهنای باند از دیگر اتصالات TCP بدست نمی‌آورد بلکه بهبودها نتیجه‌ی استفاده بهینه از پهنای باند استفاده نشده است.



شکل ۴- نمودار بکارگیری لینک در RTT‌های متفاوت

از یک تابع چند جمله‌ای درجه سه بر حسب زمان گذشته از آخرین اتلاف استفاده کرده است. این تابع باعث می‌شود که رشد پنجره ازدحام مستقل از RTT شود و به جریان‌های رقیب با RTTهای متفاوت این امکان را می‌دهد که مستقل از RTT، رشد یکسانی داشته باشند. همچنین کمترین رشد پنجره را در نقطه اشباع دارد و بیشترین مقدار آن در زمانی است که از نقطه اشباع فاصله دارد و این ویژگی اتلاف‌های توده‌ای را نیز کم می‌کند. به‌علاوه این پروتکل پایدار و مقیاس‌پذیر است و بکارگیری لینک آن بالا می‌باشد.

مراجع

- [1] J. Postel, "Transmission control protocol," RFC 793, 1981.
- [2] W. Stevens, "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms," RFC 2001, 1997.
- [3] C. Siva Ram Murthy, and B. S. Manoj, Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols, New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [4] H. Hari Balakrishnan, "Challenges to Reliable Data Transport over Heterogeneous Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Univ. California, Berkeley, CA, 1998.
- [5] M. Moustafa, "TCP over Mobile Ad-Hoc Access Networks," Master Thesis, Carleton University, Ottawa, December 2002.
- [6] V. Badarla, and C. Siva Ram Murthy, "Learning-TCP: A stochastic approach for efficient update in TCP congestion window in ad hoc wireless networks," J. Parallel Distrib. Comput. vol. 71, pp. 863–878, 2011.
- [7] M. C. Chan, and R. Ramjee, "Improving TCP/IP Performance over Third-Generation Wireless Networks," IEEE Trans. Mobile Computing, vol. 7, no. 4, 2008.
- [8] X. Chen, H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, "TCP Performance over Mobile Ad-hoc Networks," Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 29, pp. 129–134, 2004.
- [9] V. Anantharaman, S. J. Park, K. Sundaresan, and R. Sivakumar, "TCP Performance over Mobile Ad-hoc Networks: a Quantitative Study," Wireless Communication and Mobile Computing Journal, vol. 4, pp. 203–222, 2004.
- [10] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, and R. H. Katz, "The Effects of Asymmetry on TCP Performance," Proc. ACM/IEEE Mobicom, pp. 77–89, 1997.
- [11] Y. Tian, K. Xu, and N. Ansari, "TCP in Wireless Environments: Problems and Solutions," IEEE Radio Communications, pp. 0163-6804, 2005.
- [12] X. Chen, H. Zhai, J. Wang, and Y. Fang, A Survey on Improving TCP Performance over Wireless Networks, in Resource Management in Wireless Networking, Springer, 2003, sec. 6, pp 657-695.

همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود این پروتکل از جهت Intra Protocol Fairness خوب عمل می‌کند و پهنای باند را عادلانه بین جریان‌ها به اشتراک می‌گذارد. البته پروتکل HTCP نیز در RTTهای بالای ۴۰ms نیز خوب عمل می‌کند. پروتکل HSTCP نیز کمترین مقدار را دارد که این به علت سرعت همگرایی پایین آن است.

شکل ۷ بررسی معیار RTT Fairness را بررسی می‌کند. HTCP و VECU از این جهت خوب عمل می‌کنند و ظرفیت را به صورت عادلانه بین جریان‌ها با RTT متفاوت به اشتراک می‌گذارند. البته پروتکل FAST نیز خوب عمل می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

شبکه‌های بی‌سیم و سیار در دهه‌های گذشته رشد فوق‌العاده‌ای داشته‌اند و هنوز هم با سرعت زیادی در حال گسترش هستند. علیرغم آنکه شبکه‌های بی‌سیم امکانات فراوانی چون سهولت دسترسی و جابجایی در اختیار کاربران قرار داده‌اند، ولی کارایی و بهره‌وری این شبکه‌ها با نقطه مطلوب فاصله زیادی دارد. علت این امر این است که بیشتر پروتکل‌های کنونی شبکه، خاص شبکه‌های ثابت و سیمی طراحی شده‌اند و فرضیات آنها بر مبنای خصوصیات رسانه‌های سیمی است. زمانی که پیوندهای بی‌سیم به شبکه اضافه می‌شوند، رسانه بی‌سیم با خصوصیات خاص خود مثل عدم تقارن، پهنای باند کم، خط‌پذیری و ... موجب کاهش کارایی می‌شود. هدف روش‌های بهبود کارایی در شبکه‌های بی‌سیم و سیار، شناسایی این ویژگی‌ها و بررسی تاثیر آن‌ها در پروتکل‌های کنونی شبکه است و سپس تغییر این پروتکل‌ها به گونه‌ای که شبکه‌های بی‌سیم و سیار بتوانند به کارایی بالاتری دست یابند و سرویس‌هایی با کیفیت بهتر به کاربران سیار ارائه دهند. از طرفی پروتکل TCP نیز در این شبکه‌ها کارایی پایینی دارد. TCP یک پروتکل قابل اطمینان است و در صورتی که بسته‌های اطلاعاتی به‌درستی در اختیار فرستنده قرار نگیرند، فرستنده مجدداً اقدام به ارسال اطلاعات می‌نماید. همچنین اتصال گراست و مکانیزم‌هایی برای کنترل جریان و کنترل ازدحام دارد. با این ویژگی‌ها و با توجه به اینکه اکثر کاربردهای موجود در اینترنت از این پروتکل استفاده می‌کنند، حذف این پروتکل و یا نادیده گرفتن مشکلات آن در شبکه‌های بی‌سیم امکان‌پذیر نمی‌باشد. ما در این مقاله سعی کردیم جمع‌بندی نسبتاً کاملی از دلایل کارایی ضعیف پروتکل TCP در شبکه‌های بی‌سیم بدست آوریم. ما این مشکلات را به دو دسته تقسیم کردیم؛ مشکلاتی که به دلیل ساختار پروتکل TCP باعث کارایی ضعیف آن می‌شوند و مشکلاتی که به دلیل خصوصیات و ویژگی‌های محیط بی‌سیم بر کارایی TCP تاثیر منفی می‌گذارند. در ادامه نیز روش‌های بهبود کارایی TCP را مورد مطالعه قرار داده و در سطح اول آنها را از نقطه نظر کاربرد و پیاده‌سازی TCP به دو دسته تقسیم کردیم. اگر از جنبه کاربردها به این مسئله نگاه کنیم، ما چند محیط بی‌سیم داریم و TCP را می‌توان متناسب با مشکلات هر محیط طراحی کرد. رایج‌ترین شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های ماهواره‌ای، شبکه‌های ad hoc و زیرساخت‌های بی‌سیم عمومی مانند شبکه‌های محلی بی‌سیم و سلولی هستند. از نقطه نظر پیاده‌سازی و اجرا نیز الگوریتم‌های TCP بی‌سیم را به پنج دسته تقسیم کردیم. حالت تقسیم، کنترل ازدحام انفعالی و کنترل ازدحام فعالانه، لایه پیوند داده و همکاری بین لایه‌ای. همچنین برای هر کدام از دسته‌ها نیز مثال‌هایی را آورده و عملکرد و مزایا و معایب هر کدام را بررسی کرده و متناسب با مشکلاتی که برای TCP مطرح کردیم به مقایسه این روش‌ها پرداختیم. در پایان یک پروتکل جدید به نام VECU ارائه دادیم که این پروتکل متناسب با ویژگی‌های شبکه بی‌سیم طراحی شده است. یک مشکل اساسی در شبکه‌های بی‌سیم عدم تشخیص علت ازدحام بسته‌ها است. این پروتکل با مانیتور کردن وضعیت شبکه، علت اتلاف بسته‌ها را تشخیص می‌دهد. VECU براساس وضعیت شبکه، ضریب کاهش اندازه پنجره را تعیین می‌کند. همچنین برای افزایش پنجره

- [28] D. Sun, and H. Man, "ENIC – An Improved Reliable Scheme for Mobile Ad Hoc Networks," Proc. IEEE Globe COM Conference, 2001.
- [29] M. Chinta, A. Helal, and Ch. Lee, "ILC-TCP: An Interlayer Collaboration Protocol for TCP Performance Improvement in Mobile and Wireless Environments," IEEE Wireless Communications and Networking, vol. 2, pp. 1004-1010, 2003.
- [30] S. Floyd, M. Handley, and J. Padhye, "A Comparison of Equation-Based and AIMD Congestion Control," 2000.
- [31] D. Leith, and R. Shorten, "H-TCP protocol for high-speed long distance networks," Proc. International Workshop on Protocols for Fast Long- Distance Networks, pp. 16–17, 2004.
- [32] S. Floyd, "Highspeed TCP for large congestion windows," Internet draft, draft-floyd-tcp-highspeed-01.txt, Available at: <http://www.icir.org/floyd/hstcp.html>, 2003.
- [33] D. X. Wei, C. Jin, S. H. Low, and S. Hedge, "FAST TCP: Motivation architecture, algorithm and performance," IEEE/ACM Trans. Netw., vol. 14, no. 6, pp. 1246–1259, 2006.
- [34] T. Kelly, "Scalable TCP: Improving Performance in High Speed Wide Area Networks," Computer Communication Review, vol. 33, No. 2, pp. 83-91, 2003.
- مریم شفیعی** فارغ‌التحصیل رشته مهندسی فناوری اطلاعات از دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۲ است. ایشان دوره کارشناسی خود را در سال ۱۳۸۸ در رشته مهندسی فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی اصفهان به اتمام رسانیده‌اند. شبکه‌های بی‌سیم سرعت بالا، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، داده‌کاوی و طراحی و پیاده‌سازی روتر از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان است. آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از: m.shafiei@ut.ac.ir
- 
- ناصر یزدانی** در سال ۱۳۸۸ در یکی از روستاهای آذربایجان شرقی متولد گردید. ایشان در سال ۱۳۶۴ بعد از بازگشائی دانشگاه‌ها، در رشته کارشناسی مهندسی کامپیوتر، گرایش نرم‌افزار فارغ‌التحصیل شد. در آذرماه ۱۳۶۸ با بورس وزارت علوم و تحقیقات و فن‌آوری جهت ادامه تحصیل در رشته کارشناسی ارشد کامپیوتر در دانشگاه کیس وسترن رزرو (Case Western Reserve University) آمریکا عازم ایالت اوهایو، شهر کلیولند شد. وی از این دانشگاه موفق به اخذ درجه دکتری در رشته کامپیوتر، در زمینه پایگاه داده‌ها شد.
- 
- دکتر یزدانی سپس در دانشگاه واشنگتن در ایالت میسوری و چند شرکت تازه تاسیس عمدتاً در زمینه طراحی سوئیچ و شبکه در کشور آمریکا مشغول کار و تحقیق شد و دو مورد مالکیت معنوی در زمینه سریع‌تر کردن اینترنت به ثبت رساند. در سال ۱۳۷۹ ایشان به کشور بازگشت و همزمان در دانشگاه‌های تهران و امیرکبیر مشغول کار گردید. دکتر یزدانی هم‌اکنون به‌عنوان استاد تمام رشته کامپیوتر در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تهران مشغول تدریس و تحقیق
- [13] I. F. Akyildiz, G. Morabito, and S. Palazzo, "TCP-Peach: A New Congestion Control Scheme for Satellite IP Networks," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 9, no. 3, pp. 307–21, 2001.
- [14] J. Liu, and S. Singh, "ATCP: TCP for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE JSAC, vol. 19, no. 7, pp. 1300–1315, 2001.
- [15] T. Goff, and et. al., "Freeze-TCP: A True End-to-end Enhancement Mechanism for Mobile Environments," Proc. IEEE INFOCOM, pp. 1537–45, 2000.
- [16] A. Bakre, and B. R. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for Mobile Hosts," Proc. ICDCS, pp. 136–43, 1995.
- [17] R. Yavatkar, and N. Bhagawat, "Improving End to End Performance of TCP over Mobile Networks," Proc. Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, 1994.
- [18] M. Mathis, and et. al., "TCP Selective Acknowledgment Options," RFC 2018, 1996.
- [19] K. Pentikousis, H. Badr, and B. Kharmah, "TCP with ECN: Performance Gains for Large TCP Transfers," Department of Computer Science, SUNY at Stony Brook, 2001.
- [20] Ch. Liu, and R. Jain, "Approaches of Wireless TCP Enhancement and a New Proposal Based on Congestion Coherence," Proc. Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.
- [21] L. Brakmo, and L. Peterson, "TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet," IEEE JSAC, vol. 13, no. 8, pp. 1465-80, 1995.
- [22] C. P. Fu, and S. C. Liew, "TCP Veno: TCP Enhancement for Transmission over Wireless Access Networks," IEEE JSAC, vol. 21, no. 2, pp. 216–28, 2004.
- [23] C. Casetti, and et. al., "TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links," Proc. ACM Mobicom, pp. 287–97, 2001.
- [24] K. Xu, Y. Tian, and N. Ansari, "TCP-Jersey for Wireless IP Communications," IEEE JSAC, vol. 22, no. 4, pp. 747–56, 2004.
- [25] C. Parsa, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Improving TCP Performance over Wireless Networks at the Link Layer," Mobile Networks and Applications, 1999.
- [26] S. Vangala, and M. Labrador, "Performance of TCP over wireless networks with the Snoop protocol," Proc. Local Computer Networks, 2002.
- [27] N. H. Vaidya, M. Mehta, C. Perkins, and G. Montenegro, "Delayed Duplicate Acknowledgement: a TCP unaware approach to improve performance of TCP over wireless," Technical Report 99-003, Computer Science Dept., Texas A&M University, 1999.

می‌باشد. در این مدت ایشان بیش از ۵۰ دانشجوی کارشناسی ارشد و ۶ دانشجوی دکتری را سرپرستی کرده و بیش از ۲۰۰ مقاله علمی در مجلات علمی و کنفرانس‌های بین‌المللی به چاپ رسانده است. وی چند پروژه موفق در زمینه طراحی و پیاده سازی سوئیچ و روتر در دانشگاه تهران سرپرستی کرده و اخیراً یک ثبت اختراع هم در دست اقدام دارد.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

yazdani@ut.ac.ir

مسعود رهگذر در سال ۱۳۸۵ مدرک کارشناسی را در رشته مهندسی برق از دانشگاه صنعتی شریف، و در سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۶۵ به ترتیب مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار از دانشگاه PARIS-VI دریافت نموده است.

ایشان در سال ۱۳۸۷ در دانشگاه تهران مشغول کار گردید و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشکده فنی دانشگاه تهران است. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان شامل پیاده‌سازی و بهبود پایگاه داده‌ها XML، داده‌کاوی و سیستم‌های ذخیره‌سازی و بازیابی اطلاعات، تعامل انسان-کامپیوتر، نرمال‌سازی سیستم‌های پایگاه داده (مهندسی معکوس و بهینه‌سازی) و مدرن‌سازی سیستم‌های قدیمی هستند.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

rahgozar@ut.ac.ir



اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۵/۲۲

نویسنده مرتبط: مریم شفیعی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

¹ Aggressive

² Deterministic

³ Deterministic Actions

⁴ Explicit Route Error Notification

⁵ Explicit Route Recovery Notification



به سوی ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق

اسلام ناظمی^۱ حسین صدر^۲ مژده نظری سلیمان‌داری^۳

^۱ دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ دانشکده مهندسی برق، رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران
^۳ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

چکیده

در طول چند دهه گذشته استفاده از سیستم‌های خودتطبیق در حوزه مهندسی سیستم‌های نرم‌افزاری به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. در همین راستا و برای پیشرفت در حوزه سیستم‌های خودتطبیقی و خودمدیریتی و استفاده از تمامی مزایا و قابلیت‌های آن‌ها به ابزارها و روش‌هایی نیاز است که بتواند سیستم‌های خودتطبیق را نه تنها در زمان طراحی، بلکه در زمان اجرا نیز مورد ارزیابی قرار دهد، زیرا ارزیابی مهمترین عامل برای درک موفقیت هر سیستم نرم‌افزاری است. علی‌رغم استفاده رو به رشد از سیستم‌های خودتطبیقی، ارزیابی این نوع سیستم‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است و اکثر پژوهش‌های انجام شده در این حوزه به صورت موردی بوده و خاصیت تغییرپذیری این نوع سیستم‌ها را در زمان اجرا مد نظر قرار نمی‌دهد. از طرف دیگر، ویژگی‌های کیفی و متریک‌های مرتبط با آن‌ها که برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق معرفی شده‌اند، محدود بوده و کلیه خصوصیات انطباقی این نوع سیستم‌ها را در نظر نمی‌گیرند. برای حل این مشکلات، در این مقاله چارچوبی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق معرفی شده است که براساس تجزیه و تحلیل دقیق طیفی از کارهای انجام شده در این حوزه بدست آمده است. به همین منظور، در ابتدا خصوصیات انطباقی که هدف اصلی ایجاد سیستم‌های خودتطبیقی‌اند شناسایی شده و به ویژگی‌های کیفی متناظرشان که مهمترین معیار برای ارزیابی سیستم‌های نرم‌افزاری می‌باشند، نگاشت شده‌اند. در ادامه نیز متریک‌های کیفیت نرم‌افزار مرتبط با این ویژگی‌های کیفی معرفی شده است. باید در نظر داشت که این ویژگی‌های کیفی و متریک‌های مرتبط با آن‌ها مختص سیستم‌های خودتطبیق و براساس ساختار و نحوه عملکرد آن‌ها می‌باشند و چارچوب پیشنهادی نیز می‌تواند به عنوان یک زیربنای جامع برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق در نظر گرفته شود.

کلمات کلیدی: سیستم‌های خودتطبیق، ارزیابی، صحت‌سنجی و اعتبارسنجی، کارایی، قابلیت اطمینان، امنیت.

۱- مقدمه

برای سیستم‌های ذاتا غیرتطبیقی که شرایط و محیط اجرای سیستم کاملاً شناخته شده و پایدار است، تکنیک‌ها و ابزارهای مختلف ارزیابی توسعه یافته‌اند تا در زمان طراحی اعمال شوند. در مقابل ارزیابی کیفیت سیستم‌های خودتطبیقی با توجه به اینکه اهداف و نیازمندی‌های آن‌ها در زمان اجرا و با توجه به محیطی که در آن فعالیت می‌کنند مرتباً در حال تغییر است و این تغییرات منجر به ایجاد تغییر در ساختار سیستم می‌شود، کاری بسیار چالش پذیر است. یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌روی روش‌های ارزیابی خودتطبیق انفجار فضای حالات^۱ در این سیستم‌ها است [۲]. تعداد حالات ورودی در این سیستم‌ها ممکن است آنقدر بزرگ باشد که امکان ارزیابی مستقیم این نوع سیستم‌ها وجود نداشته باشد.

در طول دهه گذشته خودتطبیقی به یک دغدغه اساسی در حوزه مهندسی سیستم‌های نرم‌افزاری به منظور کاهش هزینه بالای نگهداری و تکامل نرم‌افزار و تامین رضایت کاربران از نیازمندی‌های تابعی سیستم‌هایی که در هنگام اجرا با محیط‌های متغیر مواجه هستند، تبدیل شده است. اگرچه مکانیزم‌های تطبیق به طور گسترده‌ای در حوزه مهندسی سیستم‌های نرم‌افزاری پویا مورد بررسی قرار گرفته‌اند، کاربرد آنها در محیط‌های واقعی به علت عدم وجود روشی جامع برای ارزیابی عملکرد آنها هنوز با محدودیت‌هایی مواجه است [۱].

۲- فاکتورهای کلیدی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق

هدف از ارزیابی کیفیت نرم‌افزار مشخص کردن توانایی نرم‌افزار در برآورده کردن نیازها و اهداف از پیش تعیین شده است که به عنوان نقطه شروع برای ارزیابی سیستم‌ها به شمار می‌آیند. باید مد نظر داشت که در سیستم‌های خودتطبیقی با توجه به اینکه محیط اطرافشان همواره در حال تغییر است، شناسایی نیازمندی‌ها و اهداف به سادگی سیستم‌های سنتی نیست. به بیان دیگر، محیط اجرایی سیستم‌های خودتطبیق در زمان اجرا تغییر می‌یابد و تغییرات در محیط منجر به ایجاد تغییرات در خود سیستم نیز می‌گردد. در نتیجه ارزیابی سیستم در زمان طراحی نمی‌تواند پاسخگوی تمامی نیازهای سیستم و مشخص کننده تمامی ویژگی‌های کیفی مناسب برای ارزیابی آن باشد، زیرا تغییرات در زمان اجرا منجر ممکن است منجر به تغییر معماری و ساختار سیستم شود [۶]. در نتیجه، نیاز به فاکتورهایی است که مشخص کنند که چه چیزی، در چه جایی و در چه زمانی از چرخه حیات سیستم‌های خودتطبیق باید مورد ارزیابی قرار گیرد. این فاکتورها با مقایسه سیستم‌های خودتطبیق و سیستم‌هایی که در طول اجرا تغییر ناپذیرند و بررسی دغدغه‌هایی که هنگام مواجه با تغییرات محیطی افزایش می‌یابند، مشخص می‌شوند. به طور کلی هدف اصلی این بخش پاسخ دادن به این سه سوال اساسی است که چه چیزی در سیستم‌های خودتطبیق باید مورد ارزیابی قرار گیرد؟ این ارزیابی باید در چه زمانی صورت گیرد؟ در چه جایی در چرخه انطباق این نوع سیستم‌ها باید ارزیابی انجام شود؟ این سوالات موارد چالش‌برانگیزی هستند که به وابستگی این نوع سیستم‌ها به زمان اجرا اشاره دارند و پاسخ این سوالات می‌تواند به شناسایی ویژگی‌های کیفی مناسب برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق و متریک‌های متناظر با آن‌ها کمک کند [۸]. پاسخ این سوالات در ادامه آمده است.

۲-۱- چه چیزی: نیازمندی‌ها و خصوصیات انطباق

برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق ابتدا باید مشخص شود که چه چیزهایی در این نوع سیستم‌ها باید مورد ارزیابی قرار گیرند. پاسخ به این سوال منوط به شناسایی اهداف انطباق (نیازمندی‌های غیرتابعی سیستم هدف) و خصوصیات انطباق (ویژگی‌های مورد انتظار مکانیزم‌های انطباق) است. شناسایی اهداف و خصوصیات انطباق به منظور ایجاد مدل مناسب برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق و شناسایی متریک‌های مرتبط با این نوع سیستم‌ها ضروری است [۴]. دغدغه‌های تکنیک‌های صحت‌سنجی و اعتبارسنجی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی می‌توانند براساس دو قسمت اصلی یک سیستم خودتطبیقی دسته‌بندی شوند. دسته اول به اعتبارسنجی سیستم هدف و دسته دوم به اعتبارسنجی مکانیزم تطبیق باز می‌گردد. به بیان دیگر، برای ارزیابی یک سیستم خودتطبیقی، ویژگی‌های مورد انتظار سیستم هدف (اهداف تطبیق) و مکانیزم‌های تطبیق (خصوصیات انطباق) صراحتاً شناسایی شده و به عنوان ویژگی‌های کیفی شناخته می‌شوند. لازم به ذکر است که بیشتر خصوصیات شناخته شده برای سیستم‌های خودتطبیقی از تئوری کنترل^۲ گرفته شده و براساس نرم‌افزارهای خودتطبیق تفسیر شده‌اند [۴، ۶].

از طرف دیگر، خصوصیات انطباق را می‌توان براساس اینکه چگونه و کجا مشاهده می‌شوند دسته‌بندی کرد. با در نظر گرفتن اینکه ویژگی‌ها در کدام قسمت از سیستم خودتطبیق مشاهده می‌شوند، برخی از ویژگی‌ها می‌توانند با استفاده از تکنیک‌های صحت‌سنجی ایستا ارزیابی شوند، درحالی‌که بقیه نیازمند صحت‌سنجی پویا و نظارت در زمان اجرا هستند. با توجه به مکان مشاهده، ویژگی‌ها نیز

مشکل دیگر نیازمندی‌های متغیر با زمان اجرا در این نوع سیستم‌ها است. در سیستم‌های سنتی نیازمندی‌های سیستم در زمان طراحی مشخص شده و براساس آن‌ها پیکربندی و طراحی سیستم صورت می‌گیرد. اما در این نوع سیستم‌ها نیازمندی‌های سیستم در زمان اجرا و با توجه به تغییرات زمینه تغییر می‌یابند. تغییرات در نیازمندی‌ها باعث تغییر در ویژگی‌های کیفی یک سیستم که فاکتور اصلی ارزیابی آن به شمار می‌آیند، می‌شود. از طرف دیگر، باید مد نظر داشت که خصوصیات و ویژگی‌های سیستم‌های خودتطبیق با سیستم‌های سنتی متفاوت است و نمی‌توان از ویژگی‌های کیفی سیستم‌های سنتی برای ارزیابی آن‌ها بهره برد [۳، ۲].

در طول دهه گذشته رویکردها و سیستم‌های خودتطبیق مختلفی توسط محققان این حوزه معرفی شده است که هرکدام از آن‌ها جنبه مشخصی از اهداف سیستم‌های خودتطبیق را پوشش داده و می‌توانند در محیط‌هایی که در آن‌ها نیازمندی‌ها، مدل و محیط اجرایی در زمان اجرا تغییر می‌کنند، به فعالیت بپردازند [۴، ۵]. پس از تجزیه و تحلیل دقیق رویکردهای ارائه شده در این حوزه، این نتیجه حاصل شده است که خصوصیات انطباق و متریک‌های متناظر با آن‌ها به ندرت در مقالات مرتبط با مفهوم سیستم‌های خودتطبیق شناسایی و آدرس‌دهی شده‌اند.

در واقع متریک‌های کیفی معرفی شده متناسب با زمان ارزیابی و مستقل از ارزیاب نبوده و وابسته به تخصص و تجربه ارزیاب در زمینه سیستم مورد نظر می‌باشند. این مساله منجر به ایجاد عدم وجود جامعیت و وجود خروجی‌های مختلف برای طرح‌های یکسان از سیستم‌های نرم‌افزاری می‌شود. با توجه به این محدودیت‌ها نیاز به روش‌هایی برای صحت‌سنجی و اعتبارسنجی سیستم‌های خودتطبیقی در زمان اجرا و شناسایی خصوصیات کیفی مرتبط با این نوع سیستم‌ها بیش از پیش احساس می‌شود، زیرا در صورت عدم شناخت از خصوصیات انطباقی و ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی غیر ممکن خواهد بود [۲، ۶].

برای حل این مشکلات در این مقاله با بررسی و تجزیه و تحلیل دقیق کارهای انجام شده در این حوزه، خصوصیات انطباقی سیستم‌های خودتطبیق شناسایی شده و ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها معرفی شده است. به بیان دیگر، در این مقاله ابتدا خصوصیات انطباق در سیستم‌های خودتطبیقی شناسایی شده و به ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها که مهم‌ترین فاکتور در ارزیابی یک سیستم نرم‌افزاری می‌باشند، نگاشت شده‌اند و در ادامه نیز متریک‌های مناسب برای ارزیابی این ویژگی‌های کیفی معرفی شده است.

برای تعیین خصوصیات انطباقی رویکردهای خودتطبیقی موجود در این حوزه و خصوصیات مورد استفاده در تئوری کنترل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این خصوصیات و متریک‌ها از تئوری کنترل استخراج شده براساس سیستم‌های خودتطبیق دوباره تفسیر شده‌اند. باید در نظر داشت که تفسیر خصوصیات موجود براساس سیستم‌های خودتطبیقی کار ساده‌ای نیست زیرا معنای مفاهیم موجود در سیستم‌های خودتطبیقی با سیستم‌های سنتی متفاوت بوده و سیستم‌های خودتطبیقی جزء سیستم‌های غیر خطی به حساب می‌آیند که محیط اطراف آن‌ها همواره در حال تغییر است [۷].

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم فاکتورهای موثر در ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند. خلاصه‌ای از کارهای انجام شده در حوزه ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق در بخش سوم آمده است. چارچوب پیشنهادی این مقاله برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق با استفاده از خصوصیات انطباقی، ویژگی‌های کیفی و متریک‌های متناظر با آن در بخش چهارم معرفی شده است. بحث‌های مرتبط با یافته‌های تجزیه و تحلیل‌های مقاله، چالش‌های پیش‌رو و نتیجه‌گیری مقاله در بخش چهارم آمده است.

از طرف دیگر، متغیرهای وابسته به دامنه در زمان طراحی نامحدود و در زمان اجرا محدود می‌باشند. در نتیجه اعمال روش‌های ارزیابی روی این متغیرها در زمان اجرا برای کاهش موثر فضای صحت‌سنجی بسیار با ارزش است. براساس این دیدگاه، مشخص کردن زمانی از فرآیند تطبیق که در آن باید عملیات صحت‌سنجی و اعتبارسنجی اعمال شوند، ویژگی‌های مورد انتظار از سیستم ضمانت شده و از عملیات نامطمئن جلوگیری شود، از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. همان‌طور که پیش از این گفته شد، کمبود روش‌های موثر ارزیابی در زمان اجرا یکی از بزرگترین موانع و چالش‌های اساس برای طیف وسیع سیستم‌های خودتطبیقی به شمار می‌آید، زیرا متریک‌هایی که برای ارزیابی این نوع سیستم‌ها معرفی شده‌اند قابلیت ارزیابی عملکرد سیستم در زمان اجرا را ندارند.

۳- کارهای پیشین

با اینکه مفهوم سیستم‌های خودتطبیقی در چند دهه گذشته باعث ایجاد انقلابی در توسعه سیستم‌های نرم‌افزاری گشته است، اما هنوز توسعه‌دهندگان نرم‌افزار به این سیستم‌ها اعتماد نداشته و آن‌ها جایگزین مناسبی برای سیستم‌های نرم‌افزاری سنتی نمی‌دانند. علت این امر، عدم اطمینان، نبود مکانیزم و روشی جامع برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی است.

در چندین دهه گذشته تلاش‌های کمی در راستای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق صورت گرفته است و هرکدام از کارهایی که در این زمینه انجام شده‌اند، از بعدهای مختلفی روی موضوع ارزیابی تمرکز کرده‌اند. به عنوان مثال، مینگ^۵ یک نگاشت از مفاهیم پایه‌ای تئوری کنترل به سیستم‌های نرم‌افزاری خودتطبیقی معرفی کرده است [۱۰]. براساس ایده وی، خصوصیات اساسی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی پایداری و مقاومت بودن^۷ می‌باشند. این دو خصوصیت براساس اینکه به چه چیزی در پارادایم‌های برنامه نویسی، سبک‌های معماری، پارادایم‌های مدل‌سازی و اصول مهندسی نرم‌افزار اشاره می‌کنند، تجزیه و تحلیل و مشخص شده‌اند. لازم به ذکر است که مدل ارائه شده توسط وی تنها توصیفی بود و روی هیچ رویکردی اعمال نشد [۴]. در طبقه‌بندی ارائه شده توسط صالحی و تولیداری نیز چندین پروژه که مفهوم سیستم‌های خودتطبیقی را براساس دغدغه‌های چه‌گونه، چه چیز، چه زمانی و کجا طبقه‌بندی کردند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. آنها همچنین یک نگاه سلسه مراتبی از خصوصیات خود- را معرفی کرده و روی رابطه آنها با فاکتورهای کیفی سیستم‌های نرم‌افزاری بحث کردند. اگرچه محدوده تحقیق آنها شامل شناسایی متریک‌هایی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی براساس خصوصیات انطباقی و ویژگی‌های کیفی شناخته شده نمی‌شود [۸].

از طرف دیگر، با توجه به اینکه تعریف یکتایی برای سیستم‌های خودتطبیق موجود نیست، ارزیابی و مقایسه آن‌ها کار دشواری است. علاوه بر این، ساختار روبه جلوی این سیستم‌ها نیز پیچیدگی‌هایی را به ارزیابی آن‌ها افزوده است. برای مقابله بر این چالش‌ها، می‌توان ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی را از دیدگاه معماری سیستم خودتطبیقی انجام داد [۱۱]. باید در نظر داشت که معماری یک سیستم نرم‌افزاری خواستگاه خصوصیات کیفی آن است و ملاک برآورده‌سازی یا عدم برآورده‌سازی یک خصوصیت کیفی به نحوه طراحی معماری بستگی دارد. از نظر آقای مک‌کان^۸ و براساس مدل معماری سیستم‌های خودتطبیقی که توسط وی معرفی شده است، یک معماری نرم‌افزار خودتطبیق باید خصوصیات کیفی مانند کیفیت سرویس، هزینه، استحکام، تطبیق‌پذیری، زمان تطبیق و پایداری را برآورده سازد. نکته بسیار مهم این است که در این مقاله تنها خصوصیات کیفی که به طور مستقیم از معماری سیستم قابل اقتباس هستند معرفی شده‌اند و هیچ‌گونه معیار و متریکی برای ارزیابی آن‌ها ارائه نشده است [۱۱].

می‌توانند روی سیستم هدف و یا مکانیزم تطبیق ارزیابی شوند. اگرچه، برخی از ویژگی‌ها تنها روی سیستم هدف قابل مشاهده‌اند اما از آن‌ها برای ارزیابی مکانیزم‌های انطباق نیز استفاده می‌شود [۴].

باید در نظر داشت که در صورت عدم وجود متریک‌های صریح و مناسب که بتوان از آن‌ها برای ارزیابی خصوصیات انطباق و ویژگی‌های متناظر با آن‌ها استفاده کرد، نمی‌توان قابلیت‌های سیستم‌های خودتطبیقی و اهمیت ارزیابی در زمان اجرا را نشان داد. از طرف دیگر، اگرچه اهمیت داشتن چنین متریک‌های صریحی واضح است، یک مانع مهم برای ارزیابی پویا این نوع سیستم‌ها کمبود متریک‌های متناسب با ساختار انطباقی است. برای حل این مشکل، این مقاله به دنبال ارائه چارچوبی برای مشخص کردن خصوصیات انطباقی، ویژگی‌های کیفی و متریک‌های متناظر با آن‌ها است.

۲-۲- کجا: جداسازی دغدغه‌ها

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در سیستم‌های خودتطبیقی دو سطح شناسایی شده است. یکی از این سطوح سیستم هدف است که به صورت خودکار براساس تغییرات زمینه تطبیق می‌یابد و سطح دیگر مکانیزم تطبیق است. برای تکنیک‌های صحت‌سنجی و اعتبارسنجی زمان اجرا، مشخص کردن این سطوح و جداسازی مرز و محدوده آن‌ها ضروری است. جداسازی این دغدغه‌ها به ما اجازه توصیف، بررسی و تجزیه و تحلیل مشکلات تحقیقاتی ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی را به طور موثر با تمرکز روی دغدغه‌های هر سطح به طور مشخص فراهم می‌سازد.

باید در نظر داشت که کنترل در یک سیستم خودتطبیق می‌تواند هم به صورت حلقه بازخورد^۲ و هم جلورو^۴ باشد [۹، ۴]. اما از آنجاییکه روش‌های ارزیابی برخط در سیستم‌های خودتطبیق روی سیستم هدف و مکانیزم‌های تطبیق تکیه دارند، همواره روی حلقه بازخورد در این سیستم‌ها برای ارزیابی تاکید شده است. در نتیجه، خروجی‌های اندازه‌گیری شده برای ایجاد یک سیستم با قابلیت تطبیق در زمان اجرا و با کیفیت بالا از اهمیت بالایی برخوردار هستند. به بیان دیگر، سیستم هدف خودش از موقعیت زمینه و عملکردش با در نظر گرفتن رضایت از نیازمندی‌های کارکردی و غیرکارکردیش آگاهی ندارد. در نتیجه، با توجه به اینکه هدف ارزیابی ضمانت کیفیت یک سیستم است و کیفیت به عنوان فاکتور تکمیل نیازمندی‌های یک سیستم به حساب می‌آید، در سیستم‌های خودتطبیقی وظایف صحت‌سنجی و اعتبارسنجی باید به عنوان بخشی از حلقه انتخاب در نظر گرفته شوند. این مساله به این معنی است که علاوه بر اجزای نظارت معمول دامنه که در حلقه تطبیق خودکار در نظر گرفته می‌شوند، اجزای اضافی مرتبط با صحت‌سنجی و تست سیستم هدف نیز مورد نیاز است [۶]. در نتیجه نیاز به متریک‌هایی است که بتوان آن‌ها را روی حلقه انتخاب اندازه‌گیری کرد.

۲-۳- چه زمانی: صحت‌سنجی و اعتبارسنجی در فرآیند تطبیق

استراتژی‌های سنتی ارزیابی، بررسی و تست را قبل از توسعه سیستم و در شرایط مناسب از پیش تعیین شده از عملیات سیستم انجام می‌دهند. این فرآیند بررسی معمولاً به صورت خودکار با استفاده از بررسی مدل، اثبات تئوری و ابزار تست صورت می‌گیرد. برای نیازمندی‌های مستقل از دامنه روش‌های سنتی ارزیابی و تکنیک‌های اعتبارسنجی مختلفی معرفی شده‌اند که قبل از اینکه سیستم وارد محیط شود، اعمال می‌شوند. اما اعمال این روش‌ها در زمان اجرا و هنگامی که سیستم براساس محیط‌های پیچیده تطبیق می‌یابد، بسیار هزینه‌بر است [۱].

به منظور بررسی دقتشان صورت نگرفته است [۴].

همان‌طور که مشخص است، یکی از مهمترین مشکلاتی که روش‌های معرفی شده دارند، نبود خصوصیات کیفی منطبق بر اهداف انطباق و متریک‌های متناظر با آن‌ها برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق در زمان اجرای آن‌ها است. اگرچه هرکدام از کارهای انجام شده در این زمینه جنبه خاصی از سیستم‌های خود تطبیق را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما بین روش‌های مختلف ارائه شده در این زمینه جامعیت وجود ندارد و ممکن است برای طرح‌های یکسان از سیستم‌های نرم‌افزاری، خروجی‌های مختلفی بدست آید. از طرف دیگر بیشتر متریک‌هایی که برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق معرفی شده است با مرحله‌ای که ارزیابی در آن در حال اجرا است مطابقت نداشته و نیازمند تجربه و تخصص ارزیاب در زمینه سیستم مورد نظر است و ارزیابی یک معیار از دید دو ارزیاب مختلف ممکن است به دلیل تجارب گوناگون، خروجی‌های مختلفی داشته باشد.

۴- چارچوبی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق

قبل از اینکه بخواهیم یک سیستم خودتطبیق را مورد ارزیابی قرار دهیم، ابتدا باید عامل اصلی ایجاد چنین سیستم‌های را شناسایی کنیم که به آنها اهداف انطباق گفته می‌شود. به طور کلی، انطباق می‌تواند به علت نیاز به وجود رضایت دائمی از نیازهای تابعی و یا تنظیم نیازمندی‌های غیرتابعی در محیط‌های در حال تغییر رخ دهد [۱۴]. با بررسی کارهای انجام شده در این حوزه می‌توان دریافت که مهم‌ترین دلیل انطباق در سیستم‌ها دستیابی به ویژگی‌های کیفی مورد نظر در این سیستم‌ها بوده است. از طرف دیگر، خصوصیات سیستم‌های خودتطبیق مانند خودپیکربندی، خودبهینگی نیز می‌توانند به ویژگی‌های کیفی نگاشت شود [۴]. در همین راستا نیز رابطه بین خصوصیات سیستم‌های خودمختار و فاکتورهای کیفی مانند رابطه بین قابلیت اطمینان و خودالتیامی را مورد بررسی قرار داده شده‌اند [۸]. هدف اصلی این مقاله نیز استفاده از ویژگی‌های کیفی متناظر با خصوصیات انطباقی برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق است.

باید مد نظر قرار داد که ویژگی‌های کیفی بیشتر برای ارزیابی سیستم مدیریت شده مورد استفاده قرار می‌گیرند، به همین دلیل علاوه بر معرفی ویژگی‌های کیفی مناسب برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق، در این مقاله نگاهی بین ویژگی‌های کیفی و خصوصیات انطباقی نیز صورت گرفته است که یک روش غیر مستقیم برای ارزیابی خصوصیات انطباقی که بصورت مستقیم روی کنترل‌کننده قابل مشاهده نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴]. تعریفی از این خصوصیات کیفی با مراجع مرتبط که آنها را مورد بررسی قرار داده‌اند آمده است.

در ادامه، در ابتدا خصوصیات انطباقی که علت اصلی ساخت سیستم‌های خود تطبیق است به همراه ویژگی‌ها کیفی مؤثر در ارزیابی آن‌ها و مراجع مرتبط معرفی می‌شوند. در انتها نیز متریک‌های مناسب برای ارزیابی آن‌ها ارائه شده است. لازم به ذکر است که این معیارهای کیفی مرتبط با خصوصیات انطباقی با مطالعه مقالاتی که تاثیرگذاری ویژگی‌های کیفی را بر خصوصیات انطباقی مورد بررسی قرار داده اند، استخراج شده‌اند.

۴-۱- خصوصیات انطباق و ویژگی‌های کیفی متناظر با آن

مرحله اول کار، شناسایی خصوصیات انطباقی است که در طیف وسیعی از سیستم‌های خودتطبیق از تئوری کنترل گرفته تا مهندسی نرم‌افزار برای ارزیابی فرآیندهای انطباقی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تعاریف خصوصیات مختلف به همراه مراجعی که به این خصوصیات اشاره داشته‌اند، در ادامه آمده است و هرکدام از این خصوصیات به ویژگی‌های کیفی که به کمک آن‌ها می‌توان آن‌ها را مورد ارزیابی

یک سیستم خودتطبیقی را نیز می‌توان براساس سناریوهای انطباقی و به صورت کمی مورد ارزیابی قرار داد [۱۲]. سناریوهای انطباقی توصیفی از رفتار سیستم براساس نیازهای تغییرپذیر است. برخی از سناریوهای انطباقی عبارتند از کاربرد عمومی سیستم، عکس‌العمل سیستم در شرایط غیرمعمول و تغییرپذیر و پیش‌بینی تغییرات آینده در سیستم که همگی مرتبط با تطبیق‌پذیری می‌باشند. برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی براساس سناریو دو متریک معرفی شده است که پس از مطرح شدن سناریو تطبیقی، این دو متریک روی معماری‌های مختلف نمونه اعمال می‌شوند و در نهایت هرکدام از معماری‌ها که نمره بهتری بدست آورده باشد، به عنوان معماری منتخب انتخاب خواهد شد. لازم به ذکر است که سناریوهای انطباقی مبتنی بر نیاز کاربران سیستم بوده و مستقل از نیازهای انطباقی هستند که در سیستم‌های خودتطبیقی وجود دارند [۱۲].

روش دیگر برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی وابسته به تجربه و تخصص ارزیاب است. در روش‌های ارزیابی تجربی، طراحان براساس تجارب خود محیط مصنوعی را متناسب با نوع کاربرد نرم‌افزار ایجاد می‌کنند و پس از اجرای شبیه‌ساز انتظار دارند که به نتیجه مدنظر برسند. اگر سیستم در محیط شبیه‌سازی شده به درستی عمل کند و به نتیجه مدنظر دست یابد، سیستم به درستی طراحی شده است، در غیر اینصورت طراحی سیستم به درستی صورت نگرفته و باید تغییراتی در آن صورت گیرد. به طور کلی در این نوع ارزیابی، براساس محیطی که سیستم در آن عمل می‌کند می‌توان از تجربیات گوناگونی استفاده کرد. لازم به ذکر است که محیط‌هایی که سیستم‌های تطبیق‌پذیر در آن عمل می‌کنند همواره در حال تغییر است و نمی‌توان یک محیط شبیه‌سازی از پیش‌تعریف شده برای آن‌ها طراحی کرد، در نتیجه استفاده از یک تجربه خاص برای ارزیابی این نوع سیستم‌ها کارآمد نخواهد بود [۱۳].

با توجه به اینکه سیستم‌های خودتطبیق نیاز دارند تا در زمان اجرا و براساس تغییراتی که در اطراف آن‌ها رخ می‌دهد که منجر به ایجاد تغییر در خود این سیستم‌های می‌شود، مورد ارزیابی قرار گیرند، مدلی را برای ارزیابی سیستم خودتطبیق در زمان اجرا معرفی شده است [۶]. براساس این مدل عملیات صحت‌سنجی و اعتبارسنجی یک سیستم خودتطبیق می‌تواند در حلقه انطباق (حلقه MAPE-K) آن صورت می‌گیرد. در این چارچوب همزمان با تطبیق سیستم با تغییرات محیطی، سیستم مورد ارزیابی نیز قرار می‌گیرد. این مدل با اینکه چارچوب مناسبی برای ارزیابی یک سیستم خودتطبیق در زمان اجرا در اختیار محققان قرار می‌دهد، اما هیچ آزمایشی به منظور تعیین درستی آن صورت نگرفته است و این مدل تنها در حد تئوری است. از طرف دیگر، این مدل نیز همانند سایر کارهای معرفی شده تنها نحوه ارزیابی در زمان اجرا را مورد بررسی قرار داده و به ویژگی‌های کیفی و متریک‌های متناظر با آن‌ها اشاره‌ای نکرده است [۶].

با توجه به مطالبی که پیش از این گفته شد، با اینکه تحقیقات مختلفی در زمینه سیستم‌های خودتطبیق و ارزیابی آن‌ها صورت گرفته است، خصوصیات انطباقی و متریک‌های مرتبط با آنها به ندرت در مقالاتی که مرتبط با مهندسی نرم‌افزارهای پویا می‌باشند، شناسایی شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ویلگاس^۹ و همکارانش برای اینکه بتوانند خصوصیات یک سیستم خودتطبیقی و ویژگی‌های متناظر با آن‌ها را شناسایی کنند، مدلی معرفی کردند که شامل هشت بعد تجزیه و تحلیلی برای توصیف نرم‌افزار خودتطبیقی است. آن‌ها برای اعتبار بخشیدن به چارچوب پیشنهادی خود طیفی از کارهای انجام شده در حوزه سیستم‌های خودتطبیق رو مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند و به کمک آن‌ها خصوصیات انطباقی، ویژگی‌های کیفی و متریک‌های متناظر با آن‌ها را شناسایی کردند. با اینکه این مدل می‌تواند به عنوان پایه و اساس ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی به شمار آید، اما خصوصیات و متریک‌های معرفی شده در این مقاله محدود بوده و تمام جنبه‌های سیستم‌های خودتطبیق را در نظر نمی‌گیرد. از طرف دیگر، خصوصیات و ویژگی‌های معرفی شده تنها به صورت تئوریک بوده و هیچ آزمایشی روی آن‌ها

به نتایج حاصل از فرآیندها افزایش می‌یابد. در مقابل فرآیندهای نامحدود باعث ایجاد بن بست و عدم اطمینان در سیستم می‌شود. ویژگی پیچیدگی رفتاری که در ارزیابی تجربی بسیار تأثیرگذار است، تأثیر مستقیمی روی این خصوصیت نیز دارد. کارایی نیز دومین فاکتور تأثیرگذار روی این خصوصیت انطباقی است [۲۴، ۲۵].

سازگاری: هدف این خصوصیت حصول اطمینان از یکپارچگی ساختاری و رفتاری سیستم مدیریت شده پس از اجرای فرآیند تطبیق است. درواقع می‌توان گفت این ویژگی به این معنی است که فرآیندها به صورت مجزا نتایج خود را ثبت کرده و در نتایج یکدیگر تأثیرگذار نباشد که قابلیت اطمینان در اینجا نقش بسزایی را ایفا می‌کند. باید در نظر داشت که تفاوت سیستم‌های سنتی و خودتطبیقی در نوع پیچیدگی رفتاری آنها است. هرچه این پیچیدگی بیشتر باشد، احتمال اینکه فرآیندها بخواهند روی نتایج حاصل از هم تأثیرگذارند نیز افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان از دو ویژگی یکپارچگی و قابلیت نگهداری به عنوان معیارهایی که تأثیر قابل توجهی روی این خصوصیت انطباقی دارند، نام برد [۱۷، ۲۴، ۲۶].

مقیاس‌پذیری: به قابلیت یک سیستم برای کنترل وضعیت هنگام افزایش تقاضای کار یا حفظ کارایی و استفاده از منابع مازاد محاسباتی اشاره دارد. مهمترین فاکتور در برآورده‌سازی این خصوصیت میزان منابع در دسترس است. در نتیجه معیار کم از حد خارج شدن تأثیر مستقیم و مهمی روی این خصوصیت دارد. از طرف دیگر، هنگام توسعه یک سیستم باید کارایی آن را نیز مد نظر قرار داد زیرا توسعه یک سیستم با کارایی پایین، ریسک بالایی خواهد داشت [۱۵-۱۷].

حساسیت: یکی از مهمترین عوامل در سیستم‌های خود تطبیقی میزان حساسیت یک سیستم به تغییراتی است که در محیط اطراف آن رخ می‌دهد. سیستمی که نتواند تغییرات محیط اطراف خود را تشخیص دهد، نمی‌تواند نیازهای خود تطبیقی را برآورده سازد. تعداد حسگرهایی که یک سیستم برای درک محیط اطراف استفاده می‌کند نقش مهمی در میزان حساسیت یک سیستم دارد. هر چه میزان حسگرهای فعال افزایش یابد، سیستم می‌تواند درک درست‌تری از محیط اطراف خود داشته باشد [۱۰، ۱۵، ۲۵].

دانه‌بندی: در سیستم‌های خودتطبیقی دانه‌بندی از اهمیت بالایی برخوردار است. شاید در ظاهر مولفه‌های دانه‌ریز تأثیری روی عملکرد سیستم نداشته باشند و منجر به ایجاد سربار شوند، اما در واقع باعث افزایش قابلیت انعطاف و کارایی خواهند شد. وجود مولفه‌ها با هماهنگی بالا به سیستم در حذف و اضافه کردن مولفه جدید کمک کرده و این مسأله افزایش کارایی را به همراه خواهد داشت [۱۰، ۱۵].

جلوگیری از خطا: این خصوصیت سیستم به قابلیت آن در پیشگویی حوادثی که برای ایمنی سیستم رخ می‌دهد و توانایی آن برای مواجهه با این حوادث اشاره دارد. بنابراین قابلیت پیشگویی و ایمنی نقش مهمی روی این خصوصیت انطباقی دارند [۱۰].

قابلیت پیش‌بینی: این خصوصیت به توانایی سیستم در پیشگویی رویدادهای آینده اشاره دارد. برای اینکه یک سیستم بتواند رخدادهایی که در آینده رخ خواهند را پیش‌بینی کند، باید درک درستی از خود و محیط اطراف خود داشته باشد. به طور کلی، با داشتن آگاهی در مورد وضعیتی که سیستم در آن قرار دارد می‌توان تا حدودی عکس‌العمل سیستم را پیش‌بینی کرد. از طرف دیگر، دو ویژگی کیفی، کارایی و قابلیت نگهداری نیز از عوامل موثر بر این خصوصیت می‌باشند [۸، ۱۵].

استحکام: این خصوصیت به پایداری سیستم مدیریت شده اشاره دارد و هدف تضمین دقت، زمان استقرار کوتاه و کم از خارج شدن سیستم حتی در زمانی است که حالت سیستم مدیریت شده متفاوت با حالت مورد نظر از پیش تعیین شده است. باید مد نظر قرار داد که هر کدام از ویژگی‌های مطرح شده به نسبت یکسانی تأثیر مستقیمی روی قدرت سیستم دارند. از دو ویژگی ایمنی و در

قرار داد، نگاشت شده‌اند. جدول ۱ نشان دهنده خصوصیات انطباق و ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها می‌باشد که توضیحات آن در ادامه آمده است. از طرف دیگر باید در نظر داشت که برخی از این خصوصیات انطباق روی سیستم مدیریت شده و برخی روی کنترل‌کننده قابل مشاهده هستند و به صورت ایستا و پویا می‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند. نگاشت این خصوصیات به ویژگی‌های کیفی وابستگی این خصوصیات به محلی که می‌توان آن‌ها را مشاهده کرد را از بین می‌برد.

پایداری: این خصوصیت نشان دهنده این است که فرآیند خود تطبیقی تا چه اندازه به سمت اهداف کنترلی گمراه می‌شود. در یک انطباق ناپایدار عملیات کنترلی همواره با این ریسک که در هر بار اجرا ممکن است سیستم مدیریت شده بهبود نیابد و به سطح غیرقابل قبول و خطرناکی برسد، مواجه هستند. به منظور کاهش زمان ناپایداری می‌بایست زمان تطبیق‌پذیری را کاهش داد [۱۵-۱۷]. در نتیجه باید تغییرات و اصطلاحات در سیستم به سرعت صورت گیرد. حساسیت و قابلیت پیشگویی نیز از دیگر فاکتورهای تأثیرگذار روی این خصوصیت انطباقی به شمار می‌آیند [۱۶]. قابلیت پیشگویی به سیستم اجازه می‌دهد که بتواند با استفاده از اطلاعات از پیش جمع‌آوری شده محیط جدید را پیش‌بینی کند و به سیستم در رسیدن به پایداری کمک کند. علاوه بر موارد گفته شده، چهار ویژگی عملکرد، ایمنی، امنیت و یکپارچگی نیز در پایداری یک سیستم تأثیرگذارند [۱۵].

زمان استقرار: مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک سیستم پس از اعمال تغییرات به یک حالت مطلوب دست یابد. فاکتور اصلی تأثیرگذار در زمان استقرار تعداد منابع در دسترس برای انجام عملیات است که با عنوان کم از حد خارج شدن شناخته می‌شود. کم از حد خارج شدن به این معنی است که منابع مورد نیاز سیستم نباید کمتر از حداقل مدنظر باشند. عامل تأثیرگذار دیگر، حساسیت سیستم نسبت به محیط است. هرچه میزان حساسیت یک سیستم بیشتر باشد، زمان مورد نیاز برای درک و تصمیم‌گیری نسبت به تغییرات کاهش می‌یابد. زمان اتخاذ تصمیم دیگر فاکتور تأثیرگذار روی این خصوصیت است. هرچه یک سیستم بتواند زمان اتحاد تصمیم را در برابر تغییرات کاهش دهد، زمان استقرار آن نیز کاهش می‌یابد. باید در نظر داشت که کارایی نیز روی این خصوصیت انطباقی تأثیرگذار است [۱۷-۲۰].

صحت: این خصوصیت تعیین کننده این است که به چه میزان به اهداف انطباق دست یافته‌ایم (اهداف انطباق به معنای دستیابی به یکی از خصوصیات غیرکارکردی یا خصوصیات سیستم‌های خود تطبیقی است). به طور کلی، میزان دقت و صحت در یک سیستم به میزان دستیابی به شش ویژگی اصلی سیستم‌های خودتطبیقی و برآورده‌سازی اهداف هر سیستم مانند کارایی، امنیت، درستی تصمیمات اتحادی و میزان استقلال سیستم نسبت به محیط اطراف وابسته است [۲۱، ۲۲].

کم از حد خارج شدن: این خصوصیت انطباقی بیانگر استفاده از منابع محاسباتی در طول فرآیند تطبیق به منظور دستیابی به اهداف انطباقی است. مدیریت کم از حد خارج شدن منابع به منظور جلوگیری از بی‌ثباتی و ناپایداری یک سیستم ضروری است. در سیستم‌های خودتطبیقی این ویژگی نیازمند نوع و تعداد منابع در دسترس محیط و سیستم است و به طور مستقیم روی ویژگی هزینه با توجه به میزان منابع محاسباتی مورد استفاده تأثیرگذار است. در برخی از موارد برای کاهش زمان انتقال می‌بایست از منابع بیشتری نسبت به حد تعیین شده استفاده نمود (کم از حد خارج شدن) [۱۰، ۱۵، ۱۷، ۲۳].

پایان‌دهی: در روش‌های مهندسی نرم‌افزار، طراحان در چرخه MAPE-K لیستی از فرآیندها را برای تطبیق سیستم مدیریت شده تعیین می‌کنند. خصوصیت پایان‌دهی تضمین می‌کند که این حالات متناهی بوده و حتی اگر سیستم به حالت مطلوب خود دست نیافت، اجرا خاتمه یابد. باید مد نظر قرار داد که هرچه تعداد فرآیندهای متعلق به یک عمل محدودتر باشد، میزان قابلیت اعتماد سیستم

مفیدی از منابع را به کاربران براساس نیازشان اختصاص دهد. سه ویژگی کارایی، قابلیت نگهداری و قابلیت عملکرد از عوامل موثر در این خصوصیت می باشند [۳۲].

آگاه از زمینه: سیستم های خود تطبیق برای انجام عملیات انطباقی باید نسبت به محیط اطراف خود آگاهی داشته، تغییرات را درک کنند و نسبت به آن واکنش نشان دهند. برای درک محیط اطراف سیستم باید حساسیت بالایی داشته باشد. علاوه بر این، کارایی نیز به عنوان یک ویژگی موثر روی این خصوصیت معرفی شده است [۳۳، ۱۰].

آگاه از خود: یک سیستم علاوه برای اجرای عملیات خود تطبیقی علاوه بر آگاهی نسبت به محیط اطراف خود می‌بایست نسبت به وضعیت مولفه‌ها و حسگرهای خود نیز آگاه باشد. در ضمن باید از حساسیت بالایی برخوردار باشد تا بتواند رفتار سیستم را برای جلوگیری از ایجاد پیچیدگی مدیریت کند که منجر به افزایش کارایی می‌شود [۳۳، ۱۰].

باز بودن: این خصوصیت سیستم نشان دهنده توانایی سیستم برای کار در محیط‌های گوناگون و متغیر است. این خصوصیت را می‌توان معادل با ویژگی کیفی قابلیت حمل دانست [۳۳].

۴-۲- متریک‌های انطباقی ارزیابی

متریک‌های خودتطبیقی یک راهکار برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیق با در نظر گرفتن دغدغه‌ها و چالش‌های پیش‌روی فرآیندهای تطبیقی فراهم می‌سازند. درواقع، این متریک‌ها معیاری را برای ارزیابی خصوصیات مورد انتظار در سیستم‌های خودتطبیق معرفی می‌کنند [۳۴]. به عنوان مثال، متریک‌های انطباقی برای ارزیابی سیستم کنترل‌کننده‌های مرتبط با خصوصیات سیستم‌های خودتطبیق (مانند، پایداری، صحت، زمان پاسخ کوتاه و کم از حد خارج شدن) را اندازه‌گیری می‌کنند. در این مقاله، برای مشخص کردن متریک‌های ارزیابی سیستم‌های خود تطبیق، طیف وسیعی از سیستم‌های نرم‌افزاری خود تطبیق که خصوصیات انطباقی را روی سیستم مدیریت شده و کنترل‌کننده اعمال می‌کنند شناسایی شده و ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها که برای ارزیابی خصوصیات انطباقی می‌توان از آنها بهره برد، معرفی شدند. با توجه به اینکه ارزیابی بیشتر ویژگی‌ها تنها با مشاهده کنترل‌کننده امکان پذیر نمی باشد، می‌توان آنها را بوسیله این ویژگی‌های کیفی روی سیستم مدیریت شده نیز مورد ارزیابی قرار داد. در این بخش نیز متریک‌های مرتبط برای اندازه‌گیری این ویژگی‌های کیفی با بررسی طیف وسیعی از تحقیقات انجام شده در حوزه سیستم‌های خودتطبیق معرفی شده‌اند. برای شناسایی متریک‌های مرتبط باید مجموعه‌ای از فاکتورها مانند میزان حافظه مصرفی، توان عملیاتی، زمان پاسخ، نرخ پردازش، زمان میانگین شکست، و زمان میانگین ترمیم که روی ارزیابی ویژگی‌های کیفی تأثیر می‌گذارند، شناسایی شوند [۳۵، ۴]. شناسایی این فاکتورها برای ارزیابی خصوصیات انطباقی روی سیستم مدیریت شده و کنترل‌کننده ضروری است.

کارایی: کارایی یک سیستم نرم‌افزاری وابسته به استفاده بهینه از زمان و منابع است. کارایی زمانی وابسته به زمان دریافت درخواست، پردازش درخواست و ارسال پاسخ است. کارایی سایر منابع که مهم‌ترین آن حافظه است به میزان حافظه مصرفی برای ذخیره اطلاعات و عدم اختصاص حافظه تکراری در سیستم های نرم افزاری اشاره دارد. با استفاده از متریک‌های زیر می‌توان کارایی یک سیستم خودتطبیق را مورد ارزیابی قرار داد. (RU) زمان میانگین مورد نیاز برای تکمیل یک درخواست، (CU) هزینه میانگین برای انجام درخواست کاربر.

دسترس‌پذیری می‌توان به عنوان معیارهای موثر روی این خصوصیت انطباقی نام برد [۲۸، ۲۷، ۱۰، ۴].

سرعت پاسخ خود مختاری: این خصوصیت به مدت زمان لازم برای درک تغییرات و اعمال عملیات مورد نظر برای تطبیق اشاره دارد. به طور کلی، هر چه سرعت پاسخ به رویدادها و تغییرات خواسته شده بالاتر باشد، عکس‌العمل سیستم نسبت به تغییرات افزایش می‌یابد. در یک سیستم ابتدا باید تغییرات احساس شوند، براساس تغییرات تصمیم مورد نظر در مورد نحوه عکس‌العمل اتخاذ شود و پس از آن سیستم وارد حالت اجرا شود. این خصوصیت به دو ویژگی زمان پایداری و زمان تنظیم کوتاه وابسته است. زمان پایداری به زمان درک تغییرات، اتخاذ تصمیم مناسب و انتقال آن به سیستم و زمان استقرار به نحوه عکس‌العمل سیستم و انطباق آن با شرایط جدید اشاره دارد [۲۹، ۱۰، ۴].

درجه خود مختاری: در برخی از موارد لازم است قدرت پیشگویی سیستم را کاهش دهیم و توانایی سیستم را در تحمل و رفع مشکلات مورد بررسی قرار دهیم. این معیار درجه خودمختاری یک سیستم را مشخص می‌کند. کاهش قدرت پیشگویی و افزایش صحت و درستی از ویژگی‌های موثر بر این خصوصیت انطباقی می‌باشد [۲۷].

امنیت: در فرآیند انطباق نه تنها سیستم مقصد بلکه تمامی داده‌ها و اجزایی که با کنترل‌کننده به اشتراک گذاشته شده اند باید از دسترسی‌های غیرمجاز (محرمانگی)، اصلاحات (یکپارچگی) و تخریب (دسترس پذیری) حفاظت شوند. این خصوصیت انطباقی هم راستا با امنیت در سیستم های غیرتطبیقی است [۱۰، ۱].

هزینه: سیستم های خود مختار، منجر به ایجاد سربار زیادی می شوند. باید بررسی شود که آیا نتیجه حاصل از خود مختاری ارزش تحمل چنین سرباری را دارد یا خیر. یکی از مهمترین این سربارها هزینه است که از دو بعد نیروی انسانی و منابع مصرفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هرچه خود مختاری یک سیستم افزایش یابد، حضور عوامل انسانی کمتر خواهد شد اما میزان مصرف منابع افزایش خواهد یافت. در نتیجه، می‌توان از ویژگی کم از حد خارج شدن برای بررسی منابع مورد استفاده بهره برد. میزان کارایی سیستم در استفاده منابع نیز روی هزینه تأثیرگذار است. فاکتور مؤثر دیگر نیز خودبهنیگی است [۲۷].

سطح خود مختاری: این خصوصیت مشخص کننده این است که یک سیستم تا چه اندازه ای می تواند نیازهای اصلی یک سیستم خود مختار را پوشش دهد که منجر به کاهش هزینه‌ها می گردد. علاوه بر شش مولفه اساسی سیستم های خود تطبیق، دو ویژگی قابلیت پیشگویی و بازبودن را نیز از ویژگی‌های مؤثر بر این خصوصیت انطباقی می‌باشند [۸].

خود پیکربندی: این خصوصیت نشان دهنده توانایی سیستم برای باز پیکربندی خود به صورت خودکار و پویا در مقابل تغییراتی است که در سیستم رخ می‌دهند. به طور کلی، پیکربندی به توانایی سیستم بر حذف، اضافه، تغییر و جابجایی مولفه‌ها اشاره دارد و ویژگی‌هایی مانند قابلیت نگهداری، قابلیت استفاده، عاملیت و قابلیت حمل روی آن تأثیر گذارند [۱۸، ۳۰].

خود التیامی: این خصوصیت نشان‌دهنده توانایی سیستم در تشخیص خرابی و حل آن است. در واقع سیستم باید بتواند مولفه‌هایی که منجر به خرابی سیستم شده‌اند را شناسایی کند و مولفه سالمی را جایگزین آن نماید. هدف از خود التیامی برآورده‌سازی سه ویژگی قابلیت نگهداری، قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری است [۳۱، ۲۴].

خود حفاظتی: به توانایی سیستم برای حفظ امنیت سیستم اشاره دارد. این خصوصیت را میتوان از جنبه دفاع از سیستم در برابر حملات مخرب و پیش بینی مشکلات و اقداماتی جهت جلوگیری از آنها بررسی کرد. قابلیت نگهداری، عاملیت و کارایی از ویژگی های مؤثر روی این خصوصیت می‌باشند [۳۲].

خود بهینگی: سیستم باید توانایی مدیریت منابع را داشته باشد بطوریکه میزان

جدول ۱- خصوصیات انطباق و ویژگی‌های کیفی موثر بر آنها

ویژگی کیفی موثر	خصوصیت انطباق
پایداری (stability)	سرعت پاسخ خودمختاری (speed of automatic response)
زمان تنظیم کوتاه (short setting time)	پایداری (stability)
پایداری (stability)	استحکام (robustness)
زمان تنظیم کوتاه (short setting time)	کم از حد خارج شدن (small overshoot)
ایمنی (safety)	دسترسی پذیری (availability)
آگاهی از زمینه (self-awareness)	سطح خودمختاری (level of autonomy)
خود تنظیمی (self-configuration)	خود التیامی (self-healing)
خود التیامی (self-healing)	حفاظت از خود (self-protection)
آگاهی از خود (self-awareness)	خود بهینگی (self-optimization)
حفاظت از خود (self-protection)	باز بودن (openness)
خود بهینگی (self-optimization)	پیش بینی (anticipate)
باز بودن (openness)	قابلیت نگهداری (maintainability)
پیش بینی (anticipate)	قابلیت استفاده (usability)
قابلیت نگهداری (maintainability)	عملییت (functionality)
قابلیت استفاده (usability)	قابلیت حمل (portability)
عملییت (functionality)	قابلیت نگهداری (maintainability)
قابلیت حمل (portability)	قابلیت اطمینن (reliability)
قابلیت نگهداری (maintainability)	دسترسی پذیری (availability)
قابلیت اطمینن (reliability)	عملییت (functionality)
دسترسی پذیری (availability)	قابلیت حمل (portability)
عملییت (functionality)	قابلیت نگهداری (maintainability)
قابلیت حمل (portability)	عملییت (functionality)
قابلیت نگهداری (maintainability)	کارایی (efficiency)
عملییت (functionality)	حساسیت (sensitive)
کارایی (efficiency)	عملکرد (performance)
حساسیت (sensitive)	آگاه از زمینه (context awareness)
عملکرد (performance)	آگاه از خود (self-awareness)
آگاه از زمینه (context awareness)	باز بودن (openness)
آگاه از خود (self-awareness)	قابلیت حمل (portability)
باز بودن (openness)	
قابلیت حمل (portability)	

ویژگی کیفی موثر	خصوصیت انطباق
تغییر و اصلاح (modification)	پایداری (stability)
حساسیت (sensitive)	
پیشگویی (anticipate)	
عملکرد (performance)	
یکپارچگی (integrity)	
ایمنی (safety)	
امنیت (security)	
آگاهی از زمینه (self-awareness)	صحت (accuracy)
خود تنظیمی (self-configuration)	
خود التیامی (self-healing)	
آگاهی از خود (self-awareness)	
حفاظت از خود (self-protection)	
خود بهینگی (self-optimization)	
باز بودن (openness)	
پیش بینی (anticipate)	
عملکرد (performance)	
امنیت (security)	
صحت تصمیمات اتخاذی (accuracy decision make)	
زمان اتخاذ تصمیم (decision make time)	زمان تنظیم کوتاه (short setting time)
حساسیت (sensitive)	
کم از حد خارج شدن (small overshoot)	
عملکرد (performance)	
عملکرد (performance)	کم از حد خارج شدن (small overshoot)
رفتار پیچیده (complex behavior)	سازگاری (consistency)
رفتار پیچیده (complex behavior)	
یکپارچگی (integrity)	
قابلیت اطمینن (reliability)	
قابلیت نگهداری (maintainability)	
کم از حد خارج شدن (small overshoot)	مقیاس پذیری (scalability)
عملکرد (performance)	
عملکرد (performance)	پایان دهی (termination)
رفتار پیچیده (complex behavior)	حساسیت (sensitivity)
سنسورهای فعال (active sensor)	جلوگیری از خطا (failure avoidance)
پیش بینی (anticipate)	
ایمنی (safety)	
قابلیت انعطاف (flexibility)	دانه بندی (granularity)
درشت و ریزدانه بودن (fine/thick grain)	
کارایی (efficiency)	قابلیت پیش بینی (anticipate)
قابلیت نگهداری (maintainability)	
آگاهی از زمینه (self-awareness)	
آگاهی از خود (self-awareness)	

سیستم عامل‌ها با مکانیزم تأیید اعتبار به کل سیستم‌ها و وجود یا عدم وجود مکانیزم تصدیق هویت و تأیید اعتبار در شبکه، وجود ابزارهای دیواره آتش، ویروس‌یابی و کشف نفوذ و مهاجم‌یاب مورد ارزیابی قرار داد [۳۶].

قابلیت استفاده: برای اندازه‌گیری این خصوصیت باید متریک‌هایی مانند هزینه، زمان اجرایی، میزان سازگاری، قابلیت‌ها و در دسترس بودن مورد بررسی قرار گیرند [۳۶].

قابلیت حمل: به منظور ارزیابی این خصوصیت باید ویژگی‌های تطابق‌پذیری، قابلیت نصب و قابلیت همزیستی مورد بررسی قرار گیرند. به منظور افزایش تطابق‌پذیری نیاز به مؤلفه‌هایی در سیستم است که بتواند هسته سیستم را با سایر محیط‌ها سازگار نماید. برای قابلیت همزیستی نیز سیستم باید مکانیزم‌هایی داشته باشد که بتواند با سیستم‌های موجود در محیط تبادلات لازم را انجام دهد و منابعی را به اشتراک بگذارد. این ویژگی را می‌توان از دید متریک‌هایی مانند وجود یا عدم وجود مؤلفه برای سازگاری هسته سیستم با محیط، وجود یا عدم وجود مؤلفه‌هایی برای ارتباط با عوامل خارجی، وجود یا عدم وجود فرآیندهای همروند برای ایجاد اشتراک زمانی برای استفاده از پردازنده و یا وجود مکانیزم بن‌بست مورد اندازه‌گیری قرار داد [۳۶].

دسترس‌پذیری: این خصوصیت به در دسترس بودن سیستم برای استفاده اشاره دارد. سیستم در صورتی از دسترس خارج می‌شود که در آن شکست رخ دهد. پس برای اندازه‌گیری دسترس‌پذیری یک سیستم می‌توان معیارهایی مانند وجود یا عدم وجود راهکار تشخیص خطا، وجود راهکار برای ترمیم خطای کشف شده و راهکارهایی برای جلوگیری از بروز نقص مورد اندازه‌گیری قرار داد. برای اندازه‌گیری دسترس‌پذیری دو متریک تعریف شده است: متریک دسترس‌پذیری $\frac{MTTF}{MTTF+MTTR}$ و متریک مدت از کارافتادگی $\frac{MTTR}{MTTF+MTTR}$ که در آن MTTF به معنی متوسط زمان تا شکست سیستم است. دسترس‌پذیری عددی بین صفر و یک خواهد بود. اگر MTTF نسبت به MTTR^{۱۰} خیلی بزرگتر باشد، مدت از کارافتادگی به صورت تقریبی برابر با $\frac{MTTR}{MTTF}$ خواهد بود [۳۸].

عملکرد: این ویژگی نشان‌دهنده توانایی سیستم برای انجام کاری است که برای آن به وجود آمده است. برای انجام یک کاراجزای مختلف سیستم باید در یک مسیر هماهنگ حرکت کنند و اگر به اجزاء مسئولیت‌های درست و واقعی واگذار نشود و مکانیزم مناسبی برای ایجاد ارتباط بین مؤلفه‌ها موجود نباشد، سیستم عملکرد مناسبی نخواهد داشت. این ویژگی کیفی را می‌توان با استفاده از معیارهای امنیت، دقت و صحت و قابلیت انعطاف مورد اندازه‌گیری قرار داد [۱۷].

دقت و صحت: این ویژگی نشان‌دهنده توانایی یک سیستم یک سیستم در دسترسی صحیح به اهداف از پیش تعیین شده است. بهترین روش برای ارزیابی دقت و صحت براساس تصمیماتی است که در بخش برنامه‌ریزی گرفته می‌شوند. در این بخش یکسری از اهداف برای سیستم مشخص می‌شوند که اگر بتوان میزان رضایت کاربر از درصد تحقق رسیدن به اهداف را در سیستم مشخص کرد، می‌توان دقت و صحت سیستم را نیز سنجید. یکی از مهم‌ترین معیارها قابلیت ردگیری است. قابلیت ردگیری مشخص‌کننده این است که مؤلفه‌های درگیر فرآیند انطباقی می‌بایست در یک یا چند کلاس قرار گرفته باشند. هر چه قدر مؤلفه‌های درگیر محدود به تعداد کمتری از کلاس‌ها باشد، ناهمگونی کاهش پیدا کرده و دقت بالاتر می‌رود. معیار دیگر سازگاری است که نشان‌دهنده این است که اهدافی که فرآیندهای انطباقی دنبال می‌کنند نباید با هم ناسازگار باشند که برای اندازه‌گیری آن باید نسبت فرآیندهایی که شرط سازگاری را رعایت می‌کنند به کل فرآیندها بدست آورد [۱۰، ۳۶].

ایمنی: برای اندازه‌گیری ایمنی می‌توان از دو معیار پیچیدگی تعامل^{۱۱} و قدرت اتصال^{۱۲} بهره برد. پیچیدگی تعامل حدی برای رفتار یک مؤلفه است که می‌واند

متریک‌های دیگری نیز برای ارزیابی کارایی وجود دارد. به عنوان مثال، می‌توان از فرآیندها دارای کار تکراری، فرآیندها با اتلاف وقت و میزان دانه‌بندی معماری سیستم به عنوان متریک‌های مؤثر بر کارایی نام برد [۱۷، ۲۱]. میانگین زمان پاسخ نیز یک معیار عمومی برای ارزیابی کارایی است. کارایی سیستم را براساس یک تابع توزیع بار نیز می‌توان اندازه‌گیری کرد. این تابع برای اضافه کردن هزینه بار تحمیلی و بار داخلی مؤلفه‌ها تعریف شده است [۱۵].

قابلیت اطمینان: قابلیت اطمینان در یک سیستم تضمین‌کننده استمرار فعالیت آن است. برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان متریک (DU) معرفی شده است که نشان‌دهنده احتمالی است که یک سرویس کار را براساس درخواست کاربر تکمیل کند [۲۱]. از طرف دیگر، این ویژگی را می‌توان به دو زیر ویژگی تحمل خطا و بازگشت از خطا نیز تقسیم کرد که مرتبط با ساز و کارهای موجود در معماری سیستم می‌باشند. برای اندازه‌گیری تحمل خطا باید تعداد سیستم‌هایی که مکانیزم تحمل خطا در آنها وجود دارد شمارش شوند. نسبت تعداد این سیستم‌ها به کل سیستم‌های نرم‌افزاری نشان‌دهنده مقدار این معیار است. برای محاسبه بازگشت از خطا نیز باید نسبت سیستم‌هایی که مکانیزم بازگشت از خطا در آنها وجود دارد به کل سیستم‌های نرم‌افزاری مشخص شود. از فاکتورهای ارتباطات فعال به ازای هر سرور، زمان پاسخ کلی (متوسط زمانی که طول میکشد هر درخواست پردازش شود)، پهنای باند خروجی (تعداد متوسط بایت‌های خارج شده به ازای هر سرور در هر ثانیه)، زمان پاسخ‌دهی پایگاه داده (میانگین زمانی که طول می‌کشد هر درخواست توسط پایگاه داده پردازش شود)، نرخ عدم پذیرش (درصدی از ارتباطات پذیرفته نشده برای عبور روی دامنه مشتری)، نرخ پذیرش (متمم نرخ عدم پذیرش) و سرورهای فعال (تعداد سرورهایی که به یک حوزه مشتری سرویس می‌دهند) نیز می‌توان برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در سیستم‌های خودتطبیق بهره برد [۳۶].

یکپارچگی: به منظور استفاده بهینه از سیستم‌های نرم‌افزاری، این سیستم‌ها باید یکپارچه و پیوسته باشند. یکپارچگی را در سیستم‌های نرم‌افزاری می‌توان از سه دیدگاه سکوی کاری، داده و سیستم‌های نرم‌افزاری مورد بررسی قرار داد. یکپارچگی براساس دیدگاه سکوی کاری مرتبط با تعداد سکوهایی مختلف به خصوص سیستم عامل‌های متفاوت موجود می‌باشد. یکپارچگی داده، به استانداردهای نگهداری اطلاعات اشاره دارد که براساس آن سیستم‌های مختلف بتوانند با داده‌های سایر سیستم‌ها ارتباط برقرار کنند. یکپارچگی در سطح سیستم‌های نرم‌افزاری با توجه به تبادل اطلاعات و فرآیندهای کاری بین سیستم‌های نرم‌افزاری سنجیده می‌شود که می‌توان آن‌ها را با شمارش تعداد سکوها، سیستم عامل‌های موجود، محیط‌های مختلف نگهداری داده‌ها نسبت به کل سیستم‌ها سنجید [۳۶، ۳۷].

قابلیت نگهداری: قابلیت نگهداری به توانایی مقابله سیستم نسبت به تغییرات اشاره دارد و به زیرویژگی‌های قابلیت تجزیه و تحلیل و تغییرپذیری تقسیم می‌شود. افزایش بیش از حد سیستم‌های نرم‌افزاری منجر به افزایش پیچیدگی می‌شود که پیرو آن قابلیت تجزیه و تحلیل کاهش می‌یابد. از طرف دیگر استفاده از دانه‌بندی در سطح بالا، منجر به بهبود تجزیه و تحلیل و افزایش تغییرپذیری می‌گردد. علاوه بر این عدم وجود ساز و کارهای مبتنی بر شرایط ثابت، تعداد مؤلفه‌های قابل تغییر و فناوری‌های روز معیارهای هستند که منجر به افزایش تغییرپذیری خواهند شد. برای اندازه‌گیری قابلیت نگهداری می‌توان از متریک‌هایی مانند نسبت سیستم‌های رعایت‌کننده دانه‌بندی به کل سیستم‌ها، میزان همبستگی داخلی سیستم‌های نرم‌افزاری، میزان اتصال بیرونی سیستم‌های نرم‌افزاری و درصد سیستم‌های استفاده‌کننده از معماری‌های تغییرپذیر استفاده کرد [۱۰، ۳۴].

امنیت: امنیت را می‌توان براساس سه دیدگاه تمامیت، محرمانگی و دسترسی مورد بررسی قرار داد. برای اندازه‌گیری این خصوصیت می‌توان از متریک‌هایی مانند نسبت سیستم عامل‌های دارای مکانیزم تصدیق هویت به کل سیستم‌ها، نسبت

اگر چه دقت بسیاری صورت گرفته تا بهترین ویژگی‌های استخراج شوند، اما باز هم می‌توان با مطالعه مقالات و شناخت کافی از خصوصیات انطباقی جدید، ویژگی‌های کیفی مرتبط با این سیستم‌ها را تکمیل تر کرد. در واقع می‌توان گفت هر کدام از این ویژگی‌های کیفی تکه‌هایی از یک پازل هستند که می‌تواند هربار تکه‌هایی جدیدی (ویژگی‌های کیفی) به آن افزود و آن را تکمیل تر کرد. کار دیگری که می‌توان در این زمینه انجام داد نیز بررسی صحت، درستی و میزان تأثیر ویژگی‌های کیفی انتخاب شده است. به طور کلی، گسترش و توسعه معیارهای ارائه شده برای خصوصیات انطباقی و متریک‌های ارزیابی برای معیارهای کیفی خود می‌تواند زمینه تحقیقی جدید در آینده باشد.

مراجع

- [1] M. Ahmad, N. Belloir, and J.-M. Bruel, *Modeling and Verification of Functional and Non-Functional Requirements of Ambient Self-Adaptive Systems*. Journal of Systems and Software, 2015.
- [2] R. De Lemos, and et. al., *Software engineering for self-adaptive systems: A second research roadmap*, in *Software Engineering for Self-Adaptive Systems II*, Springer, pp. 1-32, 2013.
- [3] F. D. Macías-Escrivá, and et. al., *Self-adaptive systems: A survey of current approaches, research challenges and applications*. Expert Systems with Applications, 40 (18): pp. 7267-7279, 2013.
- [4] N. M. Villegas, and et. al., *A framework for evaluating quality-driven self-adaptive software systems*. in *Proc of the 6th international symposium on Software engineering for adaptive and self-managing systems*, ACM, 2011.
- [5] C. Krupitzer, and et. al., *A survey on engineering approaches for self-adaptive systems*. Pervasive and Mobile Computing, 17: pp. 184-206, 2015.
- [6] G. Tamura, and et. al., *Towards practical runtime verification and validation of self-adaptive software systems*, in *Software Engineering for Self-Adaptive Systems II*, Springer, pp. 108-132, 2013.
- [7] J. L. Hellerstein, S. Singhal, and Q. Wang, *Research challenges in control engineering of computing systems*. Network and Service Management, IEEE Transactions, 6(4): pp. 206-211, 2009.
- [8] M. Salehie, and L. Tahvildari, *Self-adaptive software: Landscape and research challenges*. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS), 4(2): pp. 14, 2009.
- [9] J. L. Hellerstein, and et. al., *Feedback control of computing systems*, John Wiley & Sons, 2004.
- [10] A. C. Meng, *On evaluating self-adaptive software*, in *Self-Adaptive Software*, Springer, pp. 65-74, 2001.
- [11] J. A. Mc Cann, and M. C. Huebscher. *Evaluation issues in autonomic computing*. in *Grid and Cooperative Computing-GCC 2004 Workshops*. Springer, 2004.

رفتار سایر مؤلفه‌ها را نیز تحت تأثیر خود قرار دهد که می‌توان مقدار آن را از طریق اندازه‌گیری میزان وابستگی مؤلفه‌ها به یکدیگر و میزان استقلال هر مؤلفه از سایر مؤلفه‌ها بدست آورد. قدرت اتصال نیز از محدوده اتصال سست تا اتصال قوی را شامل می‌شود. سیستم‌های اتصال قوی وابسته به زمان بوده و نمی‌توانند منتظر بمانند، در مقابل فرآیندهای اتصال سست می‌توانند تأخیر داشته باشند و در حالت انتظار قرار گیرند [۳۴].

بهره‌وری: بهره‌وری را می‌توان از دو بعد زمان و منابع مورد بررسی قرار داد. برای بهره‌وری در زمان سیاست‌های زمان‌بندی برای اشتراک چندین فرآیند باید مورد بررسی قرار گیرند. برای ایجاد بهره‌وری در زمان فرآیندهای موجود در سیستم باید به صورت چندنخی طراحی گردند تا قابلیت اجرای هم‌زمان را داشته باشند و برای اندازه‌گیری آن می‌توان از نسبت فرآیندها با قابلیت اشتراک زمانی و چندنخی به کل فرآیندهای موجود استفاده کرد. بهره‌وری در منابع نیز به معنای استفاده اشتراکی از منابع است و نسبت مؤلفه‌های سخت افزاری با قابلیت اجرای هم‌زمان چند فرآیند به تعداد کل مؤلفه‌ها معیاری برای ارزیابی این ویژگی است [۳۶].

قابلیت انعطاف: سادگی، ماژولار بودن و قابلیت توسعه تأثیر مستقیمی روی ویژگی کیفی دارند. سادگی به این معنی است که تعداد ماژول‌ها کم باشد و پیچیدگی گراف تئوریک نیز از حد مشخصی پایین تر باشد. علاوه بر این، برای اندازه‌گیری قابلیت انعطاف می‌توان عمومیت را نیز اندازه‌گیری کرد. لازم به ذکر است که برای برخی از ویژگی‌های کیفی معرفی شده، متریک‌های ارزیابی تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته است و معرفی آن‌ها تنها به صورت تئوریک بوده است [۳۶].

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تغییر عنصر غیرقابل انکار دنیای امروز است و این تغییرات منجر به ایجاد تغییر در ساختار سیستم‌های نرم‌افزاری می‌شود، نقش سیستم‌های خودتطبیق که می‌توانند خود را با تغییرات هماهنگ کنند بیش از پیش احساس می‌شود. با اینکه مفهوم خودتطبیقی به عنوان یکی از موضوعات داغ تحقیقاتی در حوزه مهندسی نرم‌افزار به شمار می‌آید و پژوهش‌های مختلفی در این زمینه صورت گرفته است، کمتر به مباحث مرتبط با ارزیابی این سیستم‌ها پرداخته شده است در حالیکه برای درک موفقیت یک سیستم ارزیابی آن نقش مهمی ایفا می‌کند.

با توجه به اینکه محیط اطراف سیستم‌های خودتطبیق همواره در حال تغییر است و این تغییرات منجر به تغییر در ساختار و نیازمندی‌های سیستم می‌شود، ارزیابی این نوع سیستم‌ها در مقایسه با سیستم‌های سنتی متفاوت بوده و با چالش‌هایی مواجه است. مهمترین مشکل موجود برای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی کمبود ویژگی‌های کیفی متناسب با این سیستم‌ها و متریک‌های متناظر با آن‌ها برای ارزیابی است. به همین منظور در این مقاله، طیف وسیعی از کارهای انجام شده در حوزه سیستم‌های خودتطبیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و خصوصیات انطباقی که مهمترین دلیل برای ایجاد سیستم‌های خودتطبیق می‌باشند و در کارهای پیشین مورد بررسی قرار نگرفته بودند، استخراج شده‌اند. با توجه به اینکه برخی از این خصوصیات کیفی روی سیستم مدیریت شده و برخی روی کنترل‌کننده قابل مشاهده‌اند، ارزیابی آن‌ها با مشکلاتی مواجه خواهد بود. به همین خصوصیات انطباقی شناسایی شده به ویژگی‌های کیفی متناظر با آن‌ها که مهمترین معیار برای ارزیابی این سیستم‌های می‌باشند نگاشت شده‌اند. در ادامه نیز متریک‌های ارزیابی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی معرفی شده‌اند. چارچوب ارائه شده برای ارزیابی می‌تواند به عنوان یک زیربنای ارزیابی سیستم‌های خودتطبیقی بحساب آید.

- in *Formal Aspects of Component Software*, Springer, pp. 34-52, 2012.
- [26] M. Léger, T. Ledoux, and T. Coupaye, *Reliable dynamic reconfigurations in a reflective component model*, in *Component-Based Software Engineering*, Springer, pp. 74-92, 2010.
- [27] J. Dowling, and V. Cahill. *Self-managed decentralised systems using K-components and collaborative reinforcement learning*. in *Proc of the 1st ACM SIGSOFT workshop on Self-managed systems*, ACM, 2004.
- [28] J. Cámara, and et. al., *Testing the robustness of controllers for self-adaptive systems*. Journal of the Brazilian Computer Society, 20 (1): pp. 1-14, 2014.
- [29] A. Ganek, and et. al., *Autonomic Computing: Concepts, Infrastructure, and Applications*, in *Overview of Autonomic Computing: Origins, Evolution, Direction*, CRC Press, pp. 3-18, 2006.
- [30] L. K. Chan, S. W. Cheng, and F. A. Spiring, *A new measure of process capability: Cpm*. Journal of Quality Technology, 20(3): pp. 162-175, 1988.
- [31] A. G. Ganek, and T. A. Corbi, *The dawning of the autonomic computing era*. IBM systems Journal, 42 (1): pp. 5-18, 2003.
- [32] J. O. Kephart, and D. M. Chess, *The vision of autonomic computing*. Computer, 36 (1): pp. 41-50, 2003.
- [33] M. Parashar, and S. Hariri, *Autonomic computing: An overview*, in *Unconventional Programming Paradigms*, Springer, pp. 257-269, 2005.
- [34] P. Reinecke, K. Wolter, and A. Van Moorsel, *Evaluating the adaptivity of computing systems*. Performance Evaluation, 67(8): pp. 676-693, 2010.
- [35] M. Barbacc, and et. al., *Quality Attributes*. 1995, DTIC Document.
- [36] R. Khan, K. Mustafa, and S. Ahson, *Software Quality. Concepts and Practices*. Alpha Science, Oxford, 2006.
- [37] R. Calinescu, and et. al., *Self-adaptive software needs quantitative verification at runtime*. Communications of the ACM, 55(9): pp. 69-77, 2012.
- [38] G. Candea, J. Cutler, and A. Fox, *Improving availability with recursive microreboots: a soft-state system case study*. Performance Evaluation, 56(1): pp. 213-248, 2004.
- [12] X. Liu, and Q. Wang. *Study on application of a quantitative evaluation approach for software architecture adaptability*. in *Quality Software, Fifth International Conference on*. IEEE, 2005.
- [13] D. N. Chin, *Empirical evaluation of user models and user-adapted systems*. User modeling and user-adapted interaction, 11(1-2): pp. 181-194, 2001.
- [14] S. Taranu, and J. Tiemann. *On assessing self-adaptive systems*. in *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, IEEE International Conference, 2010.
- [15] K. Appleby, and et. al., *Oceano-SLA based management of a computing utility*. in *Integrated Network Management Proc, IEEE/IFIP International Symposium*, IEEE, 2001.
- [16] J. Floch, and et. al., *Using architecture models for runtime adaptability*. Software, IEEE, 23 (2): pp. 62-70, 2006.
- [17] C. Lu, and et. al., *Performance specifications and metrics for adaptive real-time systems*. in *Real-Time Systems Symposium, Proc. The 21st IEEE*. IEEE, 2000.
- [18] D. Garlan, and et. al., *Rainbow: Architecture-based self-adaptation with reusable infrastructure*. Computer, 37 (10): p. 46-54, 2004.
- [19] V. Kumar, and et. al., *Middleware for enterprise scale data stream management using utility-driven self-adaptive information flows*. Cluster Computing, 2007. 10(4): pp. 443-455.
- [20] J. White, D. C. Schmidt, and A. Gokhale, *Simplifying autonomic enterprise java bean applications via model-driven development: a case study*, in *Model Driven Engineering Languages and Systems*, Springer, pp. 601-615, 2005.
- [21] V. Cardellini, and et. al., *Qos-driven runtime adaptation of service oriented architectures*. in *Proc of the the 7th joint meeting of the European software engineering conference and the ACM SIGSOFT symposium on The foundations of software engineering*, ACM, 2009.
- [22] A. Solomon, and et. al., *Business process adaptation on a tracked simulation model*. in *Proc of the 2010 Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research*, 2010. IBM Corp.
- [23] S. Parekh, and et. al., *Using control theory to achieve service level objectives in performance management*. Real-Time Systems, 23(1-2): pp. 127-141, 2002.
- [24] H. Ehrig, and et. al., *Formal analysis and verification of self-healing systems*, in *Fundamental Approaches to Software Engineering*, Springer, pp. 139-153, 2010.
- [25] G. Tamura, and et. al., *QoS contract-aware reconfiguration of component architectures using e-graphs*,

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

m.nazari@iaurasht.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۴/۲۵

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۶/۰۴

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۶/۱۴

نویسنده مرتبط: حسین صدر، دانشکده مهندسی برق، رایانه و فناوری اطلاعات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.

¹ State Explosion

² Control Theory

³ Feedback

⁴ Feed Forward

⁵ Meng

⁶ Stability

⁷ Robustness

⁸ McCann

⁹ Villegas

¹⁰ Mean Time to Recover (MTTR)

¹¹ Interaction Complexity

¹² Coupling Strength



اسلام ناظمی در سال ۱۳۳۳ در شهر سراب دیده به جهان گشود. در سال ۱۳۵۶ مدرک کارشناسی خود را در رشته ریاضیات کاربردی و تحقیق در عملیات از مدرسه عالی برنامه ریزی و کاربرد کامپیوتر و پس از آن در سال های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۳ مدارک کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در رشته مهندسی سیستم ها گرایش های تحقیق در عملیات و اقتصاد اخذ کرد. در ادامه در سال ۱۳۸۳ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی صنایع گرایش فناوری اطلاعات شد. دکتر ناظمی از سال ۱۳۵۷ عضو هیئت علمی مدرسه عالی برنامه ریزی و کاربرد کامپیوتر و از سال ۱۳۶۵ تاکنون عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی می باشد. ایشان به مدت ۶ سال معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، به مدت ۳ سال مدیر توسعه فناوری اطلاعات آموزش دانشگاه و در حال حاضر نیز معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر هستند. وی دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، فناوری اطلاعات دانشگاه شهید بهشتی می باشد. علایق پژوهشی نامبرده عبارتند از: مهندسی سیستم های نرم افزاری خود تطبیق، توسعه نرم افزار در مقیاس بزرگ، سیستم های اطلاعات مدیریت و وب کاوی. تاکنون بیش از نود مقاله از دکتر ناظمی در مجلات و کنفرانس های معتبر داخلی و خارجی به چاپ رسیده است. همچنین توسط ایشان تاکنون ده کتاب در حوزه ریاضیات، مدیریت پروژه، مهندسی نرم افزار، کیفیت نرم افزار و تئوری بازی ها انتشار یافته است. وی عضو انجمن کامپیوتر ایران، انجمن مهندسی برق، انجمن فرماندهی و کنترل و انجمن انفورماتیک ایران و عضو هیات مدیره انجمن انفورماتیک ایران هستند.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

nazemi@sbu.ac.ir



حسین صدر در سال ۱۳۶۵ در شهر رودسر (استان گیلان) متولد شد. در سال ۱۳۸۹ مدرک کارشناسی و سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسی ارشد خود را با احراز رتبه اول از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اخذ نمود. در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی و دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر گرایش سیستم های نرم افزاری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین می باشد. زمینه های پژوهشی نامبرده عبارت است از: پردازش زبان های طبیعی، وب کاوی، متن کاوی و بازیابی اطلاعات، مهندسی سیستم های نرم افزاری خود تطبیق و محاسبات نرم می باشد. تاکنون از ایشان هجده مقاله در مجلات و کنفرانس های معتبر به چاپ رسیده است. عضو IEEE، انجمن رمز ایران و باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان می باشد.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

sadr@qiau.ac.ir



مژده نظری سلیماندرابی در سال ۱۳۶۸ در شهر رشت متولد شد. در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی از دانشگاه پیام نور و سال ۱۳۹۳ مدرک کارشناسی ارشد خود را با کسب رتبه ممتاز از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اخذ نمود. نامبرده پس از اتمام دوره کارشناسی ارشد به عنوان مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان مشغول به کار و پژوهش است و تاکنون شش مقاله ایشان در مجلات و کنفرانس ها به چاپ رسیده است. موضوعات تحقیقاتی ایشان عبارتند از: داده کاوی، وب کاوی و متن کاوی، مهندسی سیستم های خود تطبیق و محاسبات نرم و کاربردهای آن. عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان می باشد.

مقابله با حمله لاپوشانی در سیستم‌های شهرت با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها

شبیم سراجی مهران سلیمان فلاح

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

سیستم‌های شهرت به عنوان یک روش برای تشویق همکاری میان گره‌های شبکه‌های سیار موردی و سیستم‌های همتا به همتا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش، گره‌هایی که از شهرت مطلوبی برخوردار هستند، مورد اعتماد در نظر گرفته می‌شوند و در تراکنش‌های خود با گره‌های دیگر براساس شهرت خود خدمات دریافت می‌کنند. به دلیل وجود آسیب‌پذیری‌هایی در سیستم‌های شهرت، از جمله دسترس‌پذیری شناسه‌های ارزان و همچنین انتساب شهرت اولیه به گره‌های تازه وارد، بروز برخی از حملات از جمله حمله لاپوشانی در آنها امکان‌پذیر می‌شود. در این مقاله بر روی حمله‌ی لاپوشانی تمرکز می‌کنیم و به منظور بهبود پژوهش‌های انجام شده، با استفاده از نظریه‌ی بازی به ارائه‌ی یک مدل بازی که تراکنش دو گره داخلی شبکه را نشان دهد، می‌پردازیم. برای این منظور، از مدل بازی‌های بیزین استفاده کرده و با در نظر گرفتن نوع خودخواه و عادی برای هر گره، بازی میان دو گره داخلی شبکه را گسترش می‌دهیم. در ادامه، یک تعادل نش بیزین کامل بازی را به دست می‌آوریم. تحلیل تعادل به دست آمده نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن هزینه‌ی شناسه‌ی مناسب، از حمله‌ی لاپوشانی جلوگیری می‌شود به‌طوری‌که گره‌های عادی نیز برای ورود به شبکه از انگیزه‌ی کافی برخوردار خواهند بود.

کلمات کلیدی: حمله لاپوشانی، شبکه‌های سیار موردی، سیستم‌های همتا به همتا، سیستم‌های شهرت، مدیریت اعتماد، نظریه‌ی بازی.

۱- مقدمه

موردی و یا شبکه‌های نظیر به نظیر، اعتماد یک گره به سایر گره‌ها نشان دهنده میزان تمایل آن گره به فراهم آوردن خدمات برای سایر گره‌ها است. بنابراین، با استفاده از سیستم‌های شهرت، گره‌ها قادر خواهند بود که گره‌های بدر رفتار را شناسایی کنند و آنها را از دریافت خدمات محروم نمایند.

به دلیل وجود برخی از آسیب‌پذیری‌ها در سیستم‌های شهرت، از جمله دسترس‌پذیری شناسه‌های ارزان، امکان بروز برخی از تهدیدات از جمله Sybil و لاپوشانی برای گره‌های خودخواه فراهم می‌شود [۸]. حمله Sybil در سیستم‌های شهرت زمانی رخ می‌دهد که حمله کننده برخی از شناسه‌ها را به منظور توصیه خودش به عنوان یک گره خوش رفتار جعل می‌کند [۹]. در حمله لاپوشانی از طرف دیگر، یک گره خودخواه همکاری نمی‌کند و تا زمانی که شهرتش پایین نیامده از خدمات شبکه سوء استفاده می‌کند و سپس برای فرار از مجازات که عدم دریافت خدمات شبکه است، شبکه را ترک کرده و با شناسه‌ای جدید وارد شبکه می‌شود. در صورت انجام این حمله، در عملکرد روش‌های مدیریت اعتماد مبتنی بر سیستم‌های شهرت اختلال ایجاد می‌شود. بنابراین، تحلیل این حمله و ارائه راه حل برای مقابله با آن ضروری خواهد بود که در این مقاله به آن پرداخته‌ایم.

همکاری میان گره‌ها به منظور عملیاتی موفق در شبکه‌های سیار موردی خود سازمان‌دهی شده و یا شبکه‌های همتا به همتا بسیار حائز اهمیت است. به منظور همکاری، یک گره باید منابع خود را برای فراهم آوردن خدمات به دیگران اختصاص دهد. اگر گره‌ها دارای انگیزه لازم برای همکاری با سایر گره‌ها نباشند، به علت در دست داشتن منابع محدود، ممکن است رفتار خودخواهانه از خود نشان دهند و بدون فراهم کردن خدمت برای سایر گره‌ها، از خدمات شبکه استفاده کنند.

مکانیزم‌هایی که تاکنون برای تشویق گره‌های شبکه به همکاری ارائه شده‌اند، براساس پرداخت هزینه برای دریافت خدمات شبکه [۱، ۲] و یا براساس مدیریت اعتماد و سیستم‌های شهرت هستند [۳، ۴، ۵، ۶، ۷].

در حقیقت، شهرت به موجودیت‌ها اجازه می‌دهد که اعتماد و یا درجه اطمینان به یک موجودیت دیگر در یک زمینه‌ی خاص ارزیابی کنند. در شبکه‌های سیار

قرار دارد، در مقابل اعمالش مسئول است. براساس مقاله فوق، ارائه توکن به یک گره تازه وارد و معرفی وی به شبکه به معنای تضمین خوش رفتاری آن است. این در حالی است که در شبکه‌های سیار موردی و یا همتا به همتا گره‌ها بدون وجود انگیزه لازم تضمینی برای خوش رفتار بودن یک گره تازه وارد نمی‌دهند.

در مقاله [۱۳]، یک مدل اقتصادی برای رفتار گره‌ها به منظور بررسی مسئله سواری رایگان در سیستم‌های همتا به همتا ارائه شده‌است. هم چنین، یک مکانیزم جریمه که سواره‌های رایگان را با فراهم کردن خدمات کمتر تنبیه می‌کند، معرفی شده‌است. در ادامه، یک مدل کلی پویا به منظور محاسبه هزینه اجتماعی که در اثر وجود شناسه‌های ارزان به شبکه تحمیل می‌شود، بیان شده‌است. کارایی سیستم در دو حالت شناسه‌های دائمی و شناسه‌های رایگان ارزیابی شده‌است. در نهایت، از ارزیابی انجام شده نتیجه‌گیری می‌شود که جریمه کردن همه تازه واردان به شبکه تنها در صورت نرخ بالای ورود و خروج به شبکه، سبب کاهش کارایی اجتماعی می‌شود. در مقاله [۱۴]، ادعا شده‌است که یک گره لاپوشانی‌کننده حتی پس از انجام لاپوشانی، رفتارهای مشخصی را دنبال کرده و ادامه می‌دهد و بنابراین یک لاپوشانی‌کننده با مشاهده و مقایسه رفتارهای انجام شده توسط یک تازه وارد شناسایی می‌شود. از پیش ترتیب مشاهده برای شناسایی لاپوشانی‌کننده‌ها و کم کردن اثر لاپوشانی استفاده می‌کند. قابل ذکر است که راه حل ارائه شده برای شناسایی لاپوشانی‌کننده‌ها ممکن است منجر به تولید هشدارهای نادرست شود.

مدیریت اعتماد و سیستم‌های شهرت می‌توانند به منظور تحلیل و مقابله با لاپوشانی مورد استفاده قرار بگیرند. در مقاله [۱۵]، یک مدل اعتماد چند سطحی برای مقابله با سواره‌های رایگان ارائه شده‌است که همتاها را به سطوح اعتماد دسته بندی می‌کند. یک همتا تنها در صورتی می‌تواند از همتای دیگر که مالک یک فایل است، آن فایل را دریافت کند که سطحش از سطح مالک فایل کمتر نباشد. در مقاله [۱۶]، یک طرح مبتنی بر شهرت برای شبکه‌های سیار موردی برای جلوگیری از حمله‌ی لاپوشانی ارائه شده‌است. در طرح ارائه شده، هر گره تنها در صورتی برای گره مقابل خود خدمات فراهم می‌آورد که شهرت وی از یک حد آستانه بالاتر باشد. یک سیستم شهرت دیگر در مقاله [۱۷] معرفی شده‌است که در آن امتیاز شهرت یک همتا که حداقل یک بار همکاری کرده است، از امتیاز شهرت تازه واردان بیشتر است. به علاوه، امتیاز شهرت یک گره همکاری کننده به صورت تدریجی افزایش می‌یابد و شهرت یک گره خودخواه به سرعت کاهش می‌یابد. همه مقاله‌های فوق، یک شهرت اولیه بسیار کم به تازه واردان اختصاص می‌دهند به طوریکه آنها قادر به دریافت خدمات شبکه پس از ورودشان به شبکه نخواهند بود مگر آنکه در چندین دور اول پس از ورود به شبکه، همکاری کرده و شهرت خود را به میزان لازم برای دریافت خدمات شبکه افزایش دهند. به عبارت دیگر، انگیزه لازم برای ورود گره‌های خوش رفتار به شبکه در نظر گرفته نشده‌است.

در مقاله [۱۸]، یک مکانیزم شهرت به منظور مقابله با حمله pollution ارائه شده‌است. این مکانیزم شهرت، به تازه واردان یک شهرت اولیه کمینه نسبت می‌دهد. به‌طوری‌که آنها بتوانند پس از ورودشان به شبکه از سایر گره‌ها خدمات دریافت کنند. در حالی که تازه واردان به شبکه انگیزه لازم برای ورود به شبکه را دارا هستند، از حمله لاپوشانی جلوگیری نمی‌شود. در حقیقت، لاپوشانی‌کننده‌ها تنها قادر به انجام سواری رایگان در تعداد مراحل محدودی پس از ورودشان به شبکه خواهند بود.

سیستم شهرت ارائه شده در مقاله [۱۹]، دو نوع شهرت بارگیری و بارگزاری را در نظر گرفته است. یک گره جریمه می‌شود اگر بارگیری بیشتری انجام دهد و همکاری اش در بارگزاری فایل‌ها از حد آستانه مورد نظر کمتر باشد. در ادامه یک پارامتر براساس زمان صرف شده برای بارگزاری فایل‌ها که تعیین کننده رفتار گره است، تعریف می‌شود. اگر پارامتر تعریف شده از یک حد آستانه تعیین شده برای چندین تراکنش متوالی کمتر باشد، آن گره به عنوان یک لاپوشانی‌کننده احتمالی در نظر گرفته می‌شود و شهرتش به سطح کمتر بعدی به روزرسانی می‌شود.

دو راه حل کلی برای مقابله با حمله‌ی لاپوشانی وجود دارد. راه حل اول آن است که شناسه‌ها دائمی باشند و هر گره تنها بتواند یک بار از شبکه شناسه دریافت کند. این راه حل با مسئله حریم خصوصی گره‌ها در تضاد است. در این صورت، یک راه برای حفظ حریم خصوصی گره‌ها استفاده از یک مرجع مرکزی معتبر است که به گره‌های شبکه شناسه‌های معتبر و دائمی اعطا کند. این راه حل با طبیعت غیرمتمرکز شبکه‌های سیار موردی و یا شبکه‌های نظیر به نظیر در تضاد است که در آنها همه گره‌ها به صورت خودمختار و مستقل بدون وجود مرجع مرکزی عمل می‌کنند.

اگر شناسه‌ها در شبکه دائمی نباشند، راه حل دوم اعمال جریمه بر گره‌های تازه وارد به شبکه است. در این رابطه، برخی از مقالات برای حل مسئله لاپوشانی به گره‌های تازه وارد شهرت اولیه صفر و یا شهرت اولیه کمتر از حد آستانه ای که بتوانند به وسیله‌ی آن از شبکه خدمت دریافت کنند، نسبت می‌دهند. این در حالی است که انتساب شهرت اولیه صفر و یا شهرت اولیه کمتر از حد آستانه دریافت خدمت به گره‌های تازه وارد سبب می‌شود که گره‌های قانونی و خوش رفتار نیز برای ورود به شبکه انگیزه‌ای نداشته باشند. از طرف دیگر، برخی از مقالات برای دریافت شناسه از شبکه هزینه در نظر می‌گیرند و یا برای اعمال جریمه به تازه واردان، از استراتژی احتمالی استفاده می‌کنند [۱۰، ۱۱]. منظور از استراتژی احتمالی آن است که با گره‌های تازه وارد به صورت احتمالی همکاری شود. همچنین، منظور از هزینه شناسه، میزان منابعی است که یک گره تازه وارد زمان ورودش به شبکه باید مصرف نماید.

هدف از نگارش این مقاله تحلیل و مقابله با حمله‌ی لاپوشانی، یکی از حملات مهم به سیستم‌های شهرت است. از آنجا که به علت عدم وجود مرجع معتبر مرکزی در شبکه‌های سیار موردی و یا همتا به همتا، گره‌ها خودشان در تراکنش با هم براساس معیار شهرت تصمیم‌گیری می‌نمایند و در تصمیم‌گیری خود مصالحه می‌کنند، از نظریه‌ی بازی می‌توان در ارائه یک طرح برای مدیریت اعتماد در این شبکه‌ها بهره گرفت. بنابراین، در این مقاله برای بررسی و مقابله با حمله‌ی لاپوشانی از نظریه‌ی بازی استفاده می‌کنیم. راهکار پیشنهادی برای مقابله با این حمله بر پایه‌ی اخذ هزینه‌ی شناسه از تازه واردان است. برای این منظور، از بازی‌های چند مرحله‌ای با اطلاعات ناکامل برای مدل کردن تراکنش‌های بازیکنان استفاده می‌کنیم. به منظور تشویق گره‌ها برای پیوستن به شبکه، یک شهرت اولیه به گره‌های تازه وارد نسبت داده می‌شود. این مقدار کمترین میزان شهرتی است که به گره تازه وارد امکان دریافت خدمات شبکه را پس از ورودش به شبکه می‌دهد. هزینه‌ی شناسه طوری در نظر گرفته شده‌است که گره‌های خودخواه انگیزه‌ای برای انجام لاپوشانی نداشته باشند.

۲- کارهای مرتبط

با حمله لاپوشانی به طور کلی با استفاده از شناسه‌های غیر قابل تعویض و یا جریمه گره‌های تازه وارد به شبکه مقابله می‌شود. راه حل اول نیازمند استفاده از مرجع معتبر مرکزی است که به گره‌های شبکه شناسه‌های معتبر و دائمی اعطا کند. این راه حل نیز با طبیعت غیرمتمرکز شبکه‌های سیار موردی و یا همتا به همتا در تضاد است. راه حل دیگر، تعیین یک مکانیزم جریمه برای بازداشتن گره‌های خودخواه به انجام لاپوشانی است.

در مقاله [۱۲]، یک مکانیزم مبتنی بر توکن ارائه می‌شود که براساس آن هر گره تازه وارد به شبکه از یک گره موجود در شبکه تقاضای دریافت توکن شهرت می‌کند که براساس آن توکن بتواند با گره‌های دیگر تراکنش‌های خود را آغاز کند. گرهی که به یک تازه وارد توکن شهرت ارائه کرده است و به عبارتی وی را به شبکه معرفی کرده است تا زمانی که تازه وارد در مرحله‌ای به نام مرحله نهفتگی

۳- مدل بازی

گره‌های یک شبکه را می‌توان بازیکنان یک بازی تصور نمود که اعمال خود را به صورت استراتژیک انتخاب می‌کنند. یک گره ممکن است بسته دریافتی از گره دیگر را برای گره‌های دیگر ارسال کند و یا آن بسته را به دور بیندازد. هر گره هم چنین می‌داند که سایر گره‌ها اعمال انتخابی وی را مشاهده کرده و بر آن اساس یک سطح اعتماد به وی اختصاص می‌دهند و در این صورت، گره‌های بدرفتار از دریافت خدمات شبکه محروم خواهند شد.

۳-۱- فرضیات

هر گره در شبکه می‌تواند نوع خودخواه و یا عادی را داشته باشد. هر گره در شبکه دارای یک شناسه است و می‌تواند هر زمانی که بخواهد از شبکه شناسه جدید دریافت کند. هر گره با یک شناسه جدید به عنوان یک تازه وارد تلقی می‌شود. هم چنین، به منظور تشویق گره‌های تازه وارد برای پیوستن به شبکه، یک شهرت اولیه به هر گره تازه وارد تخصیص داده می‌شود.

جدول ۱- جدول علائم به کار رفته

معنا	علامت به کار رفته
هزینه همکاری یک گره عادی در برابر گره عادی دیگر	C_C
هزینه همکاری یک گره خودخواه در برابر گره دیگر	C'_C
هزینه همکاری یک گره عادی در برابر گره خودخواه دیگر	C'_C
هزینه‌ی شناسه تازه وارد	C_I
بهره‌ی گره عادی در اثر لاپوشانی	$-C_W$
سود حاصل از عدم همکاری گره عادی در برابر گره خودخواه دیگر	G
سود حاصل از دریافت خدمات	G_C
بهره‌ی حاصل از لاپوشانی	G_W
احتمال ورود تازه وارد به شبکه	P_e

فرض می‌کنیم که شبکه از سیستم شهرت بتا استفاده می‌کند که براساس تابع توزیع بتا از مشاهدات صورت گرفته است [۲۲، ۲۳]. مقدار شهرت به صورت یک زوج مرتب (α, β) نشان داده می‌شود که در آن α و β به ترتیب نشان دهنده تجربیات مثبت و منفی هستند. قابلیت اعتماد یک گره با شهرت (α, β) ، براساس مقدار امید متغیر تصادفی p با توزیع بتا با پارامترهای α و β محاسبه می‌شود. این مقدار برابر با $E(p) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ است. در این مقاله، منظور ما از شهرت یک گره، قابلیت اعتماد آن گره در فراهم آوردن خدمات برای سایر گره‌ها است. هر گره لیستی از شناسه‌های گره‌های دیگر شبکه را در اختیار دارد و از شهرت گره‌هایی که قبلاً با آنها تراکنش داشته است، مطلع است.

تراکنش میان دو گره به صورت یک بازی چند مرحله‌ای با اطلاعات ناکامل مدل شده است. هر گره می‌تواند نوع خودخواه (SF) و یا عادی (NR) را داشته باشد. منظور از باور یک گره نسبت به گره مقابل دیگر، مقدار احتمالی است که وی برای نوع گره مقابل خود براساس نوع خودش و تاریخچه اعمال مشاهده شده از گره مقابل در نظر می‌گیرد. باور گره i در آغاز مرحله t نسبت به اینکه گره مقابلش دارای نوع θ_{-i} باشد با $\mu_i(\theta_{-i} | \theta_i, h^t)$ نشان داده می‌شود. بازیکنان بهره کل را با استفاده از معیار میانگین زمانی محاسبه می‌کنند.

نوع هر گره ترجیحات وی را برای فعالیت در شبکه نشان می‌دهد که نزد خودش محرمانه باقی می‌ماند. گره‌های خودخواه متمایل به دریافت هر چه بیشتر خدمات شبکه و فراهم آوردن خدمات هر چه کمتر به شبکه هستند. این در حالی

شناسایی لاپوشانی‌کنندگان به این صورت، ممکن است منجر به تولید هشدارهای نادرست توسط سیستم شود.

نظریه‌ی بازی یک ابزار قدرتمند است که می‌تواند به منظور مدل کردن و تحلیل رفتار گره‌های شبکه مورد استفاده قرار گیرد. برخی از راه حل‌های مقابله با لاپوشانی از نظریه‌ی بازی به منظور تحلیل دقیق‌تر استفاده کرده اند. در مقاله [۲۰]، تراکنش میان گره‌های بدخواه و عادی شبکه سیار موردی به منظور تحلیل رفتارهای گره‌های بدخواه و قانونی بررسی شده است. برای این منظور، از مدل بازی‌های سیگنالینگ بیزین پویا استفاده شده است. گره‌های قانونی برای ارائه خدمات، با توجه به باور خود نسبت به گره مقابلشان تصمیم‌گیری می‌نمایند و زمانی که باور آنها نسبت به گره مقابل از یک حد آستانه بگذرد، گره مقابل را به عنوان گره بدخواه به شبکه گزارش می‌کنند. از طرف دیگر، گره‌های بدخواه ریسک ماندن خود در شبکه را سنجیده و با توجه به آن تصمیم به ماندن و یا فرار از شبکه می‌گیرند. در حقیقت، گره‌های بدخواه برای فرار از مجازات و گزارش شدن به عنوان گره بدخواه، به نقطه‌ای دیگر از شبکه فرار می‌کنند و راه‌حلی برای مقابله با این فرار ارائه نشده است. این در حالی است که در مدل بازی ارائه شده در این مقاله، گره‌های خودخواه به منظور دستیابی به بهره بیشتر دست به لاپوشانی می‌زنند و هم‌چنین راه‌حلی برای مقابله با این رفتار ارائه می‌شود.

حملات علیه سیستم‌های شهرت از جمله لاپوشانی، توصیه نادرست و Sybil در مقاله [۲۱] بررسی شده‌اند. برای مقابله با حمله‌ی لاپوشانی تراکنش‌های بازیکنان به صورت یک بازی چند مرحله‌ای مدل می‌شود. هر گره تازه وارد برای ورود به شبکه باید هزینه‌ای بپردازد. استراتژی پرداخت هزینه به این صورت تعریف می‌شود که در برابر هر بازیکن قدیمی که تا کنون از این استراتژی تخطی نکرده است، همکاری شود و با مشاهده اولین تخطی تا پایان بازی با او همکاری نشود. همچنین در مقابل هر بازیکن تازه وارد همکاری نشود مگر آنکه بازیکن تصمیم گیرنده خودش تازه وارد باشد. به منظور بهبود این طرح بیشترین تعداد بازیکنانی که در هر مرحله می‌توانند تازه وارد باشند، ضریبی از تعداد کل بازیکنان در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که این استراتژی سخت گیرانه است، زیرا تنها یک تخطی سبب می‌شود که بازیکنان همواره عدم همکاری کنند، در ادامه مقداری نوزید نیز به مدل افزوده می‌شود.

در مقاله [۱۰] نشان داده می‌شود در صورت در نظر گرفتن هزینه شناسه مناسب، استراتژی (TFT) و نسخه دیگر آن TFT احتمالی سبب تنبیه رفتار لاپوشانی می‌شوند. نویسندگان مقاله هم چنین، مدل عمل متقابل غیرمستقیم را به صورتی توسعه داده اند که در آن، تمییزدهندگان، هم‌تاهایی که براساس توصیف سیستم هم‌تا به هم‌تا عمل می‌کنند و با تازه واردان به صورت احتمالی همکاری می‌کنند، برنده بازی شوند. این مسئله با در نظر گرفتن احتمال همکاری کم با تازه واردان محقق می‌شود که منجر به کاهش کارایی اجتماعی خواهد شد.

در مقاله [۱۱]، برای مقابله با لاپوشانی‌کننده‌ها یک مکانیزم جریمه در مقابل گره‌های تازه وارد ارائه شده است. سیستم ذخیره یابی هم‌تا به هم‌تا به عنوان یک بازی تکاملی مدل می‌شود. در ادامه، دو نوع استراتژی تعریف می‌شود. در استراتژی اول، هم‌تاهایی که تمییزدهنده نامیده می‌شوند، به صورت احتمالی با یک مقدار مشخص با تازه واردان همکاری می‌کنند. در استراتژی دوم، هم‌تاهایی که فراری نامیده می‌شوند، همواره همکاری نمی‌کنند و به صورت احتمالی لاپوشانی می‌کنند. بهره کلی برای تمییزدهندگان و فراری‌ها محاسبه شده است. در نهایت، نشان داده می‌شود که کارایی اجتماعی با در نظر گرفتن مقدار خاصی برای احتمال همکاری با تازه واردان بیشینه می‌شود. قابل ذکر است که در دو مقاله [۱۰] و [۱۱]، مدل تراکنش گره‌های تمییزدهنده و لاپوشانی‌کننده ساده در نظر گرفته شده است. این در حالی است که در این مقاله مدل تراکنش گره‌های داخلی شبکه را به صورتی که هر گره بتواند نوع عادی و یا خودخواه داشته باشد، گسترش داده‌ایم.

تعداد کل همکاری‌ها و عدم همکاری‌های وی در برابر μ_2 نیز به همین ترتیب تعریف می‌شود. در اثر سپری شدن زمان و صورت گرفتن تراکنش‌های مختلف، این احتمالات با استفاده از قانون بیز به‌روزرسانی می‌شوند.

بهره‌های بازیکنان در اثر انتخاب اعمالشان در هر مرحله در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده‌است. صرف نظر از نوع گره‌ها، همکاری تنها یک گره در یک تراکنش به معنای فراهم شدن خدمات برای گره مقابل است. گره داخلی خودخواه گره‌ای است که تمایل به دریافت خدمات بیشتر و ارائه خدمات کمتر دارد. بنابراین، این گره تمایل زیادی به تراکنشی دارد که نتیجه آن عدم همکاری از جانب خودش و همکاری از جانب گره مقابلش است و از این تراکنش بیشترین سود خود را می‌برد. از آنجا که گره خودخواه تمایل کمتری برای همکاری دارد، بنابراین هزینه همکاری یک گره خودخواه در برابر گره دیگر را چه عادی و چه خودخواه باشد، بیشتر از هزینه همکاری یک گره عادی در برابر یک گره عادی دیگر در نظر می‌گیریم و آن را با C''_C نشان می‌دهیم.

	C	D	W
C	$(G_C - C''_C, G_C - C''_C)$	$(-C''_C, G_C)$	$(-C''_C, G_W)$
D	$(G_C, -C''_C)$	$(0, 0)$	$(0, G_W)$
W	$(G_W, -C''_C)$	$(G_W, 0)$	(G_W, G_W)

شکل ۲- بهره‌های بازی تک مرحله‌ای در صورتیکه هر دو بازیکن سطری و ستونی خودخواه باشند

	C	D	W
C	$(G_C - C''_C, G_C - C'_C)$	$(-C''_C, G_C + G)$	$(-C''_C, -C_W)$
D	$(G_C, -C'_C)$	$(0, G)$	$(0, -C_W)$
W	$(G_W, -C'_C)$	(G_W, G)	$(G_W, -C_W)$

شکل ۳- بهره‌های بازی تک مرحله‌ای در صورتیکه بازیکن سطری خودخواه و بازیکن ستونی عادی باشند

	C	D	W
C	$(G_C - C_C, G_C - C_C)$	$(-C_C, 0)$	$(-C_C, -C_W)$
D	$(0, -C_C)$	$(0, 0)$	$(0, -C_W)$
W	$(-C_W, -C_C)$	$(-C_W, 0)$	$(-C_W, -C_W)$

شکل ۴- بهره‌های بازی تک مرحله‌ای در صورتیکه هر دو بازیکن سطری و ستونی عادی باشند

هنگامی که میانگین شهرت گره خودخواه از یک حد آستانه کمتر شده‌است و دیگر عدم همکاری ممکن است برایش سودآور نباشد، ممکن است تصمیم به لاپوشانی (W) بگیرد. گره خودخواه باید ریسک لاپوشانی را در نظر بگیرد و با مقایسه بهره‌ی حاصل از ماندنش در شبکه و بهره‌ی حاصل از لاپوشانی تصمیم‌گیری نماید. ریسک لاپوشانی را عدم ورود به شبکه و یا دستیابی به بهره‌ای کمتر یا مساوی بهره‌ی ماندن در شبکه تعریف می‌کنیم.

گره داخلی عادی از طرف دیگر گره‌ای است که به طور کلی تمایل به همکاری دارد. بهره‌ی یک گره عادی در اثر عدم همکاری با گره عادی دیگر، خواه آن گره همکاری کرده باشد یا نکرده باشد، صفر خواهد بود. این در حالی است که عدم همکاری گره عادی در برابر گره خودخواه برای وی سودآور است، زیرا گره عادی بیشتر متمایل به عدم همکاری در برابر گره خودخواه است و در صورت همکاری با گره خودخواه، به‌طوری‌که گره خودخواه نیز همکاری کرده باشد، سودی کمتر از همکاری با گره‌های عادی به‌دست می‌آورد. بنابراین، هزینه همکاری یک گره عادی با گره خودخواه دیگر را بیشتر از هزینه همکاری وی با گره عادی دیگر در نظر می‌گیریم و این هزینه را با C'_C نشان می‌دهیم. همچنین با توجه به آنکه گره

است که گره‌های عادی به طور کلی متمایل به همکاری هر چه بیشتر با سایر گره‌های شبکه هستند.

پیش از آنکه دو گره اعمال خود را در یک تراکنش انتخاب کنند، ابتدا به شناسایی یکدیگر می‌پردازند. هر گره شناسه گره مقابل خود را در جدول شهرتش جستجو می‌کند. در صورت وجود شناسه گره مقابل در جدول شهرت خود، براساس باورش نسبت به قابلیت اعتماد گره مقابل عمل می‌کند. اگر یکی از دو گره شناسه گره مقابل خود را در جدول شهرتش در اختیار نداشته باشد، گره مقابل را یک گره تازه وارد در نظر می‌گیرد و یک شهرت اولیه به وی نسبت می‌دهد و هم چنین شهرت اولیه به همراه شناسه جدید وی را در کل شبکه توزیع می‌کند. همچنین فرض می‌کنیم دو گره تازه وارد با هم تراکنشی انجام نمی‌دهند. جدول ۱، نمادهای به کار رفته شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

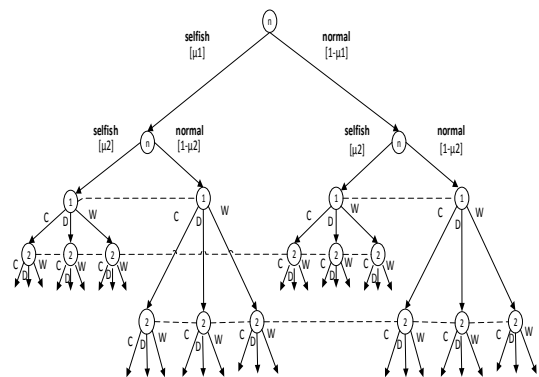
۳-۲- بازی بیزین چند مرحله‌ای

شکل ۱ فرم گسترده بازی بیزین ایستا میان دو گره داخلی شبکه را نشان می‌دهد. گره داخلی اول را با i و گره داخلی دوم را با j نشان می‌دهیم. برای هر گره دو نوع خودخواه و عادی در نظر می‌گیریم. نوع گره داخلی اول را با θ_1 و نوع گره داخلی دوم را با $\theta_2 \in \{SF, NR\}$ نشان می‌دهیم.

هر گره نوع خود را می‌داند و هیچ گره‌ای از نوع گره دیگر مطلع نیست. طبیعت تعیین می‌کند که کدام دو گره و با چه نوعی با یکدیگر بازی کنند.

هر بازی به شکل فوق در مراحل $t = 0, 1, 2, \dots$ انجام می‌شود با این ویژگی که بازیکنان به صورت هم‌زمان اعمال خود را انتخاب می‌کنند و اعمال انتخابی آنها در انتهای مرحله مربوطه آشکار می‌شوند. $a_i^t \in A_i(h^t)$ نشان‌دهنده عمل انتخابی بازیکن i در مرحله t است. هر گره اعمال خودش و سایر گره‌ها را که از تراکنش‌های قبلی صورت گرفته میان خودشان مشاهده کرده است، در یک تاریخچه در اختیار دارد.

در بازی فوق، عمل C از سوی هر بازیکن نشان‌دهنده همکاری و ارائه خدمات و عمل D نشان‌دهنده عدم همکاری و عدم ارائه خدمات به گره مقابل است. گره j هنگام انتخاب عملش در رویارویی با گره i ، با توجه به تراکنش‌های مستقیم قبلی که با وی داشته است، باورش را براساس رابطه‌ی بیز نسبت به i شکل می‌دهد. احتمال آنکه i از دیدگاه j خودخواه باشد را با μ_1 نشان می‌دهیم. به همین ترتیب، احتمال آنکه j از دیدگاه i خودخواه باشد را با μ_2 نشان می‌دهیم. μ_1 نسبت تعداد عدم همکاری‌های صورت گرفته از جانب i در برابر j به



شکل ۱- بازی تک مرحله بیزین میان دو گره داخلی شبکه

اگر نوع گره دوم خودخواه باشد، عمل D همواره از عمل C بهتر است. همچنین داریم:

$$\begin{aligned} \text{If } G_W \leq 0, E_2(D) &\geq E_2(W) \\ \text{If } G_W > 0, \mu_1 &\leq \frac{G_C - G_W}{G_C} \end{aligned} \quad (۳)$$

اگر نوع گره اول عادی باشد، همانند بررسی‌های فوق برای گره عادی دوم، می‌خواهیم عمل C برای گره عادی اول بهترین پاسخ باشد. بنابراین:

$$\text{If } E_1(C) \geq E_1(D), \mu_2 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G} \quad (۴)$$

$$\text{If } E_1(C) \geq E_1(W), \mu_2 \leq \frac{G_C - C_C + C_W}{G_C - C_C + C'_C} \quad (۵)$$

از آنجا که $(C_W > C'_C)$ رابطه‌ی (۵) همواره برقرار است.

اگر نوع گره اول خودخواه باشد، عمل D همواره از عمل C بهتر است. همچنین داریم:

$$\begin{aligned} \text{If } G_W \leq 0, E_1(D) &\geq E_1(W) \\ \text{If } G_W > 0, \mu_2 &\leq \frac{G_C - G_W}{G_C} \end{aligned} \quad (۶)$$

لم ۴. پروفایل استراتژی $((C, C), (C, C))$ تعادل نش بیزین خالص نیست.

اثبات. اگر نوع گره دوم خودخواه باشد، با توجه به جداول بهره، عمل D برای گره خودخواه دوم بهترین پاسخ است. قابل ذکر است که سایر پروفایل‌های استراتژی خالص همانند پروفایل استراتژی $((C, C), (C, C))$ قابل بررسی هستند و هیچ یک تعادل نش بیزین خالص نیستند.

لم ۵. برای بازی دو گره داخلی شبکه تعادل نش بیزین ترکیبی وجود ندارد.

اثبات. با بررسی روابط میان بهره‌ها، مشاهده می‌شود که امکان یکسان‌سازی بین بهره‌ها وجود ندارد.

با توجه به بررسی‌های فوق، دو پروفایل استراتژی زیر برای گره عادی اول و گره خودخواه اول به صورت زیر دست می‌آیند. قابل ذکر است که پروفایل استراتژی گره‌های عادی دوم و خودخواه دوم نیز به صورت متقارن به دست می‌آیند.

Algorithm 1 Normal-type player 1's PBE strategy

```
1: if  $\mu_2 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G}$  and  $\mu_1 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G}$  then
2:   Choose C
3: else
4:   Choose D
5: end if;
```

Algorithm 2 Selfish-type player 1's PBE strategy

```
1: if  $G_W < 0$ 
2:   Choose D
3: else
4:   if  $\mu_2 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G}$  and  $\mu_1 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G}$ 
5:     Choose D
6: else
7:   Choose W
8: end if;
9: end if;
```

قضیه ۱. استراتژی پروفایل‌های ارائه شده تعادل بیزین کامل هستند.

عادی تمایل به هر چه همکاری بیشتر و عدم همکاری کمتر دارد و تمایلی به انجام لاپوشانی ندارد، انجام عمل لاپوشانی برای یک گره عادی یک عمل مغلوب محسوب می‌شود.

۴- محاسبه تعادل نش بیزین

تعادل مطلوب ما برای بازی چند مرحله‌ای توصیف شده در بخش قبل، آن است که در آن از عمل لاپوشانی جلوگیری شود. در این بخش، به دنبال یافتن چنین تعادلی هستیم.

میزان بهره‌ی یک لاپوشانی‌کننده از یک بار عمل لاپوشانی به صورت زیر است:

$$G_W = P_e \cdot (E'(R_{ini})) + (1 - P_e) \cdot (0) = P_e \cdot (E'(R_{ini}))$$

همچنین، میزان بهره‌ی یک تازه وارد قانونی که آن را با G_{NC} نشان می‌دهیم، به

صورت زیر است:

$$G_{NC} = P_e \cdot (E(R_{ini})) + (1 - P_e) \cdot (0) = P_e \cdot (E(R_{ini}))$$

منظور از $E'(R_{ini})$ بهره‌ای است که گره خودخواه لاپوشانی‌کننده در اثر ورودش به شبکه به دست می‌آورد. این بهره‌ی شامل دریافت خدمات شبکه و پرداخت هزینه‌ی شناسه است. همچنین، $E(R_{ini})$ نیز بهره‌ای است که گره تازه وارد قانونی که نوعش عادی باشد، در اثر ورودش به شبکه به دست می‌آورد. این بهره نیز شامل دریافت خدمات شبکه و پرداخت هزینه‌ی شناسه است.

لم ۱. پروفایل استراتژی $((D, D), (D, D))$ در صورتی که $G_W \leq 0$ تعادل نش

بیزین خالص است.

اثبات. ابتدا فرض می‌کنیم که اعمال نوع‌های گره اول ثابت هستند و به بررسی بهترین پاسخ‌های هر یک از دو نوع گره دوم می‌پردازیم. اگر نوع گره دوم عادی باشد، با توجه به جداول بهره، عمل D برای نوع عادی گره دوم بهترین پاسخ است. اگر نوع گره دوم خودخواه باشد، با توجه به جداول بهره، در صورتی که $G_W \leq 0$ باشد، عمل D برای نوع خودخواه گره دوم بهترین پاسخ است.

اکنون فرض می‌کنیم که اعمال نوع‌های گره دوم ثابت هستند و به بررسی بهترین پاسخ‌های هر یک از دو نوع گره اول می‌پردازیم. اگر نوع گره اول عادی باشد، با توجه به جداول بهره، عمل D برای نوع عادی گره اول بهترین پاسخ است. اگر نوع گره اول خودخواه باشد، با توجه به جداول بهره، در صورتی که $G_W \leq 0$ باشد، عمل D برای نوع خودخواه گره اول بهترین پاسخ است.

لم ۲. پروفایل استراتژی $((W, D), (W, D))$ در صورتی که $G_W > 0$ تعادل

نش بیزین خالص است.

اثبات. همانند اثبات لم ۱ به راحتی بررسی می‌شود.

لم ۳. پروفایل استراتژی $((D, C), (D, C))$ تحت برقراری روابط (۱)، (۳)،

(۴) و (۶) تعادل نش بیزین خالص است.

اثبات. اگر نوع گره دوم عادی باشد، با توجه به جداول بهره، بهره‌ی گره عادی دوم وابسته به نوع گره اول است و از آنجا که با توجه به پروفایل استراتژی فوق می‌خواهیم عمل C برای گره عادی دوم بهترین پاسخ باشد، باید بررسی کنیم که تحت چه شرایطی عمل C بهترین پاسخ خواهد بود. با بررسی به نتیجه زیر می‌رسیم:

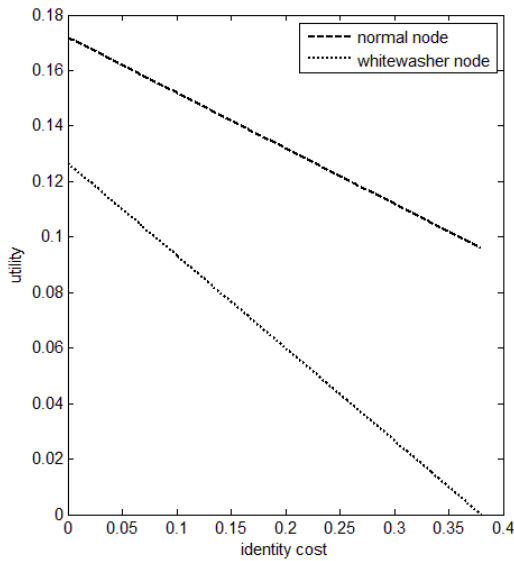
$$\text{If } E_2(C) \geq E_2(D), \mu_1 \leq \frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G} \quad (۱)$$

$$\text{If } E_2(C) \geq E_2(W), \mu_1 \leq \frac{G_C - C_C + C_W}{G_C - C_C + C'_C} \quad (۲)$$

از آنجا که $(C_W > C'_C)$ رابطه‌ی (۲) همواره برقرار است.

و لاپوشانی‌کننده را براساس تغییر هزینه‌ی شناسه مشاهده می‌کنیم. پارامترهای شبکه را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

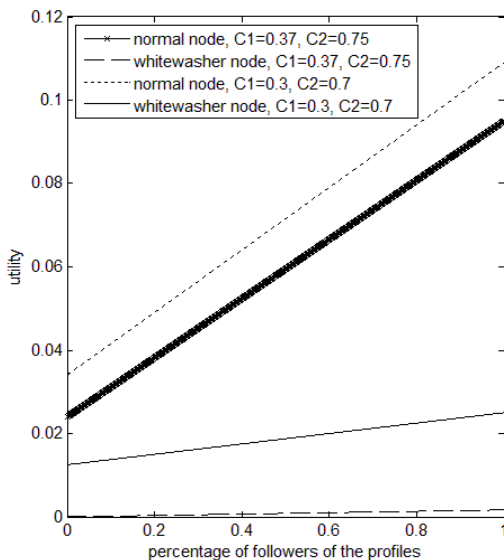
$$G_C = .75, G = .3, C_C = .15, C'_C = .2$$



شکل ۵- بهره‌گرهای عادی و لاپوشانی‌کننده براساس هزینه شناسه

با توجه به شکل فوق مشخص است که گرهای عادی همواره بر لاپوشانی‌کنندگان برتری دارند.

در شکل‌های ۶ و ۷ چگونگی تغییر بهره‌ی گرهای عادی و لاپوشانی‌کننده براساس افزایش درصد گرهای که از پروفایل‌های نش استراتژی ارائه شده در بخش قبل پیروی می‌کنند، نشان داده شده است. در این دو شکل، عدم پیروی بازیکنان از پروفایل‌های استراتژی قبلی را با انتخاب آستانه‌ای بیشتر برای ارائه‌ی خدمات به گرهای در نظر می‌گیریم. به طور دقیق‌تر به جای در نظر گرفتن مقدار آستانه‌ی $\frac{G_C - C_C}{G_C - C_C + C'_C + G}$ به منظور ارائه‌ی خدمات، از مقدار بیشتری استفاده می‌کنیم که در نتیجه‌ی آن گرهای خودخواه بتوانند نسبت به بخش قبلی تا یک مرحله بیشتر از خدمات شبکه بهره‌مند شوند و سپس بهره‌ی گرهای عادی و لاپوشانی‌کننده را همانند بخش قبل محاسبه می‌کنیم.



شکل ۶- بهره‌گرهای عادی و لاپوشانی‌کننده براساس درصد پیروی‌کنندگان از پروفایل استراتژی نش بیزین

اثبات. ابتدا نشان می‌دهیم که چهار شرط بیزین برقرار هستند [۲۴].

۱. با استفاده از شهرت بتا، از رابطه‌ی بیز برای به روزرسانی باور $\mu_i(\theta_j|h^t)$ به باور $\mu_i(\theta_j|h^{t+1})$ استفاده شده است.

۲. باورهای پسین مستقل هستند و در صورت آنکه تاریخچه اعمال انتخاب شده یکسان باشد، هر گر صرف نظر از نوعش باور یکسانی نسبت به نوع گر دیگر دارد.

۳. فرایند به روزرسانی باور $\mu_i(\theta_j|h^t)$ به باور $\mu_i(\theta_j|h^{t+1})$ تنها متأثر از اعمال بازیکن j است.

۴. همه بازیکنان باید باور یکسانی نسبت به نوع بازیکن دیگر داشته باشند. از آنجا که تنها دو بازیکن داریم، این شرط نیز برقرار است. با برقراری چهار شرط فوق و همچنین با توجه به استراتژی پروفایل‌های تعادلی به دست آمده (لم‌های ۱ تا ۵)، این قضیه اثبات می‌شود.

۴-۱- مقابله با لاپوشانی

با استفاده از الگوریتم‌های ارائه شده در قسمت قبل می‌خواهیم بهره‌ی میانگین یک لاپوشانی‌کننده را در اثر لاپوشانی محاسبه کنیم. قابل ذکر است که شهرت اولیه‌ای که به یک تازه وارد تخصیص می‌دهیم به گونه‌ای است که با انجام یک بار عدم همکاری در مرحله‌ی بعد دیگر نتواند از خدمات شبکه استفاده کند. پس از ورود تازه وارد به شبکه جداول شهرت گرهای با شناسه تازه وارد به همراه شهرت اولیه‌اش به روزرسانی می‌شوند. در آغاز ورود تازه وارد به شبکه از دیدگاه وی همه گرهای خوشه دارای شهرت $\frac{1}{2}$ هستند.

بهره‌ی یک لاپوشانی‌کننده از انجام یک بار لاپوشانی به صورت زیر خواهد بود:

$$E'(R_{ini}) = \frac{-C_1 + \frac{G_C + 0}{2}}{3}, G_W = P_e \cdot E'(R_{ini})$$

قابل ذکر است که احتمال ورود لاپوشانی‌کننده به شبکه پس از هر بار لاپوشانی ممکن است متفاوت باشد، اما بهره‌ی میانگین لاپوشانی‌کننده به صورت زیر به دست می‌آید:

$$G_W = P_e \cdot E'(R_{ini})$$

اکنون اگر بهره‌ی لاپوشانی‌کننده را برابر صفر قرار دهیم، برای یک گر خودخواه انگیزه‌ای برای لاپوشانی باقی نمی‌ماند. بنابراین هزینه‌ی شناسه یک تازه وارد را به صورت زیر تنظیم می‌کنیم:

$$C_1 = \frac{G_C}{2} \quad (7)$$

قابل ذکر است که با در نظر گرفتن هزینه شناسه طبق رابطه (۷)، گرهای تازه وارد قانونی که نوعشان عادی باشد بهره‌ی میانگین مثبت خواهند داشت و بنابراین برای ورود به شبکه دارای انگیزه خواهند بود.

۵- نتایج عددی

در بخش قبل مشاهده کردیم که با در نظر گرفتن هزینه‌ی شناسه براساس رابطه‌ی (۷)، گرهای خودخواه لاپوشانی نمی‌کنند و همچنین گرهای عادی برای ورود به شبکه انگیزه‌ی کافی را خواهند داشت. در این بخش بررسی می‌کنیم که در صورت در نظر گرفتن هزینه‌ی شناسه‌ی کمتر از رابطه‌ی (۷)، گرهای خودخواه برای انجام لاپوشانی انگیزه خواهند داشت اما بهره‌ی گرهای عادی همواره بیشتر از گرهای لاپوشانی‌کننده است. در شکل ۵ چگونگی تغییرات بهره‌ی گرهای عادی

در این مقاله، الگوی تحرک گره‌ها و ورود و خروج آنها به شبکه در نظر گرفته نشده است. همچنین تحرک گره‌ها در شبکه می‌تواند استراتژیک باشد که در این صورت تحلیل رفتار حمله کنندگان می‌تواند به عنوان یک پژوهش آتی در نظر گرفته شود. همچنین فرض می‌شود که در بازی دو گره داخلی، هر دو گره با احتمال یکنواخت با یکدیگر وارد تراکنش می‌شوند که این مسئله نیز می‌تواند استراتژیک در نظر گرفته شود و رفتار حمله کنندگان در پی آن بررسی و تحلیل شود. در این مقاله، امکان تبانی گره‌های خودخواه با یکدیگر نیز در نظر گرفته نشده است و این در حالی است که گره‌های خودخواه می‌توانند برای گرفتن خدمات از شبکه با یکدیگر تبانی کنند. بنابراین، در نظر گرفتن مسئله تبانی میان گره‌ها و بررسی و تحلیل حمل لاپوشانی نیز به عنوان یک پژوهش آتی می‌تواند مطرح شود.

مراجع

- [1] L. Buttyan, and J. Hubaux, "Nuglets: avirtual currency to stimulate cooperation in self-organized mobile ad hoc networks," Technical Report DSC/2001/001., EPFL, Lausanne, 2001.
- [2] C. J. Zhong, S. and Y. Yang, "Sprite: A simple, cheat-proof, credit-based system for mobile ad-hoc networks," 22nd IEEE Int. Conf. Computer Communications (IEEE INFOCOM03), San Francisco, CA, USA, March-April, pp. 1987-1997, 2003.
- [3] J. Cho, A. Swami, and I. Chen, "A survey on trust management for mobile ad hoc networks," Communications Surveys & Tutorials, vol. 13, no. 4, pp. 562-583, 2011.
- [4] P. Michiardi, and R. Molva, "Core: A collaborative reputation mechanism to enforce node cooperation in mobile ad hoc networks," 6th IFIP Communications and Multimedia Security Conf., Portoroz, Slovenia, September, pp. 107-121. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [5] S. Buchegger, and J. Le Boudec, "A robust reputation system for p2p and mobile ad-hoc networks," 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, Cambridge, MA, USA, June, pp. 119-123. ACM, 2004.
- [6] J. Liu, and V. Issarny, "Enhanced reputation mechanism for mobile ad hoc networks," 2nd Int. Conf. on Trust Management, Oxford, UK, March-April, pp. 48-62. Springer, 2004.
- [7] F. Hendrikx, K. Bubendorfer, and R. Chard, "Reputation systems: A survey and taxonomy," Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 75, pp. 184-197, 2015.
- [8] K. Homan, D. Zage, and C. Nita-Rotaru, "A survey of attack and defense techniques for reputation systems," ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 42, no. 1, pp. 1:1-1:31, 2009.
- [9] M. Fallah, and M. Mouzarani, "A game-based sybil-resistant strategy for reputation systems in self organizing manets," The Computer Journal, Oxford Univ. Press, vol. 54, no. 4, pp. 537-548, 2011.

پارامترهای شبکه را در شکل ۶ و ۷ به ترتیب به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$G_C = .75, G = .3, C_C = .15, C'_C = .2$$

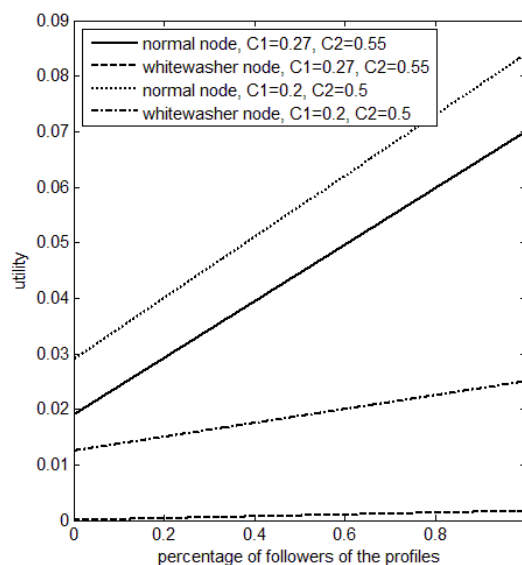
$$G_C = .55, G = .2, C_C = .1, C'_C = .15$$

قابل ذکر است که C_1 هزینه شناسه با توجه به پیروی از پروفایل‌های بخش قبلی است و C_2 هزینه شناسه با توجه به عدم پیروی از پروفایل‌های بخش قبلی است. این دو هزینه را یکبار طوری در نظر گرفته‌ایم که حمله‌ی لاپوشانی رخ ندهد و بار دیگر طوری در نظر گرفته‌ایم که حمله‌ی لاپوشانی رخ دهد.

با توجه به دو شکل ۶ و ۷ مشخص است که با افزایش درصد گره‌های پیروی کننده از پروفایل‌های استراتژی ارائه شده در بخش قبل، بهره‌ی گره‌های عادی و بهره‌ی لاپوشانی کنندگان نیز افزایش می‌یابد. همچنین با مقایسه دو شکل ۶ و ۷ درمی‌یابیم که با افزایش سود حاصل از همکاری، بهره‌ی گره‌های عادی نیز افزایش می‌یابد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده از نظریه‌ی بازی ابتدا نحوه تراکنش گره‌های داخلی شبکه با استفاده از بازی‌های بیزین مدل شده و سپس با به دست آوردن تعادل نش بیزین، پروفایل استراتژی گره‌های خودخواه و گره‌های عادی ارائه شد. براساس پروفایل‌های استراتژی، گره عادی باور خود را نسبت به گره مقابلش شکل می‌دهد و براساس این باور همکاری و یا عدم همکاری را برمی‌گزیند. گره خودخواه نیز در صورتی که بهره‌ی حاصل از لاپوشانی بیشتر از بهره‌ی ماندنش در شبکه باشد، لاپوشانی می‌کند.



شکل ۷- بهره گره‌های عادی و لاپوشانی کننده براساس درصد پیروی کنندگان از پروفایل استراتژی نش بیزین با سود همکاری کمتر

به منظور مقابله با حمله‌ی لاپوشانی هزینه‌ی دریافت شناسه از شبکه را به میزانی در نظر گرفتیم که در نتیجه‌ی آن گره‌های خودخواه برای انجام حمله‌ی لاپوشانی انگیزه‌ای نداشته باشند و همچنین گره‌های عادی نیز برای ورود به شبکه از انگیزه‌ی کافی برخوردار خواهند بود. در نهایت، با تحلیل پارامترهای شبکه مشاهده کردیم که حتی در صورت انجام شدن حمله‌ی لاپوشانی، بهره‌ی گره‌های عادی همواره بیشتر از بهره‌ی گره‌های لاپوشانی کننده است. با افزایش درصد پیروی کنندگان از پروفایل‌های نش بیزین، بهره‌ی گره‌های عادی و لاپوشانی کنندگان نیز افزایش می‌یابد.

[21] E. Friedman, P. Resnick, and R. Sami, "Manipulation-resistant reputation systems," In Nisan, N., Roughgarden, T., Tardos, E., and Vazirani, V. (eds.), *Algorithmic Game Theory*, pp. 677-697, 2007.

[22] A. Jsang, and R. Ismail, "The beta reputation system," *Proceedings of the 15th bled electronic commerce conference*, June, pp. 2502-2511, 2002.

[23] J. Liu, and V. Issarny, "An incentive compatible reputation mechanism for ubiquitous computing environments," *International Journal of Information Security*, vol. 6, no. 5, pp. 297-311, 2007.

[24] D. Fudenberg, and J. Tirole, *Game theory*. Cambridge, Massachusetts, 1991.

شبیم سراجی فارغ‌التحصیل رشته مهندسی فناوری

اطلاعات گرایش امنیت اطلاعات از دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه صنعتی امیرکبیر در سال ۱۳۹۳ است. رمزنگاری، امنیت شبکه، شبکه‌های بی‌سیم و استفاده از نظریه بازی در تحلیل موضوعات امنیتی و نرم‌افزاری از زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان است.



آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

shabnam.seradji@aut.ac.ir

مهران سلیمان فلاح دانشیار مهندسی کامپیوتر در

دانشگاه صنعتی امیرکبیر است. موضوعات پژوهشی مورد علاقه او در حوزه تحلیل و راستی آزمایی سیستم‌های امنیت اطلاعات است. استفاده از نظریه بازی در تحلیل و طراحی سیستم‌های مقاوم در مقابل حمله‌های امنیتی و نیز امنیت مبتنی بر زبان‌های برنامه‌سازی محور اصلی پژوهش او در سال‌های اخیر بوده است.



آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

msfallah@aut.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۴/۰۳/۲۷

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۴/۰۴/۰۱

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۴/۰۴/۲۰

نویسنده مرتبط: شبیم سراجی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

[10] M. Feldman, and J. Chuang, "The evolution of cooperation under cheap pseudonyms," *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on E-Commerce Technology*, Washington, DC, USA, July, vol. 24, no. 5, pp. 284-291, 2005.

[11] N. Oualha, and Y. Roudier, "A game theoretical approach in securing P2P storage against whitewashers," *18th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructures for Collaborative Enterprises. WETICE'09.*, Groningen, June, pp. 128-133. IEEE, 2009.

[12] A. M. Kudtarkar, and S. Umamaheswari, "Avoiding whitewashing in P2P networks," *First International Communication Systems and Networks and Workshops, COMSNETS*, 2009.

[13] M. Feldman, C. Papadimitriou, J. Chuang, and I. Stoica, "Free-riding and whitewashing in peer-to-peer systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, pp. 1010-1019, 2006.

[14] J. Chen, H. Lu, and S. Bruda, "A solution for whitewashing in P2P systems based on observation preorder," *International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, NSWCTC'09.*, Wuhan, Hubei, April, pp. 547-550, 2009.

[15] C. Zuo, J. Zhou, and H. Feng, "A novel multi-level trust model to improve the security of P2P networks," *3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, Chengdu, July, pp. 100-104, 2010.

[16] S. Abbas, M. Merabti, and D. Llewellyn-Jones, "Deterring whitewashing attacks in reputation based schemes for mobile ad hoc networks," *Wireless Days (WD), IFIP*, Venice, October, pp. 1-6, 2010.

[17] X. Yu, and S. Fujita, "Whitewash-aware reputation management in peer-to-peer file sharing systems," *The 18th International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA 2012)*, Las Vegas, January, (WorldComp), 2011.

[18] R. Barra de Almeida, M. Natif, J. Augusto, A. Couto da Silva, and A. Borges Vieira, "Pollution and whitewashing attacks in a P2P live streaming system: Analysis and counter-attack," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Budapest, June, pp. 2006-2010, 2013.

[19] W. Luo, J. Liu, J. Xiong, and L. Wang, "Defending against whitewashing attacks in peer-to-peer file-sharing networks," *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Engineering and Networks*, pp. 1087-1094, 2015.

[20] F. Li, Y. Yang, and J. Wu, "Attack and flee: game-theory-based analysis on interactions among nodes in manets," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 40, no. 3, pp. 612-622, 2010.

نسخه نهائی مقالات ارسالی برای چاپ در نشریه "علوم رایانش و فناوری اطلاعات" باید بر طبق اصول مطرح شده در این راهنما تهیه شده باشد. رعایت این اصول در نسخه اولیه نیز قویاً توصیه می‌شود. مقالات به زبان فارسی ارسال گردد.

۱- ساختار مقاله

- عنوان: کوتاه و معرف محتوای مقاله باشد و از ۱۵ کلمه تجاوز نکند.
- نام نویسندگان و مؤسسه محل اشتغال آنان: از ذکر عناوین خودداری شود.
- چکیده فارسی: حاوی تعریف مسأله، روش حل، و نتایج مهم باشد و از ۱۵۰ کلمه تجاوز نکند.
- واژه‌های کلیدی: حداکثر ۱۰ کلمه
- بدنه اصلی مقاله: بدنه اصلی با "مقدمه" شروع و با "نتیجه‌گیری" خاتمه می‌یابد. بخش‌ها و زیربخش‌های بدنه اصلی باید شماره‌گذاری شوند.
- شماره "مقدمه" یک خواهد بود.
- تشکر و قدردانی (در صورت نیاز).
- مراجع: مراجع به ترتیبی که در متن به آنها رجوع می‌شود آورده شوند. نام مؤلفان مراجع در صورت لزوم در متن بصورت فارسی آورده شود. رجوع به مراجع با ذکر شماره آنها در داخل کروشه ([]) انجام پذیرد.
- پیوست‌ها (در صورت نیاز)
- واژه‌نامه (در صورت نیاز)
- برای مقالات فارسی، عنوان مقاله، نام نویسندگان، مؤسسه محل اشتغال، چکیده، و کلمات کلیدی به زبان انگلیسی نیز در صفحه‌ای جداگانه داده شود.
- بیوگرافی کامل نویسندگان به زبان فارسی به همراه عکس

۲- معادله‌ها، شکل‌ها، جدول‌ها، و عکس‌ها

- معادله‌ها باید با فاصله کافی از بالا و پائین تایپ و به صورت متوالی شماره‌گذاری شوند. شماره معادله در پرانتز در انتهای سمت راست سطر حاوی معادله قرار داده شود. معادلات دستنویس به هیچ شکل قابل قبول نیستند.
- شکل‌ها و جدول‌ها باید دارای شماره و عنوان باشند. در شکل‌ها شماره و عنوان در زیر شکل و در جدول‌ها در بالای شکل قرار می‌گیرد. اعداد و متون روی شکل‌ها و جدول‌ها باید دارای اندازه مناسب و کاملاً خوانا باشند.
- اعداد و کلمات روی شکل‌ها و جدول‌ها در مقالات فارسی به زبان فارسی باشند.
- عکس‌ها سیاه و سفید، برقی، و با کیفیت عالی باشند.

۳- نحوه نگارش مراجع

در لیست مراجع انواع مختلف مرجع‌ها به شکل زیر نوشته شوند:

[۱] ب. مقدم، ا. تقوی، و ن. طاهری، آشنائی با شبکه‌های کامپیوتری، چاپ دوم، انتشارات نصر، تهران، ۱۳۷۵.

[۲] ی. براون، مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی، ترجمه م. ع. آرام، انتشارات فجر، مشهد، ۱۳۷۰.

[۳] راهنمای کاربران حسابر، شرکت پردازش رایانه‌ای ایران، تهران، ۱۳۶۵.

- [۴] ج. عارف، استنتاج فازی بوسیله شبکه‌های عصبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی شهر، ۱۳۷۴.
- [۵] ج. حسینی، و.ح. ربانی، "تشخیص چهره انسان در تصویر"، نشریه امیرکبیر، سال هشتم، شماره ۴۲، ص ۱۲۵-۱۴۷، ۱۳۷۷.
- [۶] ج. حسینی، و.ح. ربانی، "تشخیص چهره انسان در تصویر"، در مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، ص ۲۲۴-۲۳۲، ۱۳۸۰.

- [7] M. A. Ahmadi, and M. H. Rahimi, *Fuzzy Set Theory*, New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
- [8] M. A. Ahmadi, M. H. Rahimi, and A. Fatemi, "Evidence-Based Recognition of 3D Objects," *IEEE Trans. Patt. Anal. and Mach. Intell.*, vol. 12, no. 10, pp. 811-835, 1994.
- [9] A. Taheri, "On-Line Fingerprint Verification," *Proc. IEEE Intl Conf. Pattern Recognition*, pp. 752-758, 1992.
- [10] M. A. Ahmadi, *On-line Fingerprint Verification*, Ph. D. Dissertation, MIT, Cambridge, MA, 1982.
- [11] A. J. Washington, "The Fingerprint of MalcomX," <http://www.dermatoglyphics.com>, June 2003.
- [12] International Biometrics Group, <http://www.biometricgroup.com>, May 2003.

۴- واژه‌نامه

هر واژه خارجی در واژه‌نامه در **انتهای مقاله** با شماره‌ای مشخص شود و شماره در معادل فارسی آن واژه در متن، بصورت بالانویس آورده شود.

۵- آماده‌سازی مقاله

- مقاله را با نرم‌افزار Word تایپ نمائید.
- متن چکیده به صورت تک ستونی با طول سطر ۱۸ سانتیمتر و متن مقاله به صورت دو ستونی با طول هر ستون ۸۷ میلیمتر و فاصله دو ستون ۶ میلیمتر تایپ شود. حاشیه‌ها از بالا و پائین برابر ۲۰ میلیمتر و از طرفین برابر ۱۵ میلیمتر اختیار شود.
- فاصله عنوان مقاله در صفحه اول از بالای صفحه برابر ۸۵ میلیمتر باشد و عنوان وسط چین شود.
- کلیه عناوین بصورت پررنگ با قلم **"B Nazanin"** تایپ شوند، اندازه قلم عنوان مقاله ۱۸، عناوین سطح اول ۱۴، و عناوین سطح دوم و سوم ۱۲ انتخاب شوند.
- متن چکیده‌ها با قلم **"B Nazanin"** اندازه ۹، متن مقاله با قلم **"B Nazanin"** اندازه ۱۰، و کلمات و متن انگلیسی با قلم **Times New Roman** اندازه ۹ تایپ شوند.
- تمام متن بصورت تک فاصله تایپ شود. اسامی نویسندگان از عنوان مقاله و اسامی نویسندگان از عناوین محل اشتغال نویسندگان دو خط فاصله داشته باشد. بالای هر عنوان یک سطر فاصله قرار داده شود.
- سعی شود تعداد صفحات مقاله از ۳۰ صفحه بیشتر نباشد.

۶- نحوه ارسال مقاله

- ارسال مقاله فقط از طریق ایمیل مجله (csitjour@gmail.com) انجام شود.
- مقاله ارسالی برای نشریه علوم رایانش و فناوری اطلاعات نباید در جای دیگری به چاپ رسیده باشد و یا در زمان بررسی توسط نشریه برای چاپ به نشریه دیگری ارسال گردد.
- پس از قبول مقاله، نسخه نهائی تصحیح شده مقاله باید در قالب‌های Word و PDF به نشریه ارسال گردد.
- در نسخه نهائی باید بیوگرافی کلیه نویسندگان (به زبان فارسی) و عکس آنها در انتهای مقاله قرار داده شود، همچنین عنوان مقاله، نام نویسندگان، مؤسسه محل اشتغال، چکیده، کلمات کلیدی به زبان انگلیسی در فایل جداگانه ارسال شود.

Frustrating Whitewashing in Reputation Systems using Game Theory

Shabnam Seradji

Mehran Soleiman Fallah

Department of Computer Engineering and Information Technology, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Reputation systems have been proposed as a means to encourage cooperation among the nodes of ad hoc networks and peer-to-peer systems. Well-reputed nodes are considered trustworthy and receive network services based on their reputation. Reputation systems, however, are vulnerable to a number of attacks such as whitewashing due to the availability of cheap pseudonyms and the initial reputation assigned to a newcomer.

In this thesis, we focus on the whitewashing attack and the way one may improve the solutions proposed to frustrate it. To this end, we present a game model of the interactions between two internal nodes of a MANET. It is a Bayesian game involving the possible types of a node, selfish and normal. Then, we find a perfect Bayesian equilibrium of the game. The analysis of the equilibrium shows that by deciding on appropriate identity cost the attack can be prevented while normal nodes remain motivated to enter to the network.

Keywords: Game Theory, Mobile ad Hoc Networks, Peer to Peer Systems, Reputation Systems, Trust Management, Whitewashing.

Toward Evaluation of Self-Adaptive Systems

Eslam Nazemi¹ Hossein Sadr² Mozhdeh Nazari Soleimandarabi³

¹Computer Engineering and Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Electrical, Computer and IT Engineering, Qazvin Islamic Azad University, Qazvin, Iran

³Department of Computer Engineering, Rasht Islamic Azad University, Rasht, Iran

ABSTRACT

In the last decades, employing self-adaptive systems in the field of software engineering has been considerably increased. In this regard, with the aim of improving self-adaptive systems and using all their benefits and features, we require tools and methods that can effectively evaluate self-adaptive systems not only at design time but also at run-time. Notably, evaluation is considered as one of the most important factors for understanding the success of any software. On the other hand, despite the growing use of self-adaptive systems their evaluation has been rarely taken into account and most of the studies do not consider variability characteristics of these systems at run-time. Moreover, quality attributes and their corresponding metric presented for evaluating these systems are limited and do not deliberate all adaptive features of these systems. To fill these lacuna, a framework for evaluating a self-adaptive system is presented in this paper which is achieved based on a detailed analysis of the range of studies carried in this field. Therefore, in the beginning adaptive characteristics which are the main reason of creating a self-adaptive systems are identified and mapped into their corresponding quality attributes which are known as the best measures for evaluating a software system. In the following, quality metrics of these quality attributes are presented. It must be noted that presented quality attributes and their corresponding metrics are specific for self-adaptive systems and presented framework can be considered as a comprehensive foundation for evaluating self-adaptive systems.

Keywords: Self-Adaptive Systems, Evaluation, Verification and Validation, Efficiency, Reliability, Security.

Problems and Solutions to Improve TCP Performance over Wireless Networks

Maryam Shafiei

Naser Yazdani

Masoud Rahgozar

Department of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT

Transmission Control Protocol (TCP) is the most commonly used transport protocol on the Internet. Unfortunately, TCP performance in wireless environments suffers from severe degradation. Because TCP was originally designed for wired networks. In recent years, many schemes have been proposed to resolve the problems of TCP in wireless environments. In this article we have tried to consider all the problems that have negative impact on the performance of wireless networks. We classify this problems into two categories: Problems arising from the structure of TCP's algorithm and Problems caused by the characteristics of the wireless environment. Also Commensurate with the problems and base on two pion of view, we classify the proposed solutions into two categories: TCP for different wireless applications and implementation of wireless TCP. From the application point of view, the most common wireless networks include satellite networks, ad hoc networks, and general wireless platforms such as wireless LANs and cellular systems. Also the second category is divided into the five following categories: split connection, reactive congestion control, proactive congestion control, link layer and cooperation between the layers. We discuss the intuition behind each solution and present example protocols of each category. We discuss the protocols functionality, their strengths and weaknesses. Finally we compare these methods. In additional we propose a new end-to-end congestion control algorithm named VECU that is effective and efficient for dealing with random bit error. VECU monitors the network congestion level and use from this to Detects whether packet loss is due to congestion or link error (losses due to the characteristics of the wireless environment). We use a function of degree three as window growth function. Due to this, when the current size of the window is far from the available capacity of the path, the window size grows fast and increases slowly otherwise. VECU is fair and allocates bandwidth fairly among flows with different RTTs. VECU can be very scalable and stable and fair with standard TCP flows. Also flows fully utilize the link. VECU is end to end and only need to change the sender side without any change in the receiver or in the network.

Keywords: Problems of TCP Protocol, Improving TCP Performance, VECU, Wireless Environment.

A Method to Decrease Data Classification with Weighting Technique in SVM+

Arash Gorbannia Delavar

Zahra Jafari

Technical college of Payame Noor, Tehran, Iran

ABSTRACT

SVM is a learning algorithm related to data analysis and detection of patterns that used for classification. But the important thing is that duplicate data and real-time processing has not been correctly calculated. That's why, we have presented a method for decreasing of data classification using weighting techniques in SVM+. In Comparison with SVM+ this proposed approach has optimal response time. We could divide the range size by observing the parameter data volumes and density with this classification in comparison with the examined case reduces running time of SVM+ algorithm.

Also with the objective function of the proposed method of integration of the parameters and partition data we were able to reduce, data duplication in comparison with SVM+ and eventually we define threshold detector to qualification to reduce processing time and increase speed of data processing. Finally, the proposed algorithm with the techniques of the SVM + weighting function is optimized in terms of efficiency.

Keywords: Data Mining, SVM (Support Vector Machine), Data Classification, Duplicate Data, Density, Threshold Detector (TD).

Vision-Based Real-Time Vehicle Tracking and Counting in Urban Traffic Scenarios

Aminollah Mahabadi

Department of Electrical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ABSTRACT

This paper presents a novel fast automatic urban traffic system for a real-time vehicle detection, recognition, tracking and classifying with lane tracking, lane occlusion and forward vehicle detection capabilities using color video cameras by virtual sensor installation. The presented objective robust system automatically extracts background image, adapts and tunes with fast and slow lighting and physical environments variation, and camera position and calibration, especially environmental shadow and vehicle (self and cast) shadow elimination with perturbed wind speed. The experimental results of system on many video color images achieved a high counting performance of 99.8% for vehicle detection with corresponding classification rate of 91%. Better performance with improvement in speed and accuracy has been reported while limitations in the distance of camera, angle of view, illumination conditions are set with low background complexity.

Keywords: Vehicle Detection, Vehicle Classification, Lane Departure Warning (LDW), Urban Traffic, Intelligent Transportation Systems (ITS).

A Novel Link Prediction Method in Social Networks Based-on Gravitational Search Algorithm

Esmail Bastami

Aminollah Mahabadi

Department of Electrical Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this paper we present a novel distributed link prediction method for social networks that is scalable and using structural properties of the network for its predictions without need to any profile. This is an agent-oriented modeling which doing good community detection and using the gravitational search algorithm to select candidate links between communities. The experimental results of prediction on various data sets show that the proposed method is scalable with on average 69% precision and 68% accuracy. Also, better scalability with improvement in speed, precision and accuracy has been reported by selecting an appropriate or optimize CPU allocation.

Keywords: Link Prediction, Gravitational Search Algorithm (GSA), Social Networks, Agent-Oriented, Distributed Model.

The CSI Journal on Computing Science and Information Technology

Vol. 13	No. 1	2015
----------------	--------------	-------------

ABSTRACTS

- **A Novel Link Prediction Method in Social Networks Based-on Gravitational Search Algorithm 1**
Esmaeil Bastami and Aminollah Mahabadi
- **Vision-Based Real-Time Vehicle Tracking and Counting in Urban Traffic Scenario 2**
Aminollah Mahabadi
- **A Method to Decrease Data Classification with Weighting Technique in SVM+ 3**
Arash Gorbannia Delavar and Zahra Jafari
- **Problems and Solutions to Improve TCP Performance over Wireless Networks 4**
Maryam Shafiei, Naser Yazdani and Masoud Rahgozar
- **Toward Evaluation of Self-Adaptive Systems 5**
Eslam Nazemi, Hossein Sadr and Mozhdeh Nazari Solimandarabi
- **Frustrating Whitewashing in Reputation Systems using Game Theory 6**
Shabnam Seradji and Mehran Soleiman Fallah

The CSI Journal on Computing Science and Information Technology

A Semiannual Publication of Computer Society of Iran (CSI)

Editor-in-Chief

A. Khonsari, Associate Professor, University of Tehran, Tehran, Iran.

Editorial Board

H. R. Rabiee, Professor, Sharif University of Technology, Iran
H. Sarbazi-azad, Professor, Sharif University of Technology, Iran
K. Faez, Professor, Amirkabir University of Technology, Iran
A. Ghaffarpour Rahbar, Professor, Sahand University of Technology
E. Kabir, Professor, Tarbiat Modares University, Iran
K. Navi, Professor, Shahid Beheshti University, Iran
N. Yazdani, Professor, University of Tehran, Iran
M. H. Yaghmaee Moghaddam, Professor, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
M. Analoui, Associate Professor, Iran University of Science & Technology, Iran
M. Ebrahimi Moghaddam, Associate Professor, Shahid Beheshti University, Iran
H. Asadi, Associate Professor, Sharif University of Technology, Iran
A. Akbari, Associate Professor, Iran University of Science & Technology, Iran
R. Berangi, Associate Professor, Iran University of Science & Technology, Iran
H. Pedram, Associate Professor, Amirkabir University of Technology, Iran
N. Moghadam Charkari, Associate Professor, Tarbiat Modares University, Iran

G. Jaberipur, Associate Professor, Shahid Beheshti University, Iran
J. Habibi, Associate Professor, Sharif University of Technology, Iran
A. H. Jahangir, Associate Professor, Sharif University of Technology, Iran
S. Hesabi, Associate Professor, Sharif University of Technology, Iran
S. H. H. S. Javadi, Associate Professor, Shahed University, Iran
M. Rahgozar, Associate Professor, University of Tehran, Iran
M. Sedighi, Associate Professor, Amirkabir University of Technology, Iran
H. Faili, Associate Professor, University of Tehran, Iran
A. Ghasemi, Associate Professor, K.N. Toosi University of Technology, Iran
M. Abbaspour, Associate Professor, Shahid Beheshti University, Iran
M. Abdollahi Azgomi, Associate Professor, Iran University of Science & Technology, Iran
M. Kargahi, Associate Professor, University of Tehran, Iran
M. Goudarzi, Associate Professor, Sharif University of Technology, Iran
N. Mozayani, Associate Professor, Iran University of Science & Technology, Iran

Assistants

L. Nourani, Publication Assistant
M. Dolati, Editorial Assistant

Disclaimer: Publication of papers in CSI-CSIT does not imply that the editorial board, reviewers, or CSI-CSIT accept, approve or endorse the data and conclusions of authors.