



افزایش گذردهی در شبکه‌های موردی به وسیله مدل صف چابکی با در نظر داشتن احتمالات اختصاص اولیه

ابوالفضل دیانت^۱

احمد خونساری^{۱و۲}

محمد امین کشتکار^۱

^۱ دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ پژوهشکده علوم کامپیوتر، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)، تهران، ایران

چکیده

شبکه‌های موردی بی‌سیم از دیرباز مورد توجه محققان و صاحبان صنعت بوده است. با گذشت زمان این شبکه‌ها حوزه‌های متفاوتی از صنایع و کاربردها را در بر گرفته است و نوع خاصی از این شبکه‌ها با نام شبکه‌های اقتضایی بین خودرویی وارد صنعت خودرو شده است. در این مقاله به مدل‌سازی تأخیر و دست‌یابی به گذردهی بالاتر در شبکه‌های اقتضایی بین خودرویی، به کمک بهره‌مندی از فن‌آوری‌های مختلف دسترسی بی‌سیم می‌پردازیم. برای تحقق این امر، مدل‌سازی و محاسبه تأخیر را به کمک یکی از مدل‌های تئوری صف بانام "چابکی" انجام داده‌ایم و برای کاهش زمان تأخیر ارسال بسته‌ها روش جدیدی ارائه گردیده که در آن خودروها از چند تکنولوژی دسترسی بی‌سیم به صورت همزمان بهره می‌برند و بدین ترتیب بسته‌های داده بین چند صف که هر کدام به یک رابط ارتباطی بی‌سیم متصل است پخش می‌شوند و سپس به خودروهای مقصد فرستاده می‌شوند. این بسته‌ها با توجه به اینکه با چه احتمالی در ابتدا به صف‌های کوتاه‌تر ارسال اختصاص یابند، منجر به تأخیرهای متفاوتی می‌گردند که در مقاله به آن پرداخته شده است. این مدل‌سازی نهایتاً موجب کاهش مدت زمان انتظار بسته‌های داده در صف‌ها می‌شود. پس از حل مدل ریاضی مسئله، که در آن حالت توزیع ایستا نیز محاسبه گردیده، نتایج حاصل از شبیه‌سازی، که تکنیک چندرادیویی با مدل صف مذکور را با کارهای پیشین مقایسه می‌کند، نشان‌دهنده کاهش چشمگیر زمان تأخیر ارسال بسته‌ها و افزایش گذردهی کلی شبکه است.

کلمات کلیدی: شبکه اقتضایی بی‌سیم، شبکه اقتضایی بین خودرو، مدل صف چابکی، چند رادیویی.

۱- مقدمه

است که در آن خودروها به‌عنوان گره‌های سیار مورد استفاده قرار گرفته و امکان برقراری ارتباط بین خودروها و ایستگاه‌های کنار جاده‌ای (RSU)^۲ و همچنین بین خود خودروها را فراهم می‌سازد. [۱۳] [۱۴] ساختار شبکه‌های VANET دارای ویژگی‌های ذاتی است که آن را از سایر شبکه‌ها متفاوت می‌سازد: برقراری ارتباطات با سرعت بالا بین خودروها و فراهم‌کنندگان سرویس در هر زمان و کمبود رابط‌های ارتباطی یک دست بین تولیدکنندگان خودروها. برای رفع این نیازمندی‌ها، تلاش‌های زیادی در انجمن ارتباطات موسسه مهندسان برق و الکترونیک^۴ برای تعیین و تعریف مجموعه‌ای از پروتکل‌های استاندارد، معماری، سرویس‌ها و رابط‌های ارتباطی صورت گرفته که مجتمعاً منجر به برقراری ارتباط امن بی‌سیم بین خودرو-خودرو (V2V)^۵ و بین زیرساخت-خودرو (V2I)^۶ که با نام

شبکه‌های موردی سال‌هاست که مورد توجه پژوهشگران در زمینه‌های مختلف است و حوزه‌های کاربردی مختلفی را نیز در بر گرفته است. این شبکه‌ها شامل مجموعه‌ای از گره‌های توزیع شده‌اند که با همدیگر به طور بی‌سیم ارتباط دارند. گره‌ها می‌توانند کامپیوتر میزبان یا مسیریاب باشند، به‌طور مستقیم بدون هیچگونه نقطه دسترسی با همدیگر ارتباط برقرار کنند، سازمان ثابتی ندارند و بنابراین در یک توپولوژی دلخواه شکل گرفته‌اند. این شبکه‌ها دارای دو نوع نسبتاً مجزا با نام شبکه‌های حسگر بی‌سیم و شبکه‌های اقتضایی سیار می‌باشد. شبکه‌های اقتضایی بین خودرویی (VANETs)^۱ نوعی از شبکه‌های اقتضایی سیار (MANETs)^۲

۲- کارهای مرتبط

۲-۱- پیش‌زمینه

نوع ارتباطات موجود در شبکه‌های VANET به دلیل ماهیت خاص این شبکه که قبل اشاره شد قابل تقسیم به چهار دسته زیر می‌باشد. [۱۱]

ارتباطات خودرو- خودرو (V2V): در این نوع ارتباط، خودروها تلاش می‌کنند تا بتوانند با استفاده از رابط‌های ارتباطی خود یک شبکه نظیر به نظیر را تشکیل دهند و به ردوبدل اطلاعات بپردازند. رابط‌های ارتباطی مورد استفاده در این نوع عموماً مبتنی بر DSRC و یا 802.11a/b/g/n می‌باشند. [۱۳]

ارتباطات خودرو- ایستگاه کنار جاده‌ای (V2R): این دسته از شبکه اقتضایی شامل خودروهای متحرک و ایستگاه‌های ارتباطی کنار جاده‌ای می‌شود. تکنولوژی‌های مورد استفاده در این نوع شامل DSRC, WiMAX, 802.11a/b/g/n می‌شوند.

ارتباطات خودرو- زیرساخت (V2I): خودروها می‌توانند با زیرساخت‌های ارتباطی موجود برای پوشش طیف وسیع‌تری از برد رادیویی ارتباط برقرار کنند. تکنولوژی مورد استفاده در این نوع ارتباطی عموماً از نوع شبکه‌های سلولی (LTE, LTE Advance) می‌باشد. [۱۳]

دیگر انواع ارتباطات: در برخی منابع پژوهشگران نوع دیگری از ارتباطات را نیز مدنظر قرار داده‌اند. مانند ارتباط بین خودرو با دستگاه‌های شامل پهنای باند ابری^{۱۱} که در آن خودرو با یک مرکز داده ارتباط برقرار می‌کند و به ارسال و دریافت اطلاعات می‌پردازد. [۱۰]

امروزه کمپانی‌های سازنده خودرو قادر به استفاده از فناوری‌های دسترسی بی‌سیم متفاوتی بر روی خودروها هستند. این تکنولوژی‌ها با هدف افزایش ایمنی جاده‌ها، بهره‌وری ترافیک و فراهم آوردن آرامش رانندگان و مسافران به‌وسیله برنامه‌های کاربردی ایمنی و غیرایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعضی از این تکنولوژی‌ها بر یک ساختار مرکزی برای ارتباطات بین خودروها تکیه دارد و در مقابل برخی دیگر به‌صورت اقتضایی (همکاری توزیع شده) عمل می‌کنند. در زیر مختصر لیستی از فناوری‌های اصلی دسترسی بی‌سیم که در شبکه‌های VANET قابل استفاده هستند بیان می‌گردد. [۱۷] [۱۸]

سیستم‌های سلولی (2/2.5/2.75/3G): نکته اصلی در مورد سیستم‌های سلولی استفاده مجدد از فرکانس‌های محدود در دسترس، برای ارائه سرویس می‌باشد. ارتباطات سیستم جهانی سیار (GSM) یکی از استانداردهای سیستم سلولی است که ماکزیمم نرخ تبادل داده 9.6 Kbps را به دست می‌دهد. نسل دوم و سوم و چهارم این تکنولوژی با نام‌های 2G, 3G, 4G نیز هم‌اکنون با نرخ ارسال داده بالاتر قابل استفاده است. [۴]

پروتکل ارتباطی بی‌سیم (WLAN/WiFi(802.11a/b/g/n): دسترسی بی‌سیم به‌صورت WiFi ارتباطات از نوع V2I و V2V را ممکن می‌سازد. استاندارد 802.11a در باند 5GHz و با نرخ داده 54Mbps و طول برد ۳۸ متر برای ارتباطات داخلی و ۱۴۰ متر برای ارتباطات بیرونی قابل دسترسی است. سایر پیشرفت‌ها در استانداردهای بعدی نظیر IEEE802.11b/g/n موجب بالاتر رفتن نرخ ارسال داده و بهبود مسائل امنیتی است.

پروتکل ارتباطی بی‌سیم WiMAX: این پروتکل که در سال ۲۰۰۴ توسط موسسه IEEE پذیرفته شد و با عنوان استاندارد IEEE802.16 شناخته می‌شود پوشش رادیویی وسیع‌تری (تا ۱۵ کیلومتر) با نرخ ارسال داده بالا و قابل اطمینان به کاربران ارائه می‌دهد.

دسترسی بی‌سیم در محیط‌های خودرویی (WAVE)^{۱۲} شناخته می‌شود شده است. این نوع ارتباط بر پایه استانداردهای IEEE 802.11p و IEEE 1609 می‌باشد. [۱۰] [۱۲]

با توجه به افزایش روزافزون حجم اطلاعات و محبوبیت دستگاه‌های ارتباطی سیار، تقاضا برای افزایش میزان پهنای باند از سوی کاربران افزایش یافته و توجه بسیاری از محققان بر روی انتقال حداکثری جریان اطلاعات با زمان تأخیر کم و نسبت تحویل بالا از طریق شبکه‌های VANET متمرکز گردیده است. برای دستیابی به این هدف بسیاری از پژوهشگران و توسعه‌دهندگان سیستم راهکارهایی مانند بهینه‌سازی در لایه کنترل دسترسی میانی [۵]، بهره‌وری بهتر از پروتکل‌های مسیریابی کنونی و ارائه پروتکل‌های مسیریابی جدید، بهره‌وری از پروتکل ارتباطات برد کوتاه اختصاصی (DSRC)^{۱۳} در کنار کانال‌های خالی ایستگاه‌های تلویزیونی [۳]، کاهش ازدحام و برخورد در شبکه‌های VANET و ... ارائه داده‌اند که هر کدام موجب بهتر شدن برخی از پارامترهای کارایی شبکه و همچنین پدیدار شدن مشکلات جدیدی شده است. بسیاری از این راهکارها مناسب سناریوها و حالات خاصی از شبکه‌های VANET بوده و به‌طور کلی فراگیر نمی‌باشند. [۱۹]

هدف ما در این مقاله ارائه یک روش چند رادیویی جدید برای افزایش گذردهی در مسیریابی شبکه‌های اقتضایی بین خودرویی هست که از تکنولوژی‌های ارتباطی بی‌سیم مختلف که بر روی خودروها وجود دارد استفاده کرده و در هر حالت بهترین رابط ارتباطی را انتخاب کند و اطلاعات خود را به RSUها و یا سایر خودروها منتقل نماید.

از آنجایی که در دنیای ارتباطات کنونی تکنولوژی‌های دسترسی بی‌سیم مختلفی در دسترس هست، می‌توان با ترکیب این تکنولوژی‌ها در یک معماری مناسب و منطبق کردن آن با نیازمندی‌های شبکه‌های VANET از این قابلیت جهت کاهش زمان تأخیر در انتقال اطلاعات استفاده کرد. شایان‌ذکر است نیازی نیست همه این تکنولوژی‌های مختلف توسط کمپانی‌های تولید کننده خودرو بر روی خودرو نصب شود و می‌توان از دستگاه‌های موبایل و یا سایر دستگاه‌های ارتباطی سرنشینان و رانندگان خودروها به عنوان رابط‌های ارتباطی بی‌سیم در مواقعی که در دسترس هستند بهره جست.

در روش پیشنهادی این مقاله علاوه بر تکنولوژی DSRC که براساس استاندارد IEEE 802.11p و IEEE 1609 عمل می‌کند و در شبکه‌های VANET بسیار مرسوم است از سایر تکنولوژی‌ها نظیر شبکه مخابراتی (LTE^{۱۴})، WiMAX و موارد دیگری که در قسمت "پیش‌زمینه" بدان‌ها اشاره خواهد شد، برای برقراری ارتباطات و انتقال داده‌ها استفاده می‌شود. یک خودروی موجود در شبکه به رابط‌های ارتباطی شامل DSRC, WiMAX, LTE مجهز شده و می‌تواند از طریق هر کدام از آن‌ها به‌تنهایی و یا به‌صورت هم‌زمان داده‌های خود را ارسال نماید. در زمان ارسال خودرو می‌تواند بسته‌های داده‌ها را به هر کدام از این رابط‌های بی‌سیم ارتباطی جهت ارسال تحویل نماید. بنابراین بسته‌های داده در صف‌های جداگانه جهت پردازش (ارسال) قرار می‌گیرند. در روش پیشنهادی ما از مدل صف "چابکی"^{۱۵} استفاده می‌کنیم تا بتوانیم میزان تأخیر بسته‌ها در صف را کاهش دهیم و بنابراین نرخ ارسال داده در شبکه افزایش یابد.

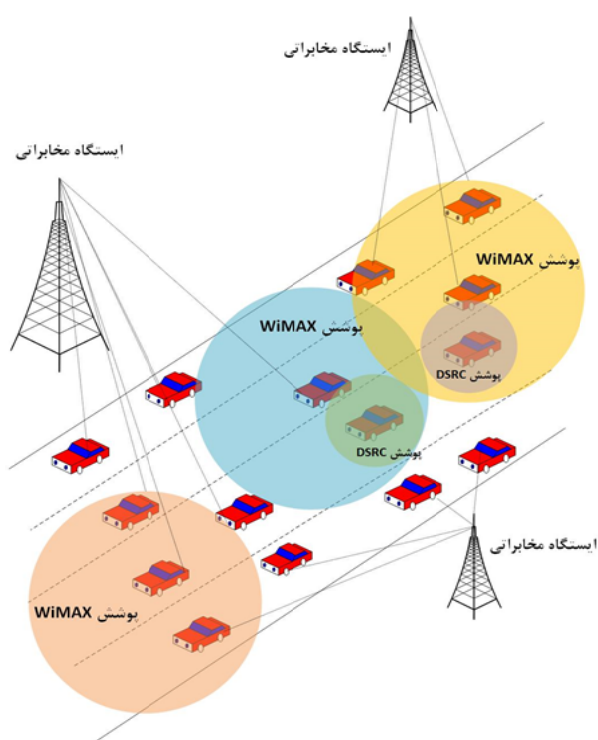
در ادامه مقاله در قسمت بعد به بیان انواع ارتباطات و تکنولوژی‌های بی‌سیم موجود در شبکه‌های VANET می‌پردازیم. در قسمت "پیش‌زمینه و مدل صف چابکی" علاوه بر مرور کارهای مشابه قبلی، به معرفی و نحوه مدل کردن مسئله چند رادیویی با استفاده از مدل صف چابکی می‌پردازیم. در قسمت ۳ روش شبیه‌سازی و ارزیابی مسئله بیان شده و نهایتاً در قسمت ۵ نتایج حاصل از روش را بیان می‌کنیم.

زمان تأخیر کاهش و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها افزایش یابد. شمایی از شبکه VANET موردنظر را در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.

۳-۲- مدل صف چابکی

در هر سیستمی که تعداد دستگاه‌های پردازنده از تعداد بسته‌ها بیشتر باشد با مدل‌های صف و مسائل مرتبط به آن مواجه هستیم. به‌طور کلی در چنین سیستمی یکی از چهار مورد زیر در مورد رفتار بسته‌ها اتفاق می‌افتد: [۱]

- بسته‌ها تک‌به‌تک منتظر می‌مانند و طول صف را طی می‌کنند تا سرویس بگیرند.
- بسته‌ها به دلیل طولانی بودن صف بلافاصله صف را ترک می‌کنند.^{۱۴}
- بسته‌ها پس از مدتی انتظار در صف ممکن است صف را ترک کنند.^{۱۵}
- بسته‌ها یک صف را ترک کرده و به صف دیگر می‌پیوندند.^{۱۶}



شکل ۱- معماری روش چند رادیویی پیشنهادی

در سایر کارهای قبلی که در VANET برای پخش اطلاعات در حالاتی که خودروها با بیش از یک رابط ارتباطی بی‌سیم مجهز بوده‌اند انجام شده، یا به‌طور کلی از رابط‌های مختلف برای انتقال نوع داده‌های متفاوت ارسال می‌شده و بسته‌ها اجازه رفتن از یک صف به صف دیگر را نداشته‌اند، مانند [۳] که از رابط ارتباطی بی‌سیم TVWS که همیشه در دسترس است برای ارسال بسته‌های اورژانسی و از رابط ارتباطی DSRC که اغلب در دسترس است برای ارسال بسته‌های غیراورژانسی بهره برده است، و یا در سایر مقالات از لحاظ معماری و امکان‌سنجی مورد بحث قرار داده‌اند و به بررسی پارامترهای کارایی شبکه نپرداخته‌اند. [۷] [۸] در این مقاله ما از مدل صف چابکی برای فرستادن بسته‌های داده، خواه اورژانسی و خواه غیراورژانسی، استفاده می‌کنیم. بدین ترتیب برای هر خودرویی که قصد ارسال اطلاعات را داشته باشد سه صف از بسته‌های داده در نظر می‌گیریم که منتظر پردازش (ارسال شدن) توسط رابط‌های ارتباطی بی‌سیم DSRC, WiMAX, و LTE هستند (شکل ۲). در حالت معمولی خواه طول یک صف کوتاه‌تر از سایرین باشد یا خیر، بسته‌ها می‌بایست به‌طور کامل طول یک صف را

پروتکل ارتباطی بی‌سیم DSRC: این استاندارد به‌عنوان اصلی‌ترین استاندارد برای ارتباط در محیط‌های خودرویی و بانام IEEE802.11p پذیرفته شده است که امکان ارتباط بین خودروهای در حال حرکت و بافاصله ۳۰۰ متر با نرخ ارسال داده 27Mbps فراهم می‌سازد. در محیط‌های باز این فاصله ارتباطی تا ۱۰۰۰ متر افزایش می‌یابد. [۱۴]

۲-۲- کارهای مرتبط

Mario Gerla در [۳] به معرفی یک فریم‌ورک توزیع‌شده برای بهره‌وری حداکثری از DSRC در کنار باند کانال تلویزیونی (TVWS)^{۱۲} پرداخته و از طریق این کانال تلویزیونی که برد بسیار زیادی دارد برای پخش بسته‌های داده اورژانسی استفاده می‌کند. در این فریم‌ورک از DSRC برای ردوبدل کردن بسته‌های کنترلی و دوباره فرستادن بسته‌های اورژانسی از دست‌رفته بهره جسته است و نهایتاً توانسته میزان تأخیر را کاهش و به میزان تحویل بسته بالاتری دست یابد. Gerla همچنین در [۲] به معرفی و امکان‌سنجی استفاده از شبکه LTE در محیط VANET پرداخته و فقط برای دریافت داده از اینترنت خودروها را مجاز به استفاده از شبکه LTE دانسته، درحالی‌که ارتباطات بین خودرویی و بین خودرو و ایستگاه کنار جاده‌ای همچنان از طریق DSRC انجام می‌گیرد. در این مقاله ارزیابی این روش مورد بررسی قرار نگرفته است. در [۵] و [۶] نویسندگان به بهبود گذردهی در شبکه‌های VANET از طریق بهبود عملکرد رابط‌های ارتباطی در لایه کنترل دسترسی مابین مربوط به تک رادیوی خودرو پرداخته‌اند و با استفاده از کانال‌های چندگانه^{۱۳} توانسته‌اند میزان برخورد و ازدحام را کاهش داده و نهایتاً به گذردهی بالاتری در شبکه دست یابند. در تمامی موارد ذکر شده یا کارهای صورت گرفته بر روی یک رادیو بوده و یا در صورت استفاده از چند رادیو مدل صف هر رادیو جداگانه و به‌صورت ساده‌ترین شکل یعنی مدل پخش بسته‌ها بین صف به‌صورت تصادفی بوده است، که در این مقاله مدل صف دیگری مورد استفاده قرار گرفته است و نقطه تفاوت اصلی این روش با سایرین می‌باشد. [۹] [۱۱]

۳- روش پیشنهادی و تئوری صف

۳-۱- روش پیشنهادی

با توجه به ویژگی‌های اختصاصی که هر کدام از تکنولوژی‌های دسترسی بی‌سیم که در قسمت "پیش‌زمینه" بیان شد دارند و فایده و هزینه هر کدام از آن‌ها، در روش جدید چند رادیویی ارائه شده به دنبال بهره‌وری حداکثری از این تکنولوژی‌ها بر روی هر کدام از خودروها هستیم. سناریویی را در نظر بگیرید که همگی خودروها مجهز به سه رابط ارتباطی بی‌سیم که از تکنولوژی‌های WiMAX, DSRC و LTE پشتیبانی می‌کنند هستند. خودروها می‌توانند برای ارتباطات V2V در بین خودشان یک شبکه نظیر به نظیر تشکیل داده و بسته‌های داده را با استفاده از رابط‌های DSRC و یا WiMAX خود جابجا کنند. همچنین اگر خودرویی در طیف رادیویی مناسب برای ارسال بسته نبود، خودروی فرستنده می‌تواند از طریق رابط ارتباطی LTE خود پس از اتصال به نزدیک‌ترین ایستگاه مخابراتی شروع به ارسال بسته‌های داده نماید و خودروی گیرنده نیز بسته‌های داده را از آن ایستگاه رادیویی دریافت نماید. همچنین خودروها می‌توانند با ایستگاه‌های کنار جاده‌ای (RSU) نیز از طریق رابط DSRC خود ارتباط داشته باشند. همگی این ارتباطات در حالی رخ می‌دهد که خودروها با سرعت در حال حرکت هستند و به دلیل زیاد و کم شدن فاصله آن‌ها نسبت به یکدیگر مدت‌زمان اتصال کوتاه هست. بنابراین می‌بایست در همین مدت‌زمان کوتاه به‌گونه‌ای بسته‌ها را ردوبدل کنیم که میانگین

$$W_{k,i} = \frac{k+1}{\mu} \quad (۱)$$

در ادامه نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان مقادیر شرطی مورد انتظار و توابع مولد آن‌ها را محاسبه کرد. [۱]
اگر فرض کنیم که $W_{-1,i} = 0$ باشد به معادله زیر می‌رسیم. (فرض می‌کنیم $\lambda + 2\mu = 1$)

$$W_{k,i} = 1 + \lambda W_{k,i+1} + \mu W_{k,i-1} + \mu W_{k-1,i+1} \quad (۲)$$

$$k \geq 0, \quad i \geq 1$$

همچنین اگر فرض کنیم که برای $k \leq N - 2$ معادله زیر برقرار باشد

$$W_{k-N+1,2N-3} = (k+1)/\mu \quad (۳)$$

شرایط مرزی به شکل زیر تعریف می‌گردد: [۱]

$$W_{k,0} = 1 + \lambda W_{k,1} + \mu W_{k-1,1} + \mu W_{k-N+1,2N-3}, \quad k \geq 0 \quad (۴)$$

$$W_{k,i} = \frac{k+1}{\mu}, \quad 0 \leq k \leq N - 2, \quad i \geq 0 \quad (۵)$$

و نهایتاً

$$\lim_{i \rightarrow \infty} W_{k,i} \leq \frac{k+1}{\mu}, \quad k \geq 0 \quad (۶)$$

در مرحله بعد برای حل معادلات (۳) تا (۶) می‌بایست تابع مولد جواب را پیدا کنیم. در ابتدا برای $i \geq 0$ و برای یک مقدار پیچیده t با $|t| < 1$ تابع $G_i(t) = \sum_{k=0}^{\infty} W_{k,i} t^k$ را در نظر می‌گیریم. دوم اینکه، $i \geq 1$ را برای یک مقدار ثابت i در نظر می‌گیریم. سپس با جایگذاری در معادله (۳) و به یاد داشتن اینکه $W_{-1,i} = 0$ و پس از ساده‌سازی به معادله زیر می‌رسیم. [۱] [۱۵]

$$(\lambda + t\mu)G_{i+1}(t) - G_i(t) + \mu G_{i-1}(t) = \frac{-1}{1-t}, \quad i \geq 1 \quad (۷)$$

با نگاهی به مقدار داده‌شده برای t جواب قسمت ناهمگن معادله (۷) به‌صورت زیر است:

$$G_i(t) = \frac{1}{\mu(1-t)^i}, \quad i \geq 0 \quad (۸)$$

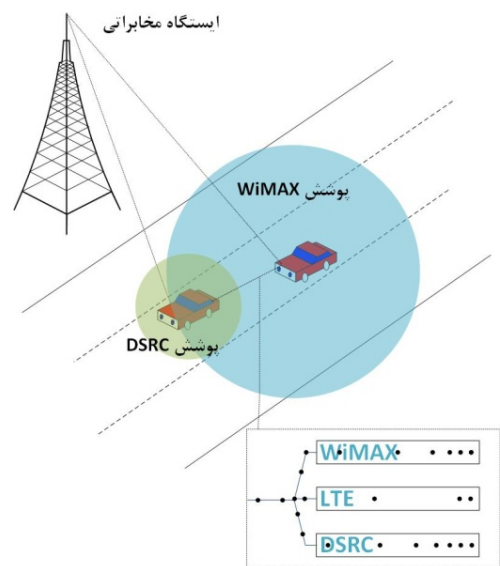
با نگاهی به قسمت همگن می‌بینیم که هر دو جواب به‌صورت زیر مشخص می‌شوند: [۱]

$$f_-(t) = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\mu(\lambda + \mu t)}}{2(\lambda + \mu t)} \quad (۹)$$

$$f_+(t) = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\mu(\lambda + \mu t)}}{2(\lambda + \mu t)} \quad (۱۰)$$

و بدین ترتیب مسئله حل می‌شود. ضرایب معادلات همگن و ناهمگن نیز به همین طریق به دست می‌آید.

طی کنند تا ارسال شوند، درحالی‌که در روش پیشنهادی چند رادیویی بسته‌هایی که در صف بلندتر هستند اجازه دارند به صفی که کوتاه‌تر از سایرین هست بپیوندند به این امید که زودتر ارسال شوند. البته ممکن است با توجه به ویژگی‌های متفاوت رابط‌های ارتباطی، بسته‌ای که صف خود را عوض کرده مجدداً صف قبلی خود را کوتاه‌تر ببیند و به همان قبلی برگردد و یا حتی به‌صف سوم بپیوندد. در هر صورت بسته اجازه دارد تا زمان ارسال عمل چابکی (رفتن به صف کوتاه‌تر) انجام دهد و فرض مسئله این است که این عمل هزینه‌بر نیست. [۴]
برای ساده‌تر شدن محاسبات و مدل کردن مسئله، تعداد صف‌ها را ۲ در نظر می‌گیریم. حال آنکه راهکار حل مسئله برای هر تعداد دلخواه از صف معتبر است. توجه به این مسئله حائز اهمیت است که میزان اختلاف دو صف به‌عنوان مقدار آستانه^{۱۷} که بسته‌ها اجازه انجام عمل چابک پیدا می‌کنند بسیار حائز اهمیت است. به‌عنوان مثال سناریویی را در نظر بگیرید که میزان آستانه را ۱ در نظر بگیریم، بنابراین زمانی که دو صف دارای طول برابر شوند بسته جدید ورودی مرتباً در انتهای دو صف جابجا می‌شود و ناپایدار است.



شکل ۲- ورود بسته‌ها به سه صف جهت ارسال

هدف ما به دست آوردن میزان زمان انتظار^{۱۸} یک بسته در صف به ازای هر مقدار دلخواه آستانه N است. بنابراین اصل زیرمبنای تمامی مفروضات و تحلیل‌های ماست: [۱]

"در هر لحظه، زمان انتظار یک بسته به تعداد کل بسته‌های موجود در سیستم (تمامی صف‌ها) و به اینکه چه تعداد بسته جلوی او در صف قرار دارند وابسته است. با این حال، در صورت داشتن این دو مقدار، زمان انتظار به چگونگی تقسیم بسته‌ها در دو صف بستگی ندارد" منطبق با اصل فوق برای $K \geq 0$ و $i \geq 0$ می‌توانیم $W_{k,i}$ را زمان انتظار یک بسته در نظر می‌گیریم که K بسته در جلوی او در صف خود قرار دارند و i تعداد کل بسته‌های پشت سرش در همان صف است. همچنین در هر دو صف تعدادی بسته وجود دارد که در یک صف تا موقعیت ماکزیم $\{k - N + 3, 0\}$ و بیشتر از این مقدار در صف دیگر اشغال است. نرخ ورود بسته‌ها به سیستم λ و نرخ سرویس دادن به بسته‌ها μ می‌باشد. توجه داشته باشید که براساس مفروضات مسئله اگر یک بسته تعداد K بسته را در صف کنونی‌اش جلوی خودش ببیند، برای بعضی مقادیر K که در آن $K \geq N - 2$ باشد، تمامی موقعیت‌ها در صف دیگر از موقعیت ۱ و بیشتر تا موقعیت $K - N + 2$ اشغال است. بنابراین واضح است که: [۱]

$$\text{برای } i \geq 0 \text{ و } 0 \leq K \leq N - 2$$

۳-۳- توزیع ایستا

۴- شبیه‌سازی و ارزیابی روش

در این قسمت نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان رفتار بسته‌ها را در حالت توزیع ایستا (پایدار)^{۱۹} برای مدل دو صف موازی بدون حافظه^{۲۰}، زمانی که عملیات چابکی با گذر از حد آستانه (اختلاف بین دو صف) از مقدار N که $3 \leq N \leq \infty$ است اتفاق می‌افتد را محاسبه کرد. برای سادگی محاسبات پارامتر N را در این بخش حذف می‌کنیم.

ما از محاسبات براساس Matrix-geometric برای بدست آوردن توزیع پایدار استفاده خواهیم کرد. این تکنیک به تجزیه فضای حالت 21 نیاز دارد. ضمناً این تجزیه یکتا نیست و روش تجزیه‌ای که در این مقاله استفاده شده است مناسب‌ترین حالت برای محاسبات ماست.

از λ به عنوان نرخ ورودی و $1/\mu$ به عنوان نیازمندی سرویس مورد انتظار استفاده می‌کنیم. همچنین قیاس λ و μ را به صورت $2\mu + \lambda = 1$ بکار می‌بریم. اکنون π_{ij} را احتمال پایداری در صورتی که i مشتری در یکی از صف‌ها و j مشتری در صف دیگر است در نظر می‌گیریم. این تعداد شامل مشتریان در حال خدمت گرفتن بدون دست دادن "عمومیت"^{۲۲} می‌شود.

فرض کنید که $j \leq i$ برای $i \geq 0$ باشد و $L(i)$ به عنوان مجموعه‌ای از حالات (i, j) برای $i \leq j \leq i + N - 1$ در نظر گرفته شود. این N حالت را می‌توانیم به صورت $(i, i), (i, i+1), \dots, (i, i+N-1)$ بنویسیم. همچنین π_i را به عنوان بردار خطی^{۲۳} از احتمالات پایدار حالاتی که در بالا بصورت $L(i)$ بیان شد در نظر می‌گیریم. برای سادگی در محاسبات و یافتن ماتریکس‌های Q_0 و Q_1 و Q_2 در $R^{N \times N}$ برای $i \geq 1$ معادله زیر را بدست می‌آوریم.

خدمت گرفتن بدون دست دادن "عمومیت"^{۲۲} می‌شود.

$$\pi_i Q_0 + \pi_{i+1} Q_1 + \pi_{i+2} Q_2 = 0 \quad (11)$$

بنابراین مقادیر $\lambda_1 = \lambda(1+p)/2$ و $\lambda_2 = \lambda(1-p)/2$ را در نظر می‌گیریم. و ماتریس به شکل زیر می‌توانیم تعریف نماییم.

$$Q_0(i, j) = \begin{cases} \lambda_1 & i = 2, \dots, N-1, j = i-1 \\ \lambda & i = N, j = N-1 \\ 0 & \text{سایر حالات دیگر} \end{cases} \quad (12)$$

ماتریس فوق را برای سادگی به شکل ماتریس زیر نیز می‌توانیم بنویسیم.

$$Q_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda \end{pmatrix} \quad (13)$$

به همین ترتیب مقادیر Q_1 و Q_2 نیز محاسبه می‌گردد. قبلاً در [۱۶] نشان داده شده است که وقتی توزیع پایدار وجود داشته باشد، تمامی مقادیر ویژه R بصورت یکتا می‌باشد. بعلاوه، از آنجا که یک ردیف از Q_0 تماماً صفر است، متعاقباً با حالت یکسانی برای ماتریس R حداقل یکی از مقادیر ویژه آن کع می‌توانیم w_1 بنامیم همگی صفر هستند. بنابراین طیف شعاعی R ^{۲۴} برابر با ρ^2 می‌باشد. [۱۵] [۱۶]

۴-۱- روش شبیه‌سازی

با توجه به پارامترهای مسئله مورد بررسی، برای شبیه‌سازی سیستم، جدول ۱ که نمونه‌ای از جدول شبیه‌سازی بسته‌های ارسالی در شبکه با مفروضات بیان شده است را تشکیل داده‌ایم.

جدول ۱- نمونه‌ای از جدول شبیه‌سازی بسته‌های داده در شبکه

شماره بسته	زمان ورود	صف ورودی بسته	زمان شروع خدمت	انجام Jockey	مدت خدمت‌دهی	زمان پایان خدمت
۱	۰	۱	۰	۰	۶	۶
۲	۱	۲	۱	۰	۴	۴
۳	۲	۱	۶	۰	۴	۱۰
۴	۵	۱	۱۰	۱	۳	۱۳
۴	۵	۲	۵	۰	۵	۱۰
۵	۷	۲	۸	۰	۵	۱۳
۶	۹	۱	۱۰	۰	۷	۱۷

برای اجرای شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب [۱۲] با تنظیمات بیان شده در جدول ۲ استفاده شده است:

جدول ۲- جدول تنظیمات شبیه‌سازی بسته‌های شبکه

مقدار تنظیم شده	نوع پارامتر تنظیم
۶۰	تعداد تکرار شبیه‌سازی
۵۰۰۰۰	تعداد بسته در هر اجرا
Poisson	توزیع بسته‌های ورودی
Exponential	توزیع خدمت‌دهی به بسته‌ها
۱	نرخ خدمت‌دهی μ
۰.۵	نرخ ورود بسته‌ها λ
۳	مقدار حد آستانه N
۱۱	تعداد دفعات افزایش μ
(۰ و ۰.۵ و ۱)	احتمال اختصاص اولیه به صف کوتاه‌تر P
اولین - ورودی اولین - خروجی (FIFO) ^{۲۵}	نظم ورود و خروج از صف

بسته‌های داده با توزیع پواسون تولید شده و مدت زمان سرویس گرفتن (ارسال شدن) از توزیع نمایی پیروی می‌کند. شبیه‌سازی را با مقدار ثابت بسته‌های داده از ۱ تا ۵۰۰۰۰ و تا ارسال آخرین بسته در هر دفعه اجرا انجام داده‌ایم. همچنین نرخ ورود بسته‌ها و نرخ خدمت‌دهی (سرویس گرفتن بسته‌ها) را به تعداد دفعه در شبیه‌سازی‌های متفاوت افزایش داده‌ایم تا نتایج مختلف حاصل گردد و کارایی روش را بتوان ارزیابی کرد. برای بدست آوردن تاخیر در هر کدام از مقادیر پارامترهای μ و λ شبیه‌سازی را ۵۰ بار تکرار کرده‌ایم. مدت زمان سرویس گرفتن را در محاسبه زمان تأخیر لحاظ نکرده‌ایم. همچنین برای بسته‌های داده اولویت در نظر گرفته نشده و همه بسته‌ها یکسان می‌باشند. میزان آستانه اختلاف صف‌ها

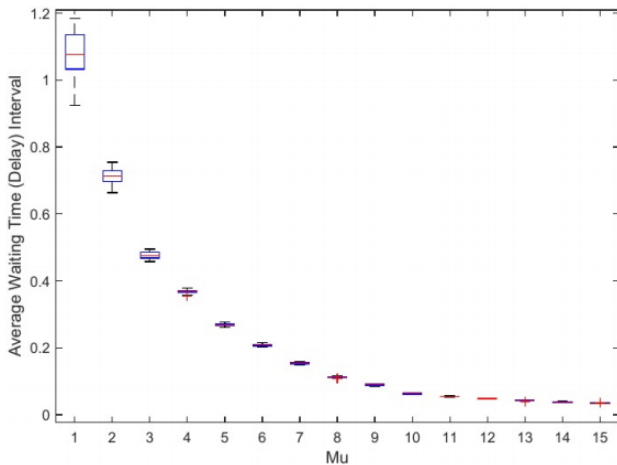
به صف کوتاه‌تر می‌پیوندند. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که بسته‌ها به‌طور کامل ارسال شوند.

برای انجام عمل جابجایی بسته‌ها و رفتن بسته از صف بلندتر به صف کوتاه‌تر برابر با ۳ در نظر گرفته شده است ($N = 3$).

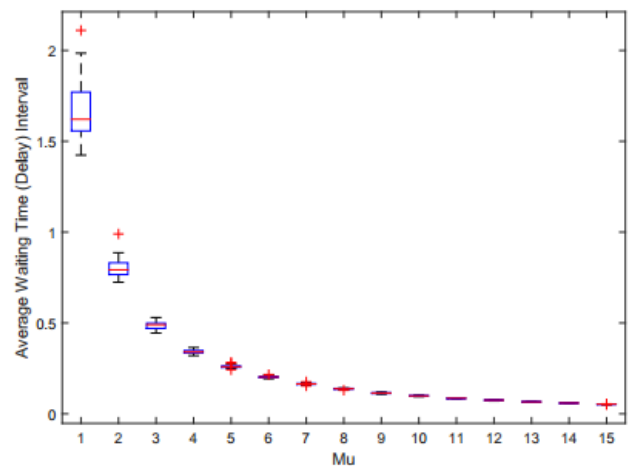
۲-۴- نتایج شبیه‌سازی

در شکل‌های این قسمت نتایج مربوط به شبیه‌سازی‌ها در حالات مختلف ارایه گردیده است. این حالات شامل ثابت نگه داشتن پارامتر λ و تغییر در پارامتر μ به ازای سه مقدار مختلف پارامتر P (مقادیر 0 و 0.5 و 1) در دو حالت "چابکی" و "غیر-چابکی" است.

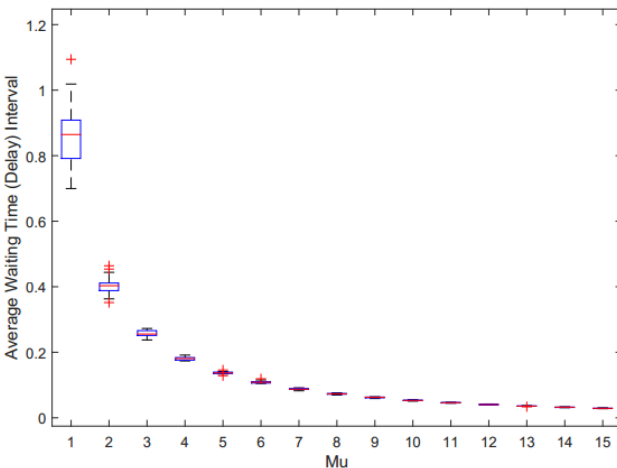
در شکل ۳ نمودار بازه‌ی میانگین زمان انتظار برای یک سیستم صف دوتایی، بدون در نظر گرفتن "چابکی" و با مقدار ثابت $\lambda=1$ و مقدار متغییر μ ، بدین صورت که مقدار اولیه برابر $\mu_1 = 0.5$ (برای صف اول) و $\mu_2 = 0.6$ (برای صف دوم)، همچنین مقدار حد آستانه $N=3$ و $P=0$ اجرا شده است.



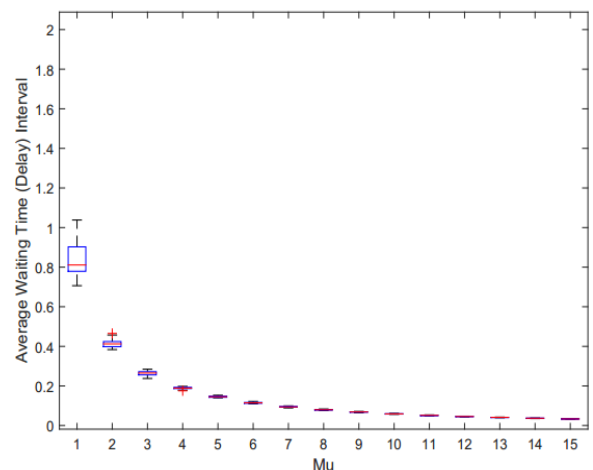
شکل ۵- میانگین زمان تأخیر بدون مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $N=3$ و $p=0.5$



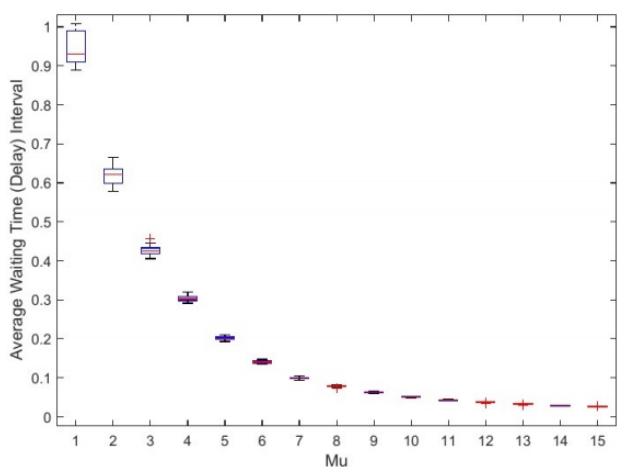
شکل ۳- میانگین زمان تأخیر بدون مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $N=3$ و $p=0$



شکل ۶- میانگین زمان تأخیر با استفاده از مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $N=3$ و $p=0.5$



شکل ۴- میانگین زمان تأخیر با استفاده از مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $N=3$ و $p=0$



شکل ۷- میانگین زمان تأخیر بدون مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $N=3$ و $p=1$

در شکل ۴، همین آزمایش مجدداً تکرار و این بار حالت "چابکی" در نظر گرفته شده است. با این حساب، بسته‌های در انتظار ارسال در هر کدام از صف‌ها و در هر زمانی (و نه فقط در تخصیص‌های اولیه بسته‌ها به صف‌ها)، اگر تفاوت تعدادشان در دو صف مساوی و یا بیشتر از ۳ شود، آخرین بسته داده از صف بلندتر

شایان ذکر است این تعادل بار بر روی حالت چابکی تغییری اعمال نکرده است. همچنین در تعداد بسته‌های کم، مدل چند رادیویی با مدل تک رادیویی تفاوت چندانی ندارد. چراکه بسته‌ها از طریق یک رادیو و یک صف ارسال هم بدون تأخیر و یا با تأخیر بسیار ناچیز ارسال می‌گردند، اما زمانی که تعداد بسته‌های درون سیستم افزایش می‌یابد مدل چند رادیویی به مراتب بهتر از مدل تصادفی عمل می‌کند. شایان ذکر است برای انجام شبیه‌سازی از آنجاکه سایر روش‌های قبلی ارسال داده در شبکه‌های VANET از رابط‌های ارتباطی تک‌رادیویی (یک رادیو) استفاده شده بود، و ماهیت روش ارائه شده در این مقاله چند رادیویی و استفاده از چند رابط ارتباطی بی‌سیم است بنابراین برای مقایسه روش‌های تک‌رادیویی را در نظر نگرفتیم، چراکه بالا بودن گذردهی در شبکه‌ای که خودروها مجهز به چند رادیو هستند نسبت به زمانی که از یک رادیو استفاده می‌کنند امری بدیهی است. بنابراین مبنای مقایسه را بر مدل‌هایی از شبکه‌های VANET که از بیش از یک رادیو استفاده می‌کرده‌اند قرار داده‌ایم. قبلاً در قسمت مقدمه راجع به این روش‌ها صحبت شده است.

۵- نتیجه‌گیری

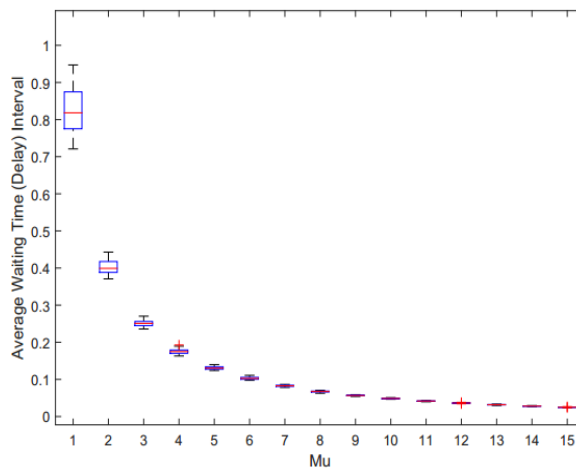
در این مقاله به مدل‌سازی تأخیر در ارسال بسته‌هایی که بین خودروها در شبکه‌های VANET رد و بدل می‌شوند، به کمک فن‌آوری‌های چندگانه بی‌سیم پرداختیم و توانستیم با استفاده از مدل صف چابکی تأخیر نهایی را کاهش دهیم. مدل صف چابکی به بسته‌ها این اجازه را می‌دهد تا از یک صف بلندتر به صف کوتاه‌تر تغییر مکان دهند، بنابراین مدت زمان انتظار بسته‌ها در هر صف ارسالی کاهش و با کاهش تأخیر ارسال بسته‌ها موجب افزایش گذردهی شبکه می‌گردد. در این روش از چند رادیو با تکنولوژی‌های دسترسی بی‌سیم متفاوت شامل DSRC, LTE, WiMAX بر روی هر کدام از خودروهای درون شبکه استفاده می‌کنیم و خودرو می‌تواند بسته‌های داده ارسالی را بر روی هر کدام از این رابط‌های ارتباطی بی‌سیم قرار داده و ارسال کند. همچنین در این مقاله به بررسی حالاتی پرداختیم که بسته‌ها از ابتدای توزیع با احتمالات مختلف ($P=0$, $P=0.5$, $P=1$) وارد صف کوتاه‌تر شوند و نتیجه تخصیص‌های گوناگون را در هر دو روش استفاده از مدل صف چابکی و عدم استفاده از این مدل بر روی بازه‌های میانگین زمان انتظار بسته‌ها مشاهده کردیم. علاوه بر این، پس از فرموله کردن مسئله به محاسبه توزیع حالت ایستا پرداختیم و رفتار بسته‌ها را در دراز مدت بررسی کردیم. سپس به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از کارایی چشمگیر این روش در مقایسه با روش‌های کارهای مشابه قبلی که عموماً بسته‌های داده را به‌طور تصادفی در بین صف‌های ارسال پخش می‌کردند، است. این روش بخصوص زمانی که خودروها بسته‌های داده بسیاری جهت ارسال دارند، که منجر به شلوغ تر شدن و طولانی‌تر شدن صف‌های ارسال داده در بین خودروها می‌گردد و با در نظر گرفتن $N=3$ کارایی چشمگیری از خود نشان داد.

مراجع

- [1] R. Hassin, and M. Haviv. To Queue or Not to Queue: Equilibrium Behavior in Queuing Systems. NY, USA: Springer US, 2003.
- [2] M. Gerla, and et. al., "Content Distribution in VANETs," *Vehicular Communications*, vol. 1, no. 1, pp. 3-12, 2014.

ضمناً ممکن است بسته‌ای که یکبار عمل "چابکی" را انجام داده، دوباره با گذشت زمان مجدداً طول دو صف از حد آستانه عبور کند و به عنوان آخرین بسته مجدداً به صف قبلی خود برگردد. بنابراین در دفعات انجام عمل "چابکی" برای هر بسته محدودیتی لحاظ نگردیده است.

در ادامه در شکل ۵ الی شکل ۸ مقایسه مدل صف چابکی با غیرچابکی، با ثابت در نظر گرفتن λ و متغییر بودن μ (به همان ترتیبی که در مورد شکل ۳ بیان شد) و به ازای دو مقدار متفاوت $P=1$ و $P=0.5$ ارایه شده است. در شکل ۷ و شکل ۸ نمودارهای فوق با لحاظ کرده $P=1$ ارایه شده است. همانطور که مشخص است، در این حالت نیز نمودار با حالت "چابکی" نسبت به "غیرچابکی" از بازه میانگین زمان انتظار کمتری برخوردار است.



شکل ۸- میانگین زمان تأخیر با استفاده از مدل صف چابکی و با مقدار λ ثابت و μ متغییر و $p=1$ و $N=3$

۳-۴- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی

از مقایسه شکل ۳ و شکل ۴ مشخص است که در حالت لحاظ کردن "چابکی" بازه میانگین زمان انتظار بسته‌ها، به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. در نهایت در هر دو حالت، با افزایش نرخ خدمت‌دهی، یعنی پردازش سریع‌تر و ارسال سریع‌تر بسته‌ها، با ثابت ماندن نرخ تولید بسته، مقدار بازه میانگین زمان انتظار کاهش و به صفر نزدیک می‌گردد، اما در هر مقداری از μ حتی در مقادیر بالای آن، عملکرد راهکار "چابکی" بهتر از "غیرچابکی" بوده و با کاهش بازه میانگین زمان انتظار همراه است.

در مدل صف چابکی بسته‌ها اجازه دارند در صورت مشغول بودن یک رابط ارتباطی بی‌سیم از صف خود خارج شوند و به صف کوتاه‌تری از بسته‌ها که از طریق رابط ارتباطی بی‌سیم دیگر خودرو فرستاده می‌شوند بپیوندند. همان‌طور که از شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، هنگامی که بسته‌ها کاملاً تصادفی بین دو صف تقسیم شوند ($p=0$) تفاوت (بهبود عملکرد) استفاده از مدل صف چابکی نسبت به عدم استفاده از این روش، در میانگین مدت زمان انتظار بسته‌ها بسیار بیشتر از حالتی است که در شکل ۷ و ۸ دیده می‌شود. در واقع میزان تأخیر در حالت $P=1$ در هر دو روش در شکل ۷ و ۸ کمتر دستخوش تغییر است.

دلیل این امر، این است که وقتی تمامی بسته‌ها در حالت غیرچابکی از ابتدای تقسیم بین دو صف، به صف کوتاه‌تر اختصاص یافته‌اند به نوعی موجب تعادل بار در توزیع بسته‌ها شده است که به شدت میانگین زمان تأخیر را کاهش می‌دهد. هرچند در همین حالت هم باز استفاده از مدل صف چابکی عملکرد بهتری را در پی داشته است.

[16] R. Hassin, and M. Haviv, "Equilibrium Strategies and the Value of Information in a Two Line Queueing System with Threshold Jockeying," *Stochastic Models*, vol. 10, no. 2, pp. 415-435. 1994.

[17] P. Manzoni, et. al., "Mobility Models for Vehicular Communications," in *Vehicular ad hoc Networks*, 1st ed. Springer International Publishing, 2015, ch. 11, pp. 309-333.

[18] S. Gonzalez, and V. Ramos, "Preset Delay Broadcast: A Protocol for Fast Information Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 1, pp.1-13, 2016.

[19] A. M. Said, M. Marot, A. W. Ibrahim, and H. Affi, "Modeling Interactive Real-time Applications in VANETs with Performance Evaluation," *Computer Networks*, no. 104, pp. 66-78, 2016.

محمد امین کشتکار فارغ‌التحصیل کارشناسی‌ارشد در

رشته مهندسی فناوری اطلاعات از دانشگاه تهران است.

ایشان سابقه چند سال فعالیت و پژوهش در زمینه‌های

امنیت کامپیوتری، رایانش ابری، سیستم‌های اطلاعاتی و

تجارت الکترونیک در پژوهشکده‌ها، شرکت‌ها و مراکز

مختلف دانشگاهی را در کارنامه خود دارند و مقالات متعددی در این حوزه‌ها در

کنفرانس‌ها و مجلات علمی منتشر کرده‌اند.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

a.keshtkar@ut.ac.ir



احمد خونساری مدرک کارشناسی مهندسی برق و

کامپیوتر خود را از دانشگاه شهید بهشتی دریافت کرد و

پس از آن دوره کارشناسی‌ارشد را در دانشگاه علم و

صنعت به اتمام رساند و همچنین مدرک دکترا در علوم

کامپیوتر را از دانشگاه گلاسگوی انگلستان دریافت کرد.

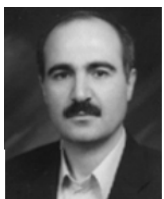
ایشان در حال حاضر دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تهران و پژوهشگر

در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی است. علایق پژوهشی ایشان ارزیابی و مدل‌سازی

کارایی، شبکه‌های مخابراتی و سیستم‌های توزیع‌شده و معماری کامپیوتر است.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

ak@ipm.ir



ابوالفضل دیانت کارشناسی خود را از دانشکده‌ی

مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران اخذ کرد و پس از

آن مدرک کارشناسی‌ارشد خود را در گرایش مخابرات از

دانشگاه صنعتی شریف گرفت. ایشان اکنون در حال

گذراندن دوره دکترای تخصصی خود در دانشگاه تهران

می‌باشد. اصلی‌ترین علایق پژوهشی ایشان سیستم‌های مخابراتی، حریم خصوصی

آماري در شبکه و مدل‌سازی تحلیلی شبکه‌های بی‌سیم می‌باشد.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

a.diyanat@ut.ac.ir



[3] N. Naito, and et. al., "Interplay between TVWS and DSRC: Optimal Strategy for QoS of Safety Message Dissemination in VANET," *Proc. Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 2013.

[4] Z. H. Mir, and F. Filali, "LTE and IEEE 802.11p for Vehicular Networking: A Performance evaluation," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2014, no. 1, pp. 89, 2014.

[5] N. Lu, and et. al., "A Dedicated Multi-Channel MAC Protocol Design for VANET with Adaptive Broadcasting," *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1-6, 2010.

[6] Y. Zang, and et. al., "A Novel MAC Protocol for Throughput Sensitive Applications in Vehicular Environments," *Proc. IEEE 65th Vehicular Technology Conference*, pp. 2580-2584, 2007.

[7] T. Wang, L. Song, and Z. Han, "Collaborative Data Dissemination in Cognitive VANETs with Sensing-throughput Tradeoff," *Communications in China (ICCC)*, pp. 41-45, 2012.

[8] N. J. Kirsch, and B. M. O'Connor, "Improving the Performance of Vehicular Networks in High Traffic Density Conditions with Cognitive Radios," *Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pp. 552-556, 2011.

[9] A. J. Ghandour, K. Fawaz, and H. Artail, "Data Delivery Guarantees in Congested Vehicular Ad Hoc Networks Using Cognitive Networks," *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, pp. 871-876, 2011.

[10] M. Chaqfeh, A. Lakas, and I. Jawhar, "A Survey on Data Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks," *Vehicular Communications*, pp. 214-225, 2014.

[11] K. D. Singh, P. Rawat, and J. Bonnin, "Cognitive Radio for Vehicular Ad Hoc Networks (CR-VANETs): Approaches and Challenges," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-22, 2014.

[12] F. J. Ros, J. A. Martinez, and P. M. Ruiz, "A Survey on Modeling and Simulation of Vehicular Networks: Communications, Mobility, and Tools," *Computer Communications*, vol. 43, pp. 1-15, 2014.

[13] J. Santa, A. F. Gómez-Skarmeta, and M. Sánchez-Artigas, "Architecture and Evaluation of a Unified V2V and V2I Communication System Based on Cellular Networks," *Computer Communications*, vol. 31, no. 12, pp. 2850-2861, 2008.

[14] J. B. Kenney, "Dedicated Short-range Communications (DSRC) Standards in the United States," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162-1182, 2011.

[15] Y. Zhao, and W. K. Grassmann, "Queueing Analysis of a Jockeying Model," *Operations research*, vol. 43, no. 3, pp. 520-529, 1995.

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۰۴/۱۶

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۵/۰۶/۱۳

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۵/۰۷/۰۱

نویسنده مرتبط: محمد امین کشتکار، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

¹Vehicular Ad Hoc Networks²Mobile Ad Hoc Networks³Roadside Unit⁴IEEE⁵Vehicle-To-Vehicle⁶Vehicle-To-Infrastructure⁷Wireless Access in Vehicular Environment⁸Dedicated Short-Range Communication⁹Long-Term Evolution¹⁰Jockey¹¹Broadband Cloud Communication¹²TV White Space Channel¹³Multi-Channel MAC¹⁴Balking¹⁵Reneging¹⁶Jockeying¹⁷Threshold¹⁸Waiting Time¹⁹Stationary State²⁰Memoryless Parallel Queue Model²¹State Space²²Generality²³Row-Vector²⁴Spectral Radius²⁵Discrete-Event Simulation²⁶First-In First-Out