ارائه یک مکانیزم تشویقی برای شبکه‌های حسگر جمعی بر پایه ارتباطات گوشی به گوشی

رسول اسماعیلی فرد[۱]، ستاره قره چاهی[۲]

[۱]استادیار، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شیراز، فارس، ایران
esmaeily@sutech.ac.ir
[۲]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شیراز، فارس، ایران
st.gharechahi@gmail.com

چکیده

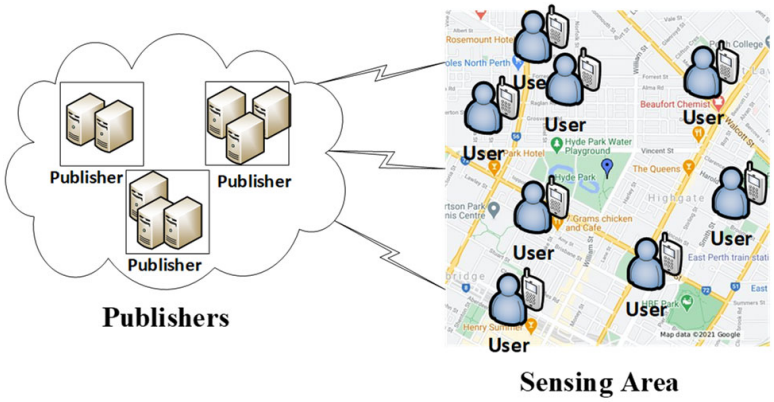
سیستم‌های سایبری موبایل می‌توانند از تلفن‌های هوشمند به‌عنوان یک پلت‌فرم راحت و اقتصادی استفاده کنند تا حسگری با دستگاه‌های موبایل را که کاربردی پیچیده و فراگیر است را بین انسان‌ها و دنیای فیزیکی اطراف تسهیل کنند. افزایش تعداد کاربران و حجم اطلاعات این شبکه‌ها منجر به افزایش هزینه و انرژی مصرفی کاربران می‌شود. علاوه بر این نیاز است داده‌های تولیدشده توسط کاربران در زمان کوتاه‌تر و با تأخیر کمتری به دست ناشرین برنامه‌های حسگری برسند. در این پژوهش به مسئله انتقال داده‌ها در شبکه‌های حسگری جمعی مبتنی بر ارتباطات گوشی‌به‌گوشی پرداخته شده است و یک مکانیزم تشویقی برای افزایش مشارکت کاربران ارائه داده شده است. در این مکانیزم کاربران با یکدیگر همکاری داشته و با مبادله داده‌های تولیدشده خود با داده‌های دیگر کاربران آنها را به دست ناشرین می‌رسانند. کاربران در ازاء همکاری که انجام می‌دهند اعتبار دریافت می‌کنند و مفهوم حواله برای انتقال این اعتبار معرفی شده است. ارتباطات بین کاربران به صورت یک بازی همکارانه‌ی دو نفره مدلسازی شده است و راه‌حل آن با یک رویکرد اکتشافی ارائه شده است. علاوه بر این یک مکانیزم حراج آنلاین به منظور سرعت بخشیدن گردش اعتبار و حواله در شبکه ارائه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد این روش باعث بهبود نرخ تحویل در مقایسه با سایر روش‌های رقیب می‌شود.

کلمات کلیدی: حسگری جمعی، ارتباطات گوشی به گوشی، مکانیزم تشویقی، نظریه بازی.

۱ مقدمه

تلفن‌های هوشمند و شبکه‌های تلفن همراه الگوی جدیدی به نام حسگری جمعی[۱] برای جمع‌آوری و پردازش داده‌ها درباره یک پدیده در مقیاس بزرگ ایجاد کرده‌اند. حسگری جمعی، جمعیت بزرگی از کاربران

[1]Mobile Crowdsensing



شکل ۱: معماری شبکه حسگر جمعی با چند ناشر

دستگاه‌های موبایل را به کار می‌گیرد تا با استفاده از حسگرهای تعبیه شده در دستگاه هایشان به انجام وظایف حسی بپردازند. اخیرا این الگو به دلیل نفوذ دستگاه‌های موبایل در زندگی روزمره‌ی انسان‌ها به روشی موثر برای جمع آوری اطلاعات تبدیل شده است [۸]. یک سیستم حسگری جمعی اغلب از تعدادی کاربر و چند ناشر وظایف حسگری تشکیل شده است که کاربران اطلاعات مورد علاقه ناشرین را جمع آوری کرده و برای آنها ارسال می‌کنند [۱۵]. ناشرین با جمع آوری و پردازش این اطلاعات از آنها بهره برداری می‌کنند. معماری کلی این ارتباطات در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این شبکه‌ها ممکن است چندین ناشر علاقمند به دریافت داده های حس شده یکسانی باشند.

اما از یک طرف داده‌های حس شده می‌توانند به فرمت‌های مولتی‌مدیا نظیر صدا، تصویر و ویدئو باشند و از طرف دیگر تعداد دستگاه‌های درگیر در فرآیند حسگری نظیر تلفن‌های هوشمند، گجت‌های پوشیدنی، ساعت‌های هوشمند و خودروهای هوشمند نیز در حال افزایش است [۴]. این مسئله باعث حجیم شدن داده‌های انتقالی در شبکه‌های حسگری جمعی می‌شود. بیشتر پلتفرم‌های حسگری از شبکه‌های سلولی موبایل برای انتقال اطلاعات خود استفاده می‌کنند اما حجیم بودن اطلاعات می‌تواند تا خروج از تحمل مقیاس پذیری شبکه های موبایل سلولی پیش برود. علاوه بر این، این مساله می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها و مصرف انرژی برای کاربران شود و از تمایل کاربران در به انجام رساندن وظایف حسگری می‌کاهد. از سوی دیگر، ارتباطات گوشی به گوشی[۲] یک الگوی ارتباطی بی‌سیم جدید است که در آن دستگاه‌ها می‌توانند بدون استفاده از ایستگاه پایه یا شبکه اصلی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و داده‌های خود را به صورت فرصت‌طلبانه به اشتراک بگذارند [۶]. این الگو در نسل پنجم شبکه‌های سلولی گنجانده شده است و زمینه را برای شکل‌گیری بهتر چنین ارتباطاتی فراهم آورده است [۹]. سیستم‌های حسگری جمعی می‌توانند از آن برای کاهش هزینه کاربران و افزایش تمایل آنها برای مشارکت استفاده کنند [۳].

از سوی دیگر، مشارکت کاربران در شبکه‌های حسگری جمعی نیز به دلیل استفاده از منابع باتری یا قرار

[2]Device-to-Device Communications

دادن خودشان در معرض تهدیدهایی نظیر مسائل حریم خصوصی، اغلب داوطلبانه است [۱۴]. از این جهت، یکی از چالش‌های اصلی شبکه‌های حسگری جمعی داوطلبانه بودن مشارکت کاربران در این شبکه‌ها و نیاز به تشویق آنها به مشارکت است [۵]. از این رو، جلب مشارکت کاربران یک فاکتور حیاتی برای موفقیت انتقال اطلاعات در این نوع شبکه است و ارائه مشوق‌هایی به کاربر جهت افزایش مشارکت آنها می‌تواند در طراحی مکانیزم‌های انتقال بسیار موثر باشد.

در اینجا این سوال مطرح است که بر اساس شرایط سیستم حسگری توضیح داده شده، چگونه می‌توان با بکارگیری ارتباطات گوشی به گوشی و ارائه مشوق به کاربران سرعت انتقال اطلاعات در شبکه‌های حسگری جمعی با چند ناشر را بهبود داد. بر این اساس، تا جایی که مطلع هستیم این اولین مطالعه‌ای است که به بررسی ارائه راهکاری برای افزایش نرخ انتقال اطلاعات به چندین ناشر علاقمند به داده‌های حسگری در یک شبکه حسگری جمعی بر اساس ارتباطات گوشی به گوشی می‌پردازد و مکانیزم مشوقی را به منظور افزایش مشارکت کاربران ارائه می‌کند.

ادامه این مقاله به شرح مقابل سازمان‌دهی شده است. بخش دوم به مروری بر پیشینه تحقیق می‌پردازد. در بخش سوم روش پیشنهادی به تفصیل شرح داده می‌شود. در بخش چهارم روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نتایج ارزیابی عملکرد گزارش می‌شود و مورد تفسیر قرار می‌گیرد. نهایتا بخش پنجم به نتیجه گیری اختصاص یافته است.

۲ پیشینه پژوهش

با توجه به حرکت کاربران که منجر به ارتباط ناپایدار آنها می‌شود، مسئله انتقال داده‌های حس شده را می‌توان مشابه انتقال داده در شبکه‌های فرصت‌طلبانه موبایل دانست. در دیدگاه ارتباطات فرصت‌طلبانه گوشی به گوشی، حرکت کاربران منجر به ارتباط ناپایدار آنها می‌شود. اما با توجه به شرایط خاص داده‌های حسگری و با توجه به وظایف مشخص شده ناشران، برخی از مطالعات انجام شده به بررسی روش‌هایی برای مسیریابی انتقال اطلاعات به علاقمندان داده‌های حس شده در شبکه‌های حسگری جمعی پرداخته اند و روش‌هایی را برای آن ارائه داده‌اند. به عنوان مثال، وانگ و همکاران [۱۰] به ارائه راهکاری برای جمع‌آوری داده‌های حسگری جمعی با استفاده از ارتباطات گوشی به گوشی پرداخته‌اند و راهکاری را با در نظر گرفتن شرایط کاربران، زمان و مکان در نظر گرفته‌اند. آنها با تبدیل روند حرکت کاربر به یک گراف وزن‌دار جهت‌دار یک مساله جستجوی مسیر را تشکیل می‌دهند و با یک راهکار بهینه‌سازی حریصانه بازگشتی مساله را حل کرده‌اند. اما راهکار ارائه شده تنها مسیریابی برای یک هدف را مد نظر قرار می‌دهد و بنظر نمی‌رسد راهکار ارائه شده قابل توسعه به مسیریابی برای چند هدف باشد.

یانگ و همکاران [۱۱] به موضوع استفاده از ارتباطات فرصت‌طلبانه با برد کوتاه و ارتباطات شبکه‌های سلولی موبایل به صورت ترکیبی پرداخته اند تا هزینه استفاده از شبکه و باتری دستگاه را کاهش دهند و یک راه حل بهینه برای مسئله ارائه دهند. اما راهکار ارائه شده بر ارتباطات کوتاه برد نظیر وای‌فای و بلوتوث متمرکز است و قابلیت توسعه به ارتباطات با برد بلند گوشی به گوشی با تعداد کاربران بالا که مورد هدف این

پژوهش بوده است را ندارد.

اگر چه این مکانیزم‌های معرفی شده می‌توانند راهکار جایگزینی برای انتقال داده به ناشرین ارائه دهند اما فرض اکثر آنها همکاری کاربران در شبکه فرصت‌طلبانه است. درحالیکه در یک شبکه حسگرجمعی مشارکت کاربران داوطلبانه است و این مسئله موفقیت این راهکارها در محیط حسگرجمعی را کاهش می‌دهد. از این جهت مطالعاتی ارائه مکانیزم‌های تشویقی را بدین منظور مورد نظر قرار داده‌اند. بخشی از این مطالعات به ارائه مشوق برای ارتباطات تک‌هاپه و خارج از شبکه سلولی برای کاهش هزینه پرداخته‌اند. در این روش‌ها اگر مقصد اطلاعات مستقیما با کاربر روبرو شود می‌تواند اطلاعات خود را از آن دریافت کنند و یا حداکثر از تعداد ثابتی گره میانی استفاده شود. به عنوان نمونه، زان و همکاران [۱۳] و [۱۲] به ارائه مکانیزمی تشویقی برای انتقال داده‌های حساس به زمان برای جمع‌آوری داده‌ها در شبکه‌های فرصت‌طلبانه پرداخته است. این روش نیز از ارتباطات گوشی به گوشی بهره برده است. در این روش، داده‌ها پس از تولید به صورت چندین‌هاپه به سمت مقصد منتقل می‌شوند. انتخاب گره‌های رله میانی با استفاده از راه‌حل چانه‌زنی نش انجام می‌شود. این روش اگرچه مکانیزم مناسبی را برای انتقال در شبکه‌های فرصت‌طلبانه ارائه می‌دهد، اما موضوع نوع داده‌ها که همان وظایف انجام شده مورد انتظار ناشرین در شبکه‌های حسگرجمعی هستند مورد توجه قرار نگرفته است. از این جهت، تصمیم‌گیری برای هدایت داده‌ها بر اساس نوع آنها و یا چندین مقصد میسر نیست و داده‌ها را می‌توان تنها به سمت یک مقصد خاص هدایت کرد.

۳ روش پیشنهادی

در این بخش یک مکانیزم تشویقی برای مدل انتقال داده شرح داده می‌شود تا بوسیله آن بتوان کاربران را به همکاری با یکدیگر تشویق کرد. در این مدل انتقال داده، تولیدکنندگان داده در ازای تحویل داده به ناشرین از آنها پاداش دریافت می‌کنند. این کاربران حاضرند تا به منظور تحویل داده‌هایشان به ناشرین علاقمند از سایر کاربران کمک بگیرند و به آنها پاداش یا اعتبار پرداخت کنند. بنابراین کاربری که داده‌ای را به ناشر تحویل می‌دهد می‌تواند از کاربر تولیدکننده آن داده پاداش دریافت کند. اما این مسئله که چگونه تولیدکننده می‌تواند بفهمد کدام کاربر به تحویل داده کمک کرده است و همچنین چگونه تحویل‌دهنده می‌تواند پاداش خود را دریافت کند، از چالش‌هایی است که باید در مکانیزم پیشنهادی در نظر گرفته شود. در این مکانیزم، کاربران داده‌های حسگری خود را تولید می‌کنند و آنها را برای ناشرین علاقمند می‌فرستند. در این مکانیزم کاربرانخودخواه و با رفتار منطقی فرض می‌شوند که با در نظر گرفتن منافع خود و تنها در صورتی که از آن سود ببرند، انتقال داده را انجام می‌دهند.

بدین منظور، هر داده ای که تولید می‌شود، به همراه آن یک حواله نیز تولید می‌شود و به آن یک شناسه خاص غیرقابل تغییر و یک بها اختصاص می‌یابد. بهای حواله d با d نشان داده می‌شود و نشان دهنده مقدار اعتباری است که تولید کننده داده d در قبال رساندن داده‌اش به دست ناشران پرداخت می‌کند. به هنگام تحویل داده به ناشر، حواله‌ی آن داده توسط ناشر امضا می‌شود و به کاربر تحویل داده می‌شود. حداکثر تحویل داده‌ی d که با h_d نمایش داده می‌شود، تعیین کننده حداکثر تعداد ناشرانی است که قرار است داده

را تحویل بگیرند. ناشران علاقمند به جمع‌آوری انواع مختلفی داده هستند. برای هر داده یک نوع درنظر گرفته می‌شود که با i نمایش داده می‌شود.

برای آنکه مشخص شود هر کاربر با چه احتمالی با ناشرین علاقمند به نوع داده i به طور مستقیم یا غیرمستقیم ارتباط دارد، از ارتباط نزدیک استفاده می‌شود. ارتباط نزدیک مستقیم در صورتیکه کاربر u مستقیما با یکی از ناشرین علاقمند به نوع داده i برخورد کند، طبق معادله ۱ بروزرسانی می شود. در صورتی که کاربر بطور غیرمستقیم و از طریق کاربر v با یکی از ناشرین علاقمند به نوع داده i برخورد کند، ارتباط نزدیک غیرمستقیم طبق معادله ۲ بروزرسانی می‌شود. α و β عددی ثابت بین صفر و یک هستند که تاریخچه‌ای از ارتباطات نزدیک قبلی کاربر را نگهداری می‌کنند. در صورتیکه طی یک بازه زمانی مشخص کاربر با هیچ ناشر یا کاربر دیگری برخورد نداشته باشد، این ارتباطات بروزرسانی می شوند. ارتباط نزدیک کلی کاربر u با یک ناشر با استفاده از ارتباط نزدیک مستقیم و غیرمستقیم طبق معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$Y_u^{(i)} := \begin{cases} (1-\alpha)Y_u(i) + \alpha & \text{contact} \\ (1-\alpha)Y_u(i) & \text{Timeout} \end{cases} \quad (1)$$

$$Z_u^{(i)} := \begin{cases} (1-\beta)Z_u(i) + \beta Y_v(i) & \text{contact} \\ (1-\beta)Z_u(i) & \text{Timeout} \end{cases} \quad (2)$$

$$X_u(i) = 1 - (1 - Y_u(i))(1 - Z_u(i)) \quad (3)$$

هنگامی که دو کاربر به هم می‌رسند، هر کدام به دنبال آن است که با مبادله داده یا حواله منافع خود را به حداکثر برساند. برای این منظور کاربران باید بتوانند ارزش هر داده یا حواله را تخمین بزنند. ارزش یک داده به دو عامل بستگی دارد. اولین عامل مربوط به احتمال برخورد کاربر با ناشران علاقمند است. هرچه این احتمال بالاتر باشد، داده نیز با ارزشتر می‌شود. دومین عامل مربوط به حداکثر تحویل است. هر چه این عدد بزرگتر باشد، احتمال تحویل داده به تعداد بیشتری ناشر علاقمند وجود دارد و در نتیجه احتمال دریافت پاداش بیشتر است.

بدلیل پیچیدگی بروزرسانی حداکثر تحویل برای داده‌ها و به منظور تسهیل در تعیین ارزش داده و مبادله آن، کاربر برای هر داده به اندازه h_d داده مجازی درست می‌کند. معادله ۴ نشان‌دهنده ارزش بالقوه داده مجازی d' و پاداش مجازی داده است که با $R_u^{d'}$ نشان داده شده است و مشخص می‌کند کاربر u با مبادله داده مجازی d' چه مقدار اعتبار می‌تواند به دست آورد. در این معادله $v_{d'}$ بهای حواله مربوط به داده d است و $X_u^{(i)}$ نشان‌دهنده ارتباطات کاربر u با ناشران علاقمند به نوع داده i است. به شکل مشابه، برای تسهیل در تعیین ارزش یک حواله از پاداش مجازی حواله استفاده می‌شود.

$$R_u^{d'} = v_{d'} \times X_u(i) \quad (4)$$

فرض کنیم کاربر u با کاربر دیگر ملاقات می‌کند و داده‌هایی در این بین مبادله می‌شود. φ_u و $\hat{\varphi}_u$ به ترتیب مجموعه‌ای از داده‌های کاربر u قبل و بعد از مبادله هستند. منفعت شخصی که کاربر u از مبادله داده‌ها به دست می‌آورد با s_u^d نشان داده می‌شود و با معادله ۵ محاسبه می‌گردد. منفعت شخصی حاصل از مبادله حواله‌های امضاشده نیز بطور مشابه محاسبه می‌شود.

$$S_u^d = \sum_{d \in \hat{\varphi}_u} R_u^d - \sum_{d \in \varphi_u} R_u^d \qquad (۵)$$

بدلیل خودخواه بودن کاربران، هر کاربر قصد دارد در صورت تبادل داده منفعت شخصی خود را به حداکثر برساند. برای اینکه کاربر u بتواند بهترین تصمیم را در خصوص تبادل داده ها بگیرد از تابع سودمندی آمده در معادله ۶ استفاده می‌شود که در آن P_u نشان‌دهنده تابع سودمندی کاربر u است. φ_u و $\hat{\varphi}_u$ به ترتیب مجموعه‌ای از داده‌ها قبل و بعد از مبادله داده هستند.

$$\max \quad P_u = \sum_{d \in \hat{\varphi}_u} R_u^d - \sum_{d \in \varphi_u} R_u^d \qquad (۶)$$

۱.۳ مکانیزم تشویقی

بر اساس مدل انتقال داده مطرح شده، مکانیزم تشویقی پیشنهادی در ادامه در پنج مرحله توصیف شده است. لیست L_u نشان‌دهنده این مجموعه‌ی داده‌های توصیفی برای داده‌های متعلق به کاربر u است و لیست E_u ارتباطات نزدیک کاربر u را نشان می‌دهد.

در اولین مرحله، هر کاربر به صورت متناوب کشف همسایه انجام می‌دهد. بدین منظور، هنگامی که کاربر u با کاربر یا ناشر همسایه v که در فاصله نزدیک او قرار دارد ملاقات می‌کند، کاربر u لیست های L_u و E_u را برای همسایه v ارسال می کند و همزمان همسایه v نیز لیست های L_v و E_v خود را برای کاربر u می‌فرستد. سپس بر اساس لیست‌های بدست آمده از همسایه v اطلاعات خود را در مورد داده های φ_v و حواله های ψ_v بروزرسانی می‌کند. این اقدام منجر به تشکیل یک لیست کاندید مبادله داده به نام K_u به صورت $K_u = \varphi_v - (\varphi_u \cap \varphi_v)$ و یک لیست کاندید مبادله حواله به اسم $\hat{K}_u$ به صورت $\hat{K}_u = \psi_v - (\psi_u \cap \psi_v)$ می شود. این دو لیست در واقع نشان دهنده داده‌ها یا حواله‌هایی است که در گره v موجود هستند اما در گره u نیستند.

در دومین مرحله اگر u یک ناشر باشد و علاقمند به چند نوع داده در لیست k_u باشد، آن داده ها را از همسایه v خود درخواست می‌کند. بعد از دریافت هر داده، ناشر u یک کپی از حواله مربوط به آن داده را برای کاربر v امضا می‌کند و به او تحویل می‌دهد. در سومین مرحله کاربر u لیست کاندید مبادله حواله $\hat{k}_u$ را بررسی می‌کند و اگر حواله‌ای در این لیست بنام وی بود باید بهای آن را پرداخت کند. بدین منظور وی باید اعتبار کاربر v را معادل با بهای داده‌ی آن حواله افزایش دهد. کاربر v بعد از دریافت اعتبار، آن حواله‌ها را از ψ_v حذف می‌کند.

در چهارمین مرحله کاربران u و v به بررسی اینکه کدام داده‌ها و حواله‌ها باید معامله شوند می‌پردازند و بر سر انتخاب داده‌ها و حواله‌ها چانه‌زنی می‌کنند. این مرحله می‌تواند به صورت یک بازی همکارانه دونفره در نظر گرفته شود و یک رویکرد اکتشافی برای رسیدن به راه‌حل بهینه اعمال شود. در مرحله آخر، دو کاربر u و v داده‌های انتخاب شده در لیست‌های L'_u و L'_v و همچنین حواله‌های انتخابی در دو لیست L''_u و L''_v را با یکدیگر مبادله می‌کنند.

اگر فرض را بر این بگذاریم که کاربران رفتار منطقی دارند، می‌توانیم تعامل بین دو کاربر را به صورت یک بازی همکارانه دو نفره مدلسازی کنیم. راه‌حل بهینه برای بازی همکارانه دو نفره با به حداکثر رساندن حاصلضرب زیر ارائه می‌شود [۷].

$$\left(\hat{P}_u, \hat{P}_v\right) = \arg\max\left(P_u - D_u\right) \times \left(P_v - D_v\right) \quad (۷)$$

در معادله ۷ زوج مرتب (D_u, D_v) نقطه وضعیت کنونی بر روی تابع را نشان می‌دهد که در کار ما بر روی (۰،۰) تنظیم می‌شود. $\hat{P}_u$ و $\hat{P}_v$ به ترتیب بازده سودمندی گره های u و v هستند که باید عددی مثبت باشند تا بتوان به یک راه حل امکان پذیر دست یافت. P_u و Pv توسط مجموعه داده‌های مبادله شده تعیین می‌شود که در معادله ۶ نشان داده شده است. راه‌حل بهینه نهایتا منجر به تولید یک مجموعه از داده‌هایی می‌شود که باید بین کاربر u و v مبادله شوند. بررسی تمام ترکیبات ممکن داده‌ها می‌تواند زمان نمایی داشته باشد. جهت رفع این مشکل یک رویکرد اکتشافی ساده به کار گرفته می‌شود به این صورت که در هر لحظه فقط یک جفت داده در نظر گرفته می‌شود و حاصلضرب برای آن محاسبه می‌شود.

۲.۳ الگوریتم حراج آنلاین توزیعی

حواله اعتبار واقعی نیست و نمی‌توان مستقیما از آن برای پرداخت پاداش تحویل داده استفاده کرد. چراکه تحویل‌دهنده بایستی مستقیما با تولید کننده داده ملاقات داشته باشد تا بتواند حواله امضا شده خود را به اعتبار تبدیل کند. فرایند این تبادل به عنوان یک مدل حراج فرموله شده است تا سود خریدار را به حداکثر برساند. حراج آنلاین یک نوع مزایده از طریق شبکه‌های کامپیوتری است که در آن قیمت کالاها و خدمات در انتهای یک فرجه زمانی به خریداران مشخص می‌شود. خریداران باید بدون اطلاع از قیمت نهایی، قیمتی را پیشنهاد دهند که قابل لغو نیست و بالاترین پیشنهاد به عنوان برنده انتخاب خواهد شد.

در این حراج که برگرفته از مسئله منشی است، یک کاربر به عنوان خریدار و یک کاربر به عنوان فروشنده یک حواله وارد مکانیزم حراج می‌شوند. فروشنده با خریداران یکی پس از دیگری ملاقات می‌کند و در نتیجه از پیشنهاداتی که در آینده توسط سایر خریداران ممکن است دریافت کند خبری ندارد. بنابراین، می توانیم هر حواله را به عنوان یک موقعیت منشی‌گری در نظر بگیریم و به دنبال انتخاب بهترین خریدار حواله از بین تمام خریداران باشیم. ما مکانیزم حراج آنلاین را بر اساس مکانیزم معرفی شده در [۱] طراحی می‌کنیم که توسط الگوریتم ۱ نمایش داده شده است. فرض می‌کنیم همه خریداران دارای چگالی زمانی رسیدن مستقل a بر روی بازه زمانی $[T, ۰]$ هستند و A نشان‌دهنده تابع توزیع زمان رسیدن مربوطه باشد که به صورت معادله ۸ در زیر نمایش داده می‌شود.

الگوریتم ۱. الگوریتم حراج آنلاین توزیعی

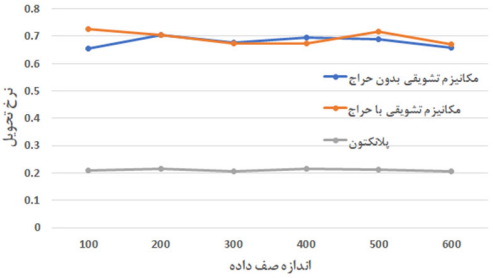
Input: *time, bid, maxBid*
Output: *Bid acceptance*
if *bid* >= *highestPrice* **then**
  return *true*
end if
waitingTimeLimit ← τ , where $A(\tau) = 1 / e$
if *time* < *waitingTimeLimit* **then**
  if *bid* > *maxBid* **then**
    return *maxBid* = *bid*
  end if
  return *false*
end if
if *bid* > *maxBid* ***and*** *bid* >= *lowestPrice* **then**
  return *true*
end if
return *false*

$$A(t) = \int_{\cdot}^{t} a(s)\, ds, \cdot \leq t \leq T \qquad (۸)$$

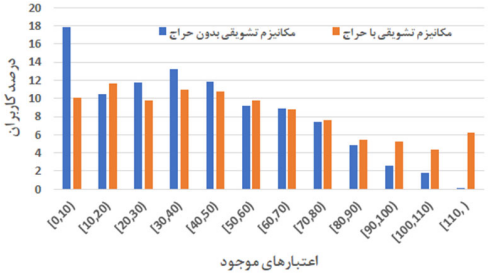
۴ ارزیابی کارایی

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه می‌شود و کارایی روش پیشنهادی بررسی می‌شود. جهت ارزیابی، روش پیشنهادی با روش پلانکتون [۲] مقایسه می‌شود. پلانکتون یک الگوریتم مسیریابی است که کاربران همگی خودخواه هستند و مشارکتی در انتقال داده‌ها انجام نمی‌دهند. در این شبیه‌سازی تعداد ناشران ۴، انواع علاقمندی ۱۰، تعداد کاربر ۱۰۰، اندازه صف داده ۱۰۰، نرخ تولید داده ۱ داده در هر ۱۵ دقیقه، تعداد علاقمندی‌های هر ناشر ۵، اعتبار اولیه هر کاربر ۱۰۰ و بهای حواله ۱ در نظر گرفته شده است.

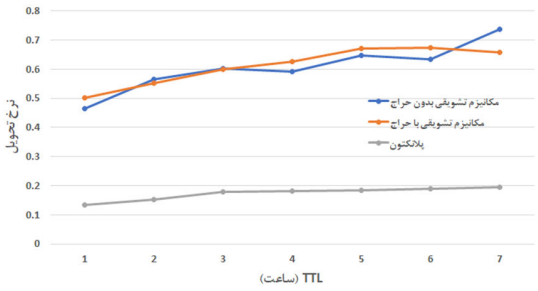
در ابتدای شروع فعالیت کاربران در شبکه اعتباری در اختیار آنها قرار می‌گیرد که از طریق آن می توانند به انتشار داده‌ها در شبکه اقدام کنند. هرچه یک کاربر اعتبار بیشتری داشته باشد، می‌تواند داده‌های بیشتری را انتشار دهد. هر چه توزیع اعتبار و دریافت وجه حواله‌های حاصل از تحویل داده‌ها در شبکه روانتر انجام گیرد احتمال مواجه شدن کاربران با کمبود اعتبار کمتر است. شکل ۲ توزیع اعتبارهای موجود در خاتمه شبیه‌سازی را برای روش پیشنهادی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد فرایند حراج به کاربران کمک کرده



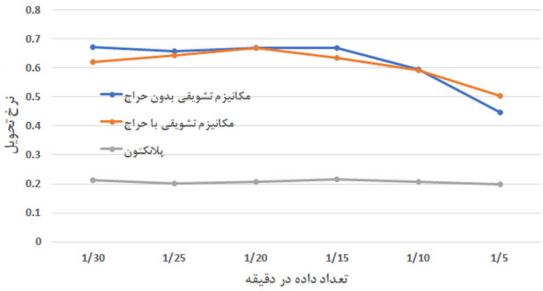
شکل ۳. نرخ تحویل تحت افزایش اندازه صف داده



شکل ۲. توزیع اعتبارهای موجود



شکل ۵. نرخ تحویل تحت TTLهای مختلف



شکل ۴. تاثیر نرخ تولید داده بر روی نرخ تحویل

است تا تعادل خوبی در تولید و مصرف اعتبار داشته باشند و بتوانند به طور مداوم داده‌های خود را منتشر کنند.

شکل‌های ۳ الی ۵ روند کارایی را با تغییر پارامترهای شبکه مانند اندازه صف، بار ترافیک و TTL نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، با افزایش یافتن اندازه صف، نرخ تحویل همه روش‌ها کمی افزایش پیدا می‌کند زیرا کاربران با داشتن صف طولانی‌تر می‌توانند داده‌های بیشتری را برای مدت طولانی‌تری نگهداری کنند. اما تاثیر افزایش اندازه صف بر روی دو روش مکانیزم تشویقی بدون حراج و با حراج به صورت جزئی است و نرخ تحویل نسبت به روش پلانکتون بالاتر است. کارایی روش‌های پیشنهادی تحت بار ترافیک مختلف نیز مورد ارزیابی قرار گرفت و نرخ تولید داده از یک داده در هر ۳۰ دقیقه شروع شد و تا یک داده در هر ۵ دقیقه افزایش یافت. نتایج در شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش بار ترافیک و وارد شدن ترافیک بیشتر به شبکه نرخ تحویل در همه روش‌ها کاهش پیدا کرده است. این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که اندازه صف کاربران محدود است و کاربران ناچار به حذف داده‌های قبلی خود در صف پر شدن صف هستند. اما همچنان در روش‌های پیشنهادی، نرخ تحویل بالاتر است. برای مشاهده میزان تاثیر TTL بر نرخ تحویل، این میزان از ۱ ساعت به ۷ ساعت تغییر داده شد. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با افزایش TTL روش‌های پیشنهادی می‌توانند داده‌های بیشتری را به ناشران انتقال دهند.

۵ نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مکانیزم تشویقی جهت تشویق کاربران به همکاری در انتقال داده‌های تولید شده در شبکه‌های حسگری جمعی بر پایه ارتباطات گوشی به گوشی ارائه شد. در این مکانیزم تشویقی، کاربران داده‌های تولید شده خود را با دیگر کاربران مبادله می‌کنند و آنها را در شبکه انتقال می‌دهند تا داده‌ها به دست ناشرین علاقمند رسانده شوند. مبادله داده بین کاربران به صورت یک بازی همکارانه دونفره مدلسازی شد و راه‌حل آن با یک رویکرد اکتشافی به دست آمد. در مکانیزم ارائه شده تولیدکنندگان داده به کاربرانی که در انتقال داده‌هایشان همکاری داشته‌اند اعتبار پرداخت می کنند و برای هر کاربر یک حواله صادر می‌کنند. علاوه بر این، جهت تسریع گردش اعتبارات در شبکه، یک الگوریتم حراج آنلاین برای حواله‌ها معرفی شد. در آخر نیز جهت ارزیابی و مقایسه عملکرد روش پیشنهادی، شبیه‌سازی صورت گرفت. نتایج شبیه‌سازی راهکار پیشنهادی حکایت از بهبود نرخ تحویل داده و بهبود گردش اعتبار در شبکه دارد.

مراجع

[1] D. Yang, G. Xue, X. F., and Tang, J. "Crowdsourcing to smartphones: Incentive mechanism design for mobile phone sensing". *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking* (2012).

[2] Guo, X. F., and Chan, M. C. "Plankton: An efficient DTN routing algorithm". *2013 IEEE International Conference on Sensing, Communications and Networking (SECON)* (2013), 550–558.

[3] Hou, H., Jin, H., and Liao, X. "Cost Efficient Edge Service Placement for Crowdsensing via Bus Passengers". *IEEE Access 26*, 2 (2021), 899–908.

[4] Kraft, R., Reichert, M., and Pryss, R. Towards the Interpretation of Sound Measurements from Smartphones Collected with Mobile Crowdsensing in the Healthcare Domain: An Experiment with Android Devices". *Sensors 22*, 1 (2022).

[5] Li, Y., Li, F., Yang, S., Zhou, P., Zhu, L., and Wang, Y. "Three-stage stackelberg long-term incentive mechanism and monetization for mobile crowdsensing: An online learning approach". *IEEE Transactions on Network Science and Engineering 8*, 2 (2021), 129–153.

[6] Malik, P. K., Wadhwa, D. S., and Khinda, J. S. "A survey of device to device and cooperative communication for the future cellular networks". *International Journal of Wireless Information Networks 27*, 3 (2022), 411–432.

[7] Nash, J. "Two-Person Cooperative Games". *Econometrica 21*, 1 (1953), 128–140.

[8] Nguyen, T. N., and Zeadally, S. "Mobile crowd-sensing applications: Data redundancies, challenges, and solutions". *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT) 22*, 2 (2021), 1–15.

[9] Ree, M. D., Mantas, G., Radwan, A., Mumtaz, S., Rodriguez, J., and Otung, I. E. "Key management for beyond 5G mobile small cells: A survey". *IEEE Access 7* (2019), 59200–59236.

[10] Wang, L., Yu, Z., Yang, D., Ku, T., Guo, B., and Ma, H. "Collaborative mobile crowdsensing in opportunistic D2D networks: A graph-based approach". *ACM Transactions on Sensor Networks 15*, 3 (2019), 1–30.

[11] Yang, S., Adeel, U., and McCann, J. "Backpressure meets taxes: Faithful data collection in stochastic mobile phone sensing systems". *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)* (2015), 1490–1498.

[12] Zhan, Y., Xia, Y., Liu, Y., Li, F., and Wang, Y. "Incentive-aware time-sensitive data collection in mobile opportunistic crowdsensing". *IEEE Transactions on Vehicular Technology 66*, 9 (2017), 7849–7861.

[13] Zhan, Y., Xia, Y., Zhang, J., and Wang, Y. "Incentive mechanism design in mobile opportunistic data collection with time sensitivity". *IEEE Internet of Things Journal 5*, 1 (2017), 246–256.

[14] Zhao, B., Tang, S., Liu, X., and Zhang, X. "PACE: Privacy-preserving and quality-aware incentive mechanism for mobile crowdsensing". *IEEE Transactions on Mobile Computing 20*, 5 (2020), 1924–1939.

[15] Zheng, X., Yuan, Q., Wang, B., and Zhang, L. *"A Homomorphic Encryption Based Location Privacy Preservation Scheme for Crowdsensing Tasks Allocation"*. Wireless Personal Communications, 2022.