تخصیص بهینه منابع در شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور چندوظیفه‌ای

سیداکبر مصطفوی، مهدی آقاصرام و طیبه سلیمیان

چکیده: در شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور برخلاف شبکه‌های حسگر بی‌سیم سنتی که تنها برای یک کاربرد خاص برنامه‌ریزی شدند، می‌توان روی هر گره شبکه چندین حسگر تعبیه نمود و برای آن چندین وظیفه به طور هم‌زمان تعریف کرد. هر کدام از این گره‌های حسگر دارای یک برنامه مجازی‌سازی هستند که به آنها امکان می‌دهد به صورت یک زیرساخت ارتباطی مشترک به چندین کاربرد مختلف، سرویس ارائه کنند. کاربردهای مختلف حسگری در شبکه می‌توانند توابع هدف و پارامترهای تصمیم‌گیری متفاوتی داشته باشند. با توجه به محدودیت منابع گره‌های شبکه حسگر، تعدد و تنوع وظایف در هر کاربرد، نیازهای کیفیت سرویس متفاوت هر کاربرد و تفاوت توابع هدف برای کاربردهای مختلف، مسئله تخصیص منابع به وظایف می‌تواند بسیار پیچیده باشد. در این مقاله، مسئله تخصیص منابع به کاربردهای مختلف گره‌های حسگر در شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور با هدف تحقق توابع هدف مختلف به صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه فرمول‌بندی می‌گردد و پاسخ بهینه آن ارائه می‌شود. با در نظر گرفتن محدودیت‌های حافظه و انتخاب کوتاه‌ترین مسیر، روش پیشنهادی می‌تواند پاسخ‌های بهتری را در قیاس با روش‌های موجود بیابد.

کلیدواژه: **شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور، تخصیص منابع، بهینه‌سازی.**

۱- مقدمه

پس از سال‌ها استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم خاص‌منظوره و مبتنی بر اجرای یک نرم‌افزار خاص، در سال‌های اخیر ما شاهد ظهور شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور (SDSN)[1] چندوظیفه‌ای[2] به عنوان زیرساخت فیزیکی برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی هستیم. در گذشته شبکه‌های گیرنده بی‌سیم سنتی به صورت یک سیستم عمودی و به گونه‌ای طراحی شده بودند که در آن سخت‌افزار و منابع شبکه تنها برای یک نرم‌افزار خاص طراحی و برنامه‌ریزی شده بود که این رزرو منابع تنها برای یک نرم‌افزار خاص، موجب استفاده نامطلوب از منابع یا به عبارتی هدررفت منابع می‌شد [۱]. همچنین پیکربندی خاص هر نرم‌افزار در این نوع شبکه موجب بروز پیچیدگی و هزینه برای توسعه‌دهندگان شبکه می‌شد. چنین شبکه‌ای عمدتاً در معرض مشکلات زیر است [۲]:

۱) هزینه استقرار بالا: به دلیل تک‌منظوره‌بودن زیرساخت این شبکه‌ها تنها برای یک نرم‌افزار خاص، سازندگان نرم‌افزار و زیرساخت هر دو باید یکسان می‌بودند. به همین جهت ممکن بود با وجود زیرساخت‌ها و سخت‌افزارهای مشابه باز هم به دلیل این که صاحب زیرساخت متفاوت بود، مشابه همان زیرساخت اما با سازنده دیگر مجدداً مستقر شود که این باعث افزایش هزینه استقرار می‌شود.

۲) استفاده مجدد[3] اندک: فروشندگان مختلف، شبکه گیرنده بی‌سیم خود را به صورت جدا و بدون به اشتراک گذاری ویژگی‌های مشترک توسعه می‌دهند و این موجب می‌شود که نتوان از این منابع استفاده دوباره کرد.

۳) بازیابی دشوار سخت‌افزار: به دلیل متفاوت‌بودن زیرساخت‌ها با یکدیگر برای هر نرم‌افزار، کلیه کدهای کنترلی و دستوری از ابتدا باید تغییر یابد که این تغییر کد موجود روی گره‌های حسگر تک‌کاره، دشوار و هزینه‌بر است.

اما ظهور شبکه‌های SDSN این امکان را به وجود آورد که برنامه‌ها مستقل از مالکیت زیرساخت، پیاده‌سازی شوند و حسگرها قادر به انجام وظایف گوناگون محوله‌شده به آنان به طور هم‌زمان با یکدیگر باشند. به این صورت که در معماری شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور، صفحه کنترل[4] و صفحه داده[5] به منظور مدیریت بهتر، کاهش پیچیدگی و افزایش انعطاف‌پذیری شبکه حسگر جدا شده که این جدایی نه تنها مالکیت زیرساخت‌ها و برنامه‌های کاربردی را از یکدیگر جدا می‌کند و آن را انعطاف‌پذیرتر می‌نماید، بلکه امکان استقرار گره‌ها، تعمیر و نگهداری سخت‌افزار و توسعه نرم‌افزار را به صورت آسان‌تری ممکن می‌سازد تا سیستم قابلیت مدیریت توسط افراد مختلف را داشته باشد. این جدایی به صورت یک اتصال سست در نظر گرفته می‌شود، ویژگی‌ای که باعث می‌شود دو جزء سیستم در تعامل با یکدیگر باشند اما برای کار وابسته به همدیگر نباشند. برای پیاده‌سازی چنین شبکه‌ای ما به مجازی‌سازی[6] شبکه‌های حسگر نیاز داریم. مجازی‌کردن شبکه‌های حسگر یک الگوی نویدبخش برای بهبود انعطاف‌پذیری شبکه‌های حسگر بی‌سیم است که با مخفی‌کردن جزئیات زیرساخت از دید لایه‌های بالایی، اجازه می‌دهد تا منابع فیزیکی چنان میان برنامه‌های کاربردی به اشتراک گذاشته شود که این تصور برای هر برنامه به وجود آید که به تنهایی در حال استفاده از منابع است. با مجازی‌سازی، استفاده از منابع کارامدتر شده و سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری در استقرار WSNخواهد شد [۳] تا [۸].

بدین منظور پژوهش‌هایی پیرامون بهینه‌سازی تخصیص منابع در شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور انجام شده که در برخی از آنها مسئله به صورت یک چارچوب ریاضی فرموله‌بندی[7] شده است. این چارچوب پیشنهادی منابع فیزیکی را به برنامه‌های کاربردی هم‌زمان اختصاص می‌دهد در حالی که محدودیت‌های منابع (پردازش، ذخیره‌سازی، پهنای باند موجود و محدوده ارتباطات) را نیز به حساب می‌آورد.

این مقاله در تاریخ ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۱۶ خرداد ماه ۱۳۹۸ بازنگری شد.

سید اکبر مصطفوی (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، (email: a.mostafavi@yazd.ac.ir).

مهدی آقاصرام، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، (email: mehdi.sarram@yazd.ac.ir).

طیبه سلیمیان، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران، (email: t.salimian@stu.yazd.ac.ir).

1. Software-Defined Wireless Sensor Networks
2. Multi-Task
3. Reusability
4. Control Plane
5. Data Plane
6. Virtualization
7. Formulation

در بین معدود کارهای مرتبط در این زمینه [۲] و [۹] تا [۱۱]، هیچ یک مسئله حافظه جریان‌های داده درون شبکه حسگر را به طور کامل مورد بررسی قرار نداده‌اند. همچنین در کارهای موجود فرض می‌شود که گره حسگر داده‌های خود را به تمامی گره‌های همسایه خود ارسال می‌کند. این رویکرد منجر به اتلاف قابل توجه انرژی و همچنین الزام تمامی گره‌های حسگر به فعال‌بودن در شبکه می‌شود. با توجه به موجودبودن کوتاه‌ترین مسیر در هر گره حسگر، می‌توان از این امکان برای کاهش تعداد حسگرهای فعال استفاده کرد.

در این مقاله با توجه به محدودیت‌های کمبود منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و با هدف بیشینه‌سازی تابع هدف برای استقرار بهینه برنامه‌ها روی گره‌های حسگر، مسئله تخصیص برنامه‌های کاربردی به گره‌های حسگر مجازی با توجه به محدودیت‌های منابع و پوشش به صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه[1] مدل‌سازی می‌شود و پاسخ بهینه برای این مسئله محاسبه می‌گردد. همچنین دو محدودیت برای تطابق مسئله بهینه‌سازی با شرایط واقعی پیشنهاد می‌شود. محدودیت پیشنهادی اول، در نظر گرفتن حافظه مصرفی جریان‌های داده درون شبکه حسگر است که موجب می‌شود تعداد جریان‌های عبوری از هر گره حسگر محدود شود. پیشنهاد دوم، افزودن محدودیت ارسال داده صرفاً از طریق کوتاه‌ترین مسیر به چاهک[2] است. این امر موجب کاهش تعداد گره‌های حسگر فعال در شبکه و در نتیجه افزایش طول عمر شبکه می‌شود.

حل مسئله تخصیص برنامه‌های کاربردی به گره‌های حسگر از این جهت حایز اهمیت است که امروزه گره‌های حسگر چندوظیفه‌ای به سرعت در حال توسعه و ارتقا است و استقرار بهینه برنامه‌های کاربردی روی آنها تأثیر بسزایی در عملکرد شبکه حسگر بی‌سیم دارد. در روش‌های موجود، محدودیت‌های مهم حافظه مصرفی ناشی از عبور جریان‌های داده و انتخاب مسیر بهینه در نظر گرفته نشده است. در نظر گرفتن این الزامات می‌تواند منجر به ارائه راهکارهای کارامدتری برای مسایل واقعی شبکه‌های حسگر شود.

ادامه این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲ کارهای مرتبط اخیر در زمینه تخصیص منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم مجازی و نرم‌افزارمحور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۳ مدل سیستم و روش پیشنهادی برای فرمول‌بندی و حل مسئله پایه ارائه می‌شود و سپس دو پیشنهاد برای بهبود مسئله بهینه‌سازی مطرح می‌گردد. در بخش ۴ شبیه‌سازی مسئله انجام شده و عملکرد الگوریتم پیشنهادی در قیاس با سایر کارهای موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نهایتاً در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادهای کارهای آتی ارائه می‌گردد.

۲- کارهای پیشین

مرجع [۹] با بررسی نمونه‌ای از شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور، هدف اصلی خود را حداقل‌کردن انرژی مصرفی حسگرها با حداقل‌کردن تعداد حسگرهایی که برای انجام عملیات حسی فعال می‌شوند، قرار داده است در حالی که کیفیت سرویس نیز تضمین شود. سپس محدودیت‌ها و نیازمندی‌های مسئله به طور مشترک و به صورت یک برنامه عدد صحیح ترکیبی درجه دوم (MIQP)[3] فرمول‌بندی شده است و با خطی‌سازی و صرف نظر از برخی محدودیت‌ها برنامه به یک برنامه خطی ترکیبی عدد صحیح (MILP)[4] با پیچیدگی محاسبات پایین تبدیل می‌شود. به طور کلی کار اصلی در این مقاله در عین توجه به تضمین کیفیت با در نظر گرفتن مقادیر نرخ حس‌کردن حداقلی و نرخ حس‌کردن مؤثر، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی حسگرها برای حداقل‌کردن انرژی مصرفی آنها است.

مقاله [۲] نسبت به مقاله قبلی وارد جزئیات بیشتر شده و منفعت استقرار برنامه‌های کاربردی روی حسگرها را نیز در تابع هدف وارد کرده است. به علاوه، مباحث ارتباطی میان حسگرها مانند تداخل پیوندها با هم در زمان ارسال داده‌ها، لزوم ارسال همه داده‌ها به چاهک نیز در نظر گرفته شده است.

مرجع [۱۰] با در نظر گرفتن یک الگوریتم حریصانه، در تلاش برای انتخاب برنامه با بالاترین منفعت و استقرار روی گره حسگری با کمترین هزینه است. در این مقاله معیار هزینه حسگرها، فاصله تا چاهک در نظر گرفته شده که مبنای این فاصله تعداد پرش تا چاهک است. مرجع [۱۱] برخلاف کارهای قبلی که مجموعه برنامه‌ها را در طول زمان ثابت در نظر گرفته بودند، مجموعه جدیدی با برنامه‌هایی که به صورت پویا در زمان به سیستم وارد می‌شوند را مد نظر قرار داده و سعی در انطباق پویای منابع اختصاص‌یافته دارد. حال برای پاسخ‌گویی به افزایش تقاضاها در شبکه، منابع جدیدی ممکن است اختصاص یابد یا ممکن است منابع موجود مجدداً مورد استفاده قرار گیرد. در صورت افزایش تقاضا ممکن است حسگرهای بیشتری روشن شوند و این به معنای مصرف انرژی اضافی مربوط به فعال‌کردن حسگرهای جدید است. بنابراین برای حل این معضل می‌توان در صورت کمتربودن هزینه حرکت برنامه‌ها از هزینه فعال‌شدن حسگرها، برنامه‌ها را به منظور دسترسی به منابع از محل فعلی خود به گره حسگر دیگری مهاجرت داد.

در [۱۲] به نقد راه‌حل‌هایی پرداخته شده که هدف آنها افزایش طول عمر شبکه با فعال‌کردن گره‌هایی است که انرژی کمتری مصرف می‌کنند و به دلیل این که این کار موجب چند تکه شدن شبکه[5] می‌شود، راه‌حل بهتر این است که به مسئله تعادل در مصرف انرژی پرداخته شود. پس از آن این مقاله به مسئله ارتباط وظایف و برنامه‌ها با یکدیگر و این موضوع پرداخته که ممکن است مقصد داده‌های جمع‌آوری‌شده به جای چاهک، برنامه یا گره‌های دیگر باشد که مالک آن وظیفه مشخص کرده است. بنابراین گرهی برای استقرار مناسب‌تر است که مقدار وزنی کمتری تا گره مقصد داده‌های برنامه‌های ما داشته باشد. این مقدار وزنی از فرمولی بر اساس انرژی باقیمانده گره و انرژی مورد نیاز بر اساس ارسال و دریافت داده به دست می‌آید.

در [۱۳] به مبحث مجازی‌سازی شبکه پرداخته شده و فناوری‌های مجازی‌سازی WSN را در رده‌های مختلف: ۱) مجازی‌سازی در سطح گره‌ها و ۲) مجازی‌سازی در سطح شبکه طبقه‌بندی کرده است. مجازی‌سازی در سطح گره‌های حسگر شبکه امکان استفاده از چند برنامه کاربردی را بر روی یک گره حسگر و استفاده از منابع آن را فراهم می‌کند. مجازی‌سازی در سطح گره می‌تواند وظایف برنامه‌های کاربردی مختلف را به صورت پیوسته (یک به یک به صورت سری) یا به طور هم‌زمان (به صورت زمان برش) اجرا کند. رویکرد اول برای اجرا ساده‌تر است اما کارامدی کمتری دارد زیرا وظایف باید در صف منتظر بمانند. رویکرد بعدی پیچیده‌تر است اما از زمان اجرای طولانی وظایف که منجر به گرسنگی وظایف دیگر می‌شود، جلوگیری می‌کند. در مجازی‌سازی

1. Multi-Objective Optimization
2. Sink
3. Mixed Integer Quadratic Programming
4. Mixed Integer Linear Programming
5. Network Partitioning

سطح شبکه مجموعه‌ای از گره‌های حسگر در شبکه برای انجام وظایف یک برنامه کاربردی در یک زمان معین پیکربندی شده‌اند که این زیرمجموعه از گره‌ها، شبکه حسگر مجازی را ایجاد می‌کند. ایجاد پویای شبکه حسگر مجازی، بهره‌گیری کارامد از منابع را تضمین می‌کند زیرا برنامه‌های کاربردی متعدد می‌توانند بر روی یک زیرساخت مشابه از شبکه استقرار یابند.

مرجع [۱۴] پس از تعریف شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور و نقش مجازی‌سازی در بهبود ساختار معماری شبکه‌های حسگر، پیشنهاد جداسازی نقش‌ها در محیط شبکه را با جداسازی نقش‌های سنتی فراهم‌کنندگان سرویس به دو بخش ۱) فراهم‌کنندگان زیرساخت و ۲) فراهم‌کنندگان سرویس به طور خاص مطرح کرده است. ارائه‌دهندگان خدمات می‌توانند به صورت سفارشی خدمات را برای هر کاربر نهایی با استفاده از اشتراک مؤثر و استفاده منابع لایه‌ای شبکه با اجاره از فراهم‌کنندگان زیرساخت، مستقر و مدیریت کنند. ارائه‌دهنده زیرساخت شبکه حسگر که نقش فراهم‌سازی و مدیریت زیرساخت‌های فیزیکی را بر عهده دارد و همچنین ارائه‌دهنده مجازی شبکه حسگر که به نوعی فراهم‌کننده خدمت محسوب می‌شود، وظیفه استقرار حسگرهای مجازی روی منابع فیزیکی شبکه را بر عهده دارند.

در [۱۵] به توسعه یک نمونه اولیه از SDWSN برای برنامه‌های کاربردی نظارت بر محیط پرداخته شده است در حالی که مدیریت پیچیدگی محاسباتی داده‌ها و مسیریابی داده‌ها در سطح کنترل متمرکز است و اجرای الگوریتم‌های با پیچیدگی کمتر در سطح صفحه داده اجرا می‌شود. مکانیزم مبتنی بر یادگیری تقویتی نیز برای پردازش اطلاعات در صفحه کنترل جاسازی شده که این اطلاعات از تعاملات بین عوامل و محیط برای افزایش هوش در سیاست‌های تصمیم‌گیری به دست می‌آید و مکانیزم‌های خودسازگاری و صرفه‌جویی در انرژی در محیط‌های پویا را بهبود می‌بخشد.

مقاله [۱۶] با هدف استفاده کامل از زیرساخت‌های شبکه و الهام از معماری سرویس‌گرا، برنامه‌های کاربردی را به عنوان مجموعه‌ای از خدمات اولیه ارائه‌شده توسط گره‌های حسگر در نظر می‌گیرد. با استفاده از چنین رویکردی گره‌های حسگر می‌توانند نقش‌های مختلفی را بر اساس خدمات ارائه‌شده خود انجام دهند و شناسایی سرویس‌های مشترک مورد نیاز برنامه‌های مختلف را انجام داده و از آن برای بهینه‌سازی و استفاده از منابع شبکه استفاده کنند. سپس با استفاده از این اطلاعات، پیشنهاد الگوریتم انتخاب و تطبیق تخصیص SERAPH را می‌دهد که می‌تواند به طور مؤثر از منابع سخت‌افزاری ناهمگن استفاده کند و در عین حال کیفیت سرویس دلخواه را برای برنامه‌های متعدد ارائه دهد.

۳- روش پیشنهادی

مهم‌ترین مشکل در شبکه‌های حسگر نرم‌افزارمحور، با توجه به کمبود منابع و تعدد وظایف، مسئله تخصیص بهینه منابع در بین برنامه‌های کاربردی است. برای حل این موضوع، مسئله تخصیص برنامه کاربردی به گره‌های حسگر مجازی به صورت یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه فرمول‌بندی می‌شود و با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی برای آن، پاسخ بهینه محاسبه می‌شود. در این بخش با نگرشی بر الگوریتم‌های تخصیص منابع در گذشته، سعی می‌شود برخی محدودیت‌های [۲] بهبود داده شود تا از مصرف انرژی بر حسب تعداد گره‌های فعال کاسته شده و در عین حال، میزان پوشش اهداف در سطح مناسبی حفظ شود.

۳-۱ مدل سیستم

برای ایجاد سناریوی مورد نظر، مجموعه $S=\{s_1,\ldots,s_n\}$ به عنوان مجموعه گره‌های حسگر، $A=\{a_1,\ldots,a_n\}$ به عنوان مجموعه برنامه‌های کاربردی که در ناحیه مرجع استقرار یافته‌اند و به عنوان مجموعه اهداف[1] در ناحیه مرجع که باید توسط حسگرها پوشش داده شود، در نظر گرفته می‌شود. برای سادگی نمادها از اندیس i برای مشخص‌کردن حسگر مورد نظر، اندیس j برای برنامه کاربردی مورد نظر و اندیس k برای اشاره به هدف استفاده می‌شود. هر برنامه کاربردی j نیاز دارد که مجموعه‌ای از اهداف $T_j \subseteq T$ به وسیله حسگرها پوشش داده شود. بر همین اساس، برنامه کاربردی به نحوی روی زیرمجموعه‌ای از حسگرها استقرار می‌یابد که همه اهداف در T_j پوشش داده شود. علاوه بر این یک هدف به وسیله حسگر i پوشش داده می‌شود اگر در محدوده پوشش آن باشد (R_i^s). محدوده پوشش هر حسگر منطقه‌ای است که حسگر قادر به انجام عملیات حسگری باشد. پس برای این که یک حسگر بتواند یک هدف را پوشش دهد باید دو شرط لازم داشته باشد: ۱) هدف در محدوده پوششی[2] حسگر باشد و ۲) برنامه کاربردی مورد نظر روی حسگر برنامه‌ریزی شده باشد. به این منظور مجموعه S_{jk} را به عنوان مجموعه‌ای از حسگرها که به طور فیزیکی هدف k از برنامه کاربردی j را پوشش می‌دهند، در نظر می‌گیریم به طوری که $k \in T_j$. به عبارت دیگر اگر برنامه کاربردی j روی هر حسگری از مجموعه S_{jk} استقرار یافته باشد، آن گاه هدف k به وسیله این برنامه کاربردی پوشش داده می‌شود. شرط این که برنامه کاربردی j به طور موفقیت‌آمیز استقرار یابد ($z_j=1$) این است که کلیه اهداف مربوط به T_j خودش را پوشش دهد. هر برنامه کاربردی j در مجموعه A به وسیله یک بردار نیازمندی[3] $r_j=\{c_j,m_j,l_l\}$ مشخص می‌شود که به ترتیب نشانگر نرخ منبع مورد نیاز، حافظه و بار پردازشی استفاده‌شده به وسیله برنامه کاربردی برای هنگامی است که بر روی حسگر استقرار می‌یابد. بردار نیازمندی می‌تواند به عنوان مقدار منبع مورد نیاز برای اجرای وظایف ویژه مورد نیاز برنامه کاربردی تفسیر شود. هر حسگر i در مجموعه S به وسیله یک بردار نیازمندی $o_i=\{C_i,M_i,L_i,E_i\}$ مشخص می‌شود که به ترتیب نشانگر پهنای باند در دسترس، قدرت ذخیره‌سازی، قدرت پردازش و انرژی ذخیره‌شده است. علاوه بر این فرض می‌کنیم که یک بردار اولویت در تمام m برنامه کاربردی تعریف شده که در آن q_i نشان‌دهنده منفعت برای ارائه‌دهنده شبکه برای داشتن برنامه کاربردی j است که به طور موفقیت‌آمیز در شبکه مستقر شده است. z_i نیز یک متغیر دودویی است که نشان‌دهنده این است که برنامه کاربردی j به طور موفقیت‌آمیز در شبکه مستقر شده است. y_{ijk} نیز یک متغیر دودویی است که نشان می‌دهد هدف k از برنامه کاربردی j متعلق به حسگر i به طور موفقیت‌آمیز استقرار یافته و به عبارتی می‌توان گفت هدف پوشش داده شده است. متغیر x_i نیز یک متغیر دودویی است که نشان‌دهنده فعال‌بودن حسگر است. متغیر h_{jk} را به این صورت تعریف می‌کنیم که اگر هدف k متعلق به مجموعه T_j باشد آن گاه تنها حسگرهایی قادر به پوشش این هدف هستند که برنامه کاربردی j روی آنها استقرار یافته باشد.

1. Targets
2. Sensing Range
3. Requirement Vector

۳-۲ مسئله بهینه‌سازی

مسئله بهینه‌سازی تخصیص برنامه کاربردی در شبکه‌های حسگر مجازی را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد: بیشینه‌سازی تعداد وزن‌دار برنامه‌های کاربردی تخصیص‌یافته مشروط به برآورده‌سازی قیود پوشش (مجموعه نقاط هدف که هر کاربرد باید پوشش دهد) و نیازمندی‌های برنامه کاربردی (هر کاربرد باید مقدار کافی پهنای باند و منابع پردازشی و حافظه برای عملکرد درست خود داشته باشد). علاوه بر این به دلیل ماهیت چندگامه[1] شبکه‌های حسگر بی‌سیم، باید قیود ظرفیت پیوند و مسیریابی نیز هنگام تولید داده توسط برنامه کاربردی در نظر گرفته شود.

اکنون تابع هدف با هدف به حداکثر رساندن بازده کلی فرایند برنامه‌های کاربردی مستقر و به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به گره‌های حسگر فعال به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\max(\sum_{j\in A} q_j z_j - \sum_{i\in S} x_i \delta_j) \qquad (۱)$$

که در آن متغیر δ_j به عنوان هزینه‌های متحمل‌شده برای فعال‌کردن گره حسگر i در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به تابع هدف بالا، تعدادی محدودیت‌های مرتبط تعریف می‌شود. محدودیت‌های زیر بیانگر آن است که برنامه‌های کاربردی علاوه بر این که باید کلیه اهداف خود را پوشش دهند، باید محدودیت‌های زیر را نیز در نظر بگیرند. محدودیت شماره (۲) به این معنا است که حسگرهایی قادر به پوشش اهداف برنامه کاربردی j هستند که این برنامه کاربردی روی آنها مستقر و اجرا شده باشد. یعنی در یک زمان تنها یک حسگر بین حسگرهای واجد شرایط برای پوشش هدف، برای انجام عملیات حسی انتخاب می‌شود. به عبارت دیگر در یک زمان چند حسگر روی یک هدف تمرکز نمی‌کنند. در محدویت (۳)، یک N_{ij} داریم که نمایانگر حداکثر تعداد نقاط هدف از برنامه کاربردی j است که حسگر i قادر به پوشش آن است. در محدودیت (۳)، z_j تنها در صورتی برابر با یک است که برنامه کاربردی j به صورت موفقیت‌آمیز استقرار یافته باشد، یعنی کلیه اهداف مربوط به T_j پوشش داده شود

$$\sum_{i\in s_{jk}} y_{ijk} = h_{jk} \quad , \quad \forall j\in A, \forall k\in T_j \qquad (۲)$$

$$\sum_{k\in T_j} y_{ijk} \le N_{ij} \quad , \quad \forall i\in S, \forall j\in A \qquad (۳)$$

$$z_j = \frac{\sum_{k\in T_j} h_{jk}}{|T_j|} \quad , \quad \forall j\in A \qquad (۴)$$

محدودیت‌های (۵) و (۶)، محدودیت‌های بودجه‌ای برای ظرفیت ذخیره‌سازی[2] و پردازش بار گره‌های حسگر هستند. به این صورت که مجموع مقادیر فضای اشغال‌شده و بار پردازشی واردشده توسط کلیه اهداف باید به ترتیب از مقدار کل حافظه حسگر و ظرفیت پردازشی حسگر کمتر باشد

$$\sum_{j\in A}\sum_{k\in T_j} m_j y_{ijk} \le M_i \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۵)$$

$$\sum_{j\in A}\sum_{k\in T_j} l_j y_{ijk} \le L_i \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۶)$$

محدودیت (۷) بیان می‌دارد که اگر گره حسگر بخواهد برنامه کاربردی را اجرا کند یا داده دریافت کند باید در شبکه فعال باشد

$$\sum_{\substack{h\in S\\ i\ne h}} f_{hi} + \sum_{j\in A}\sum_{k\in T_j} c_j y_{ijk} \le k x_i \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۷)$$

که در آن متغیر f_{ih} نمایش‌دهنده جریان داده منتقل‌شده از گره i به گره h و k یک ثابت به قدر کافی بزرگ (بزرگ‌تر از حداکثر نرخ انتقال گره) است

$$f_{ih} \le k l_{ih} \quad , \quad \forall i,h\in S \qquad (۸)$$

l_{ih} یک مقدار ثابت است و اگر بین دو گره یک پیوند[3] برقرار باشد، یک می‌شود. به عبارتی اگر فاصله دو گره کمتر از حداکثر برد انتقال[4] حسگر باشد، دو گره همسایه محسوب شده و متغیر l_{ih} برابر یک می‌شود. این محدودیت اطمینان ایجاد می‌کند که داده باید به طور اختصاصی در میان گره‌های همسایه انتقال یابد. این محدودیت باعث می‌شود که جریان تقسیم و چندمسیره شود. محدودیت‌های پایین این امکان را می‌دهد که همه ترافیک خروجی از گره تنها از یک پیوند خارج شود

$$g_{ih} \le l_{ih} \quad , \quad \forall i,h\in S \qquad (۹)$$

$$\sum_{h\in S} g_{ih} \le ۱ \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۱۰)$$

$$f_{ih} \le k g_{ih} \quad , \quad \forall i,h\in S \qquad (۱۱)$$

در اینجا g_{ih} یک متغیر دودویی است که نشان‌دهنده این است که داده از گره i به h انتقال پیدا کرده است. همچنین ما IF_{ih} را به عنوان کسری از زمانی که پیوندها با پیوند (i,h) که دربردارنده جریان داده است، تداخل دارند تعریف می‌کنیم

$$IF_{ih} = \sum_{\substack{g\in S\\ g\ne h}} \frac{f_{ig}}{C_{ig}} + \sum_{g\in S} \frac{f_{gi}}{C_{gi}} + \sum_{\substack{g\in S\\ g\ne i}} \frac{f_{hg}}{C_{hg}} + \sum_{\substack{g\in S\\ g\ne i}} \frac{f_{gh}}{C_{gh}} + \sum_{\substack{g,t\in S\\ d_{it}<R_i^I(p_i)}} \frac{f_{gt}}{C_{gt}} + \sum_{\substack{g,t\in S\\ d_{gh}<R_g^I(p_g)}} \frac{f_{gt}}{C_{gt}} \qquad (۱۲)$$

برای هر پیوند (i,h) در شبکه باید تضمین شود که کسری از زمان که پیوند استفاده می‌شود به علاوه همه تداخلات باید کمتر مساوی یک باشد که این رابطه هم‌ارز با محدودیت‌های بودجه‌ای است. بنابراین محدودیت به شکل زیر خواهد بود

$$\frac{f_{gi}}{C_{gi}} + IF_{ih} \le ۱ \quad , \quad \forall i,h\in S \qquad (۱۳)$$

با توجه به ارتباطات بی‌سیم اتلاف انرژی در فرستنده رادیویی برابر P_i^t و در گیرنده رادیویی P_i^r است که می‌تواند به صورت زیر فرموله شود

$$P_i^t = \sum_{\substack{h\in S\\ h\ne i}} (\beta_۱ + \beta_۲ d_{ih}^{\gamma}) f_{ih} \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۱۴)$$

$$P_i^r = \rho \sum_{\substack{h\in S\\ h\ne i}} f_{hi} \quad , \quad \forall i\in S \qquad (۱۵)$$

سرانجام محدودیت انرژی بیانگر آن است که که الگوی استقرار برنامه کاربردی حداقل طول عمر L برای شبکه حسگر را تضمین می‌کند.

1. Multi-Hop
2. Storage
3. Link
4. Communication Range

جدول ۱: مجموعه متغیرها و پارامترهای مسئله.

مجموعه حسگرها	$S=\{s_1,\ldots,s_n\}$
مجموعه برنامه کاربردی	$A=\{a_1,\ldots,a_n\}$
مجموعه اهداف	$T=\{t_1,\ldots,t_n\}$
پهنای باند موجود/ظرفیت ذخیره‌سازی/قدرت پردازش/انرژی حسگر i	$o_i=\{C_i,M_i,L_i,E_i\}$
نرخ نمونه‌برداری[1] مورد نیاز/حافظه/بار پردازشی برنامه کاربردی j	$r_j=\{c_j,m_j,l_j\}$
حداکثر محدوده انتقال	$R^T_{\max}$
حداکثر محدوده تداخل[2]	$R^I_{\max}$
حداکثر قدرت انتقال	$P_{\max}$
اگر حسگر فعال باشد این متغیر یک می‌شود	x_i
اگر هدف k از برنامه کاربردی j به وسیله حسگر i به طور کامل پوشش داده می‌شود	y_{ijk}
اگر برنامه کاربردی j به صورت موفقیت‌آمیز استقرار یافته باشد	z_j
اگر هدف k متعلق به مجموعه T_j باشد آن گاه تنها حسگرهایی قادر به پوشش این هدف هستند که برنامه کاربردی j روی آنها استقرار یافته باشد.	h_{jk}
منفعت[3] برنامه کاربردی j برای شبکه	q_i
نمایانگر حداکثر تعداد نقاط هدف از برنامه کاربردی j	N_{ij}
هزینه‌های متحمل‌شده برای فعال‌کردن گره حسگر i	δ_i
نمایش‌دهنده جریان داده منتقل‌شده از گره i به گره h	f_{ih}
اگر بین دو حسگر یک پیوند باشد، یک می‌شود	l_{ih}
اگر انتقال داده از گره i به گره h داشته باشیم	g_{ih}
ثابت به قدر کافی بزرگ (بزرگ‌تر از بیشینه نرخ انتقال)	k
توان اتلافی در فرستنده	P^t_i
توان اتلافی در گیرنده	P^r_i

1. Sampling Rate
2. Interference Range
3. Utility

تخمین اتلاف توان ناشی از بار پردازشی در هر گره دشوار است. از این رو در محدودیت شماره (۱۶)، اتلاف توان به صورت تابع f از بار پردازشی برنامه‌های کاربردی در نظر گرفته شده است. این محدودیت بیان می‌کند که میزان توان مصرفی باید به اندازه‌ای باشد که حاصل‌ضرب آن در حداقل طول عمر L شبکه حسگر از میزان ظرفیت انرژی گره فراتر نرود

$$P^t_i+P^r_i+f\left(\sum_{j\in A}\sum_{k\in Tj}y_{ijk}l_j\right)\le\frac{E_i}{L}\quad,\quad\forall i\in S \qquad (۱۶)$$

برای بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی با در نظر گرفتن جدول ۱ و کلیه محدودیت‌هایی که در بالا تعریف شد، دو پیشنهاد زیر ارائه می‌شود.

۳-۳ پیشنهاد اول: افزودن محدودیت جریان‌های ورودی از همسایه‌ها به حافظه مصرفی حسگر

همان طور که در (۵) مشاهده می‌شود، محدودیت حافظه تنها بر اساس داده‌هایی که حسگر طی یک برنامه‌ریزی از محیط پیرامون خود به دست می‌آورد شکل گرفته است. در صورتی که باید توجه داشت مقدار حافظه مصرفی از حسگر نه تنها از داده‌های پیرامون حس شده است بلکه جریان داده‌هایی را که از گره‌های همسایه طی مسیریابی به سمت چاهک هدایت می‌شوند نیز شامل می‌شود و این حافظه اشغال‌شده توسط جریان داده همسایه می‌تواند بر عملکرد حسگرها در انتخاب برنامه کاربردی و پوشش اهداف تأثیر گذارد. برای این منظور، این محدودیت جریان داده را به صورت $\sum_{h\in s,i\ne h}f_{hi}$ به (۵) اضافه می‌کنیم

$$\sum_{j\in A}\sum_{k\in T_j}m_j y_{ijk}+\sum_{\substack{h\in S\\ i\ne h}}f_{hi}\le M_i\quad,\quad\forall i\in S \qquad (۱۷)$$

۴-۳ پیشنهاد دوم: اعمال محدودیت ارسال داده‌ها به نزدیک‌ترین همسایه به چاهک

طبق [۲] دو شرط لازم است تا داده‌ها بتوانند به چاهک فرستاده شوند: ۱) با همسایگان خود دارای پیوند ارسال باشند و زمانی این پیوند موجود است که حسگری در محدوده ارسال حسگر مورد نظر باشد تا این حسگر قادر به ارسال اطلاعات خود به آن باشد. در اینجا $l_{ih}=1$ بیانگر این مفهوم است که حسگر i با حسگر h دارای پیوند ارتباطی است. ۲) همه داده‌ها باید تنها از یک پیوند خارج شوند که در (۱۰) آمده است. اما این رویکرد منجر به ارسال داده‌های بی‌ربط به حسگرهایی می‌شود که هیچ گاه قصد ارسال داده به سمت مقصد را ندارند. از این رو در این مقاله پیشنهاد می‌شود که جریان داده به جای ارسال به هر همسایه تنها به همسایه‌ای ارسال شود که دارای فاصله کمتری تا چاهک باشد. بدین صورت جریان داده به خاطر تعداد پیوند کمتر تا مقصد هم سریع‌تر به مقصد می‌رسد و هم همسایگان دیگر و پیوندهای دورتر را اشغال نخواهند کرد

$$g_{ih}\le l_{ih} \qquad (۱۸)$$

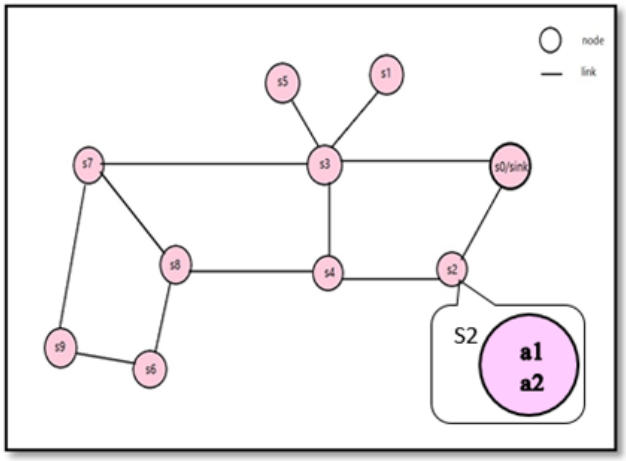
در اینجا به جای l_{ih} که قبلاً ماتریس همسایگی قرار می‌گرفت اکنون ماتریس کوتاه‌ترین مسیر که به وسیله الگوریتم دایکسترا قابل محاسبه است قرار می‌گیرد.

۴- ارزیابی نتایج

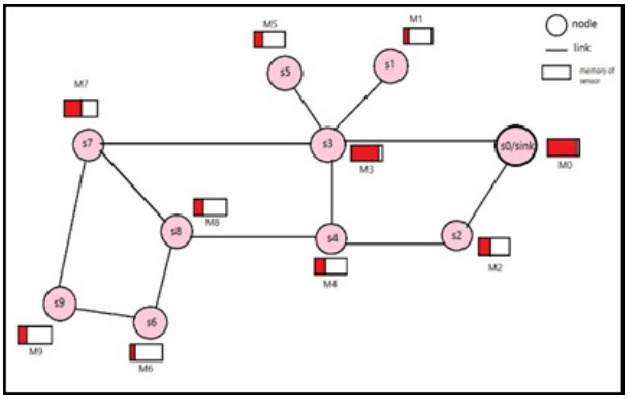
برای پیاده‌سازی مسئله فرمول‌بندی شده در این مقاله و یافتن پاسخ بهینه از نرم‌افزار IBM CPLEX ۱۱ استفاده شده است. برای آزمایش ایده‌های مطرح‌شده، تعداد ۱۰ تا ۳۰ عدد حسگر در یک محیط توزیع‌شده استقرار یافته است. سپس مجموعه S_{jk} شامل برنامه‌های کاربردی که باید روی حسگرها اجرا شود و اهداف تحت پوشش حسگر که در محدوده حسی حسگر هستند، تعیین شده است. این مجموعه شامل یک برنامه کاربردی با کمیت نرده‌ای[1] پایش دما و یک برنامه کاربردی چندرسانه‌ای تشخیص شیء [۱۷] است. فرض می‌شود که حسگرها همگن بوده و دو نوع برنامه کاربردی با بردار نیازمندی متفاوت و به تبع آن حافظه متفاوت روی آنها اجرا می‌شود. برای بررسی بهتر، شبیه‌سازی روی چندین همبندی[2] مختلف با تعداد حسگرهای متغیر انجام گردید و میانگین نتایج در ارزیابی‌ها ارائه شده است.

شکل ۱ نمونه همبندی مورد استفاده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در این همبندی حسگر s۰ به عنوان چاهک در نظر گرفته شده که کلیه داده‌ها باید به آن ارسال شود. خطوط مشکی بین گره‌ها بیانگر پیوند بین

1. Scalar
2. Topology



شکل ۱: همبندی نمونه شبیه‌سازی.



شکل ۲: وضعیت همبندی در سناریوی اول.

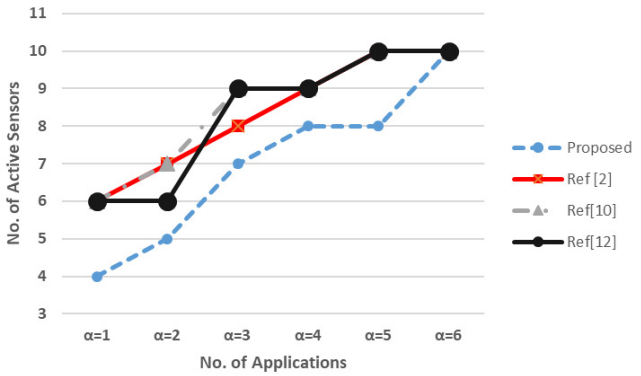
همسایه‌هایی است که در محدوده یکدیگر هستند و داده‌ها می‌توانند به وسیله این پیوندها به چاهک انتقال یابند.

برای ارزیابی نتایج، علاوه بر پیاده‌سازی راهکار بهینه‌سازی پیشنهادی در [۲]، الگوریتم‌های پیشنهادی در [۱۰] و [۱۲] نیز پیاده‌سازی شده است. در [۱۰] یک روش مکاشفه‌ای[1] حریصانه برای تخصیص کاربردها به حسگرهای مجازی پیشنهاد می‌شود که تخمینی از پاسخ بهینه برای تخصیص کاربردها به حسگرهای فعال در شبکه است. در [۱۲] فرض می‌شود که اطلاعات مربوط به انرژی باقیمانده در گره‌های حسگر و اطلاعات مسیریابی جریان‌ها در دسترس است و بر اساس آن، اطلاعات مسیرها و انرژی حسگرها به کنترلر مرکزی در شبکه ارسال می‌شود تا در آنجا بهترین حسگر برای میزبانی هر برنامه کاربردی انتخاب شود.

٤-١ آزمایش پیشنهاد اول

برای آزمایش این پیشنهاد مطابق با همبندی مطرح‌شده در شکل ۱، مجموعه S_{jk} شامل حسگرها با اهداف تحت نظر و برنامه‌های کاربردی موجود را تشکیل داده و تعداد برنامه‌های موجود از هر دو نوع را هر بار افزایش داده و عملکرد شبکه نمونه را بررسی کردیم. سناریو دارای دو نوع برنامه کاربردی با مقدار حافظه مصرفی ۳۵۰۰ و ۱۰۰۶ بایت و حافظه در نظر گرفته شده برای هر حسگر برابر با ۷۰۰۰ بایت می‌باشد. سپس شبیه‌سازی هر بار با شرایط $\alpha = \{1,2,3\}$ (تعداد برنامه کاربردی از هر نوع) انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است.

1. Heuristic



شکل ۳: مقایسه تعداد حسگرهای فعال در همبندی در روش پیشنهادی با سایر روش‌ها.

جدول ۲: نتایج آزمایش سناریوی اول.

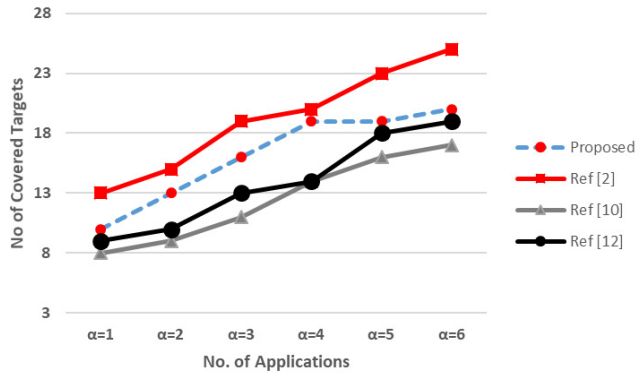
تعداد اپلیکیشن از هر نوع	حافظه مصرفی هر اپلیکیشن	تعداد اپلیکیشن فعال	تعداد حسگر فعال	تعداد پوشش‌ها	مقدار تابع هدف
$\alpha = ۱$	$m_۱ = ۱۰۰۶$ $m_۲ = ۳۵۰۰$	قبل ۲ بعد ۱	قبل ۸ بعد ۷	قبل ۱۷ بعد ۱۰	قبل ۵۳ بعد ۱۸
$\alpha = ۲$	$۲m_۱ = ۱۰۰۶$ $۲m_۲ = ۳۵۰۰$	قبل ۲ بعد ۲	قبل ۹ بعد ۸	قبل ۱۷ بعد ۱۴	قبل ۵۳ بعد ۵۳
$\alpha = ۳$	$۳m_۱ = ۱۰۰۶$ $۳m_۲ = ۳۵۰۰$	قبل ۳ بعد ۲	قبل ۹ بعد ۹	قبل ۱۷ بعد ۲۴	قبل ۱۰۳ بعد ۱۰۳

٤-٢ ارزیابی نتایج پیشنهاد اول

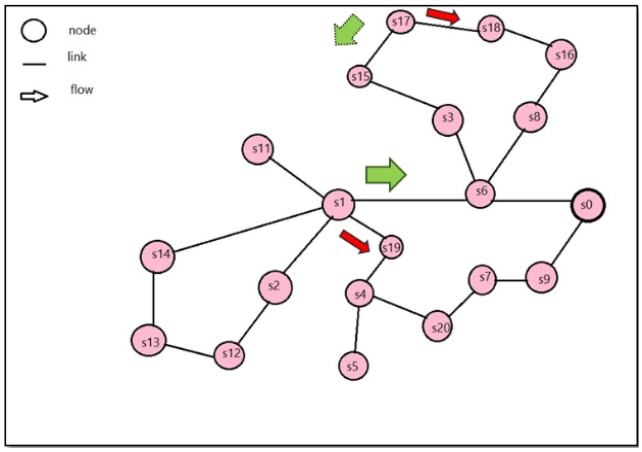
برای ارزیابی پیشنهاد اول که در نظر گرفتن محدودیت جریان‌های واردشده از گره‌های همسایه است، بر اساس همبندی شکل ۲ روش پیشنهادی پیاده‌سازی شد. در روش پیشنهادی، حافظه مورد نیاز برای دریافت جریان‌های ورودی از گره‌های همسایه علاوه بر حافظه مورد نیاز برای اجرای برنامه کاربردی در نظر گرفته می‌شود. این ایده از آن جهت حایز اهمیت است که حافظه‌ای که قبلاً برای استقرار کامل دو برنامه کاربردی کافی بود به دلیل اضافه‌کردن جریان داده همسایه‌ها مقداری از ظرفیت خود را از دست می‌دهد و تنها قادر به پوشش یک برنامه کاربردی خواهد بود. در نتیجه، افزودن جریان واردشده از همسایه‌ها به حسگر تأثیر قابل توجهی بر عملکرد حسگر در انتخاب نوع یا تعداد برنامه‌ها دارد. همچنین اعمال این محدودیت موجب غیر فعال شدن حسگرهایی می‌شود که داده‌های جمع‌آوری‌شده خود را به حسگرهای کلیدی می‌فرستادند.

برای مثال در همبندی شکل ۲ قبل از اعمال روش پیشنهادی حسگر s۵ فعال است و داده‌های خود را به حسگر s۳ که در مسیر ارسال داده‌های این حسگر به چاهک است می‌فرستد. اما با افزودن محدودیت پیشنهادی اول، حسگر s۵ به دلیل پربودن ظرفیت حافظه حسگر s۳ غیر فعال می‌شود و این موجب غیر فعال شدن برنامه‌های مستقر روی حسگر s۵ می‌شود. در نتیجه، منفعت ناشی از برنامه‌های مستقر بر روی این حسگر در بیشینه‌شدن تابع هدف در این حالت حذف می‌شوند و بنابراین مقدار تابع هدف نسبت به قبل کاهش می‌یابد.

شکل ۳ تعداد حسگرهای فعال را بعد از اعمال محدودیت حافظه مصرفی جریان داده همسایه در روش پیشنهادی در قیاس با سایر روش‌های موجود نشان می‌دهد. همان طور که در شکل مشخص است تعداد حسگرهای فعال بعد از اعمال محدودیت کاهش یافته است. این موضوع به این دلیل اتفاق می‌افتد که برنامه‌هایی که حافظه مصرفی بزرگ‌تر روی آنها برنامه‌ریزی شده است به دلیل کمبود حافظه موفق به



شکل ۴: تعداد اهداف پوشش داده شده در روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های موجود.



شکل ۵: همبندی سناریوی دوم.

استقرار نمی‌شوند و بنابراین حسگر متناظر نیز خاموش می‌ماند. در مورد اهداف و برنامه‌های مشترک بین حسگرها نیز حسگرهای مجاوری که برنامه‌های مستقرشده روی آنها حجم کمتری اشغال می‌کنند، گزینه‌های مناسب‌تری هستند. با کاهش تعداد برنامه‌ها و در نتیجه حسگرهای فعال، تعداد اهداف پوشش داده شده در روش پیشنهادی در قیاس با [۲] کاهش می‌یابد اما روش پیشنهادی همچنان پوشش بهتری نسبت به روش‌های [۱۰] و [۱۲] ارائه می‌کند (شکل ۲).

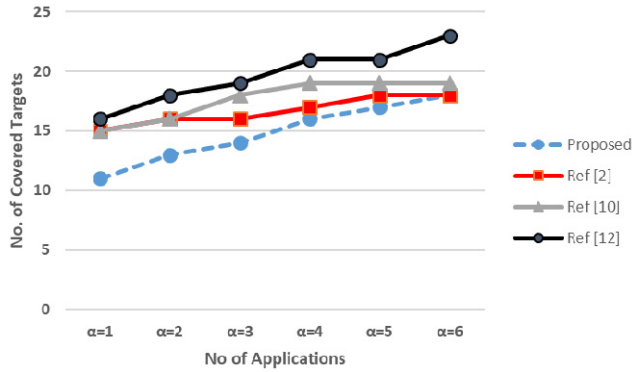
۴-۳ آزمایش پیشنهاد دوم

برای آزمایش این پیشنهاد، این بار مطابق با همبندی مطرح‌شده در شکل ۵، مجموعه S_{jk} را که شامل اهداف مورد نظر و برنامه‌ها بود تشکیل داده و هر بار با تغییر همبندی و تعداد برنامه‌های موجود، عملکرد شبکه نمونه بررسی شد. برای بررسی روش پیشنهادی در (۱۰) مقدار l_{ih} یک بار با ماتریس همسایگی و بار دیگر با ماتریس کوتاه‌ترین مسیر مقداردهی شد. برای مثال در این همبندی گره s۱ از دو راه می‌تواند داده‌ها را به سمت چاهک بفرستد: پیکان قرمزرنگ که نشان‌دهنده یکی از مسیرهایی است که حسگر s۱ تمایل دارد داده‌هایش را از آن طریق به چاهک برساند و دیگری پیکان سبزرنگ که نسبت به مسیر قبلی، کوتاه‌تر است.

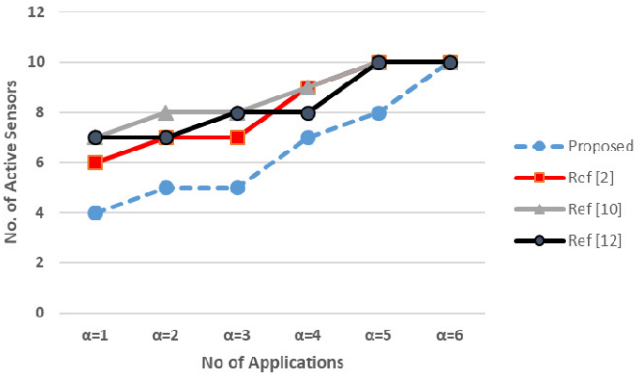
۴-۴ ارزیابی پیشنهاد دوم

پس از اجرای شبیه‌سازی در چند فاز مختلف از قبیل همبندی‌های گوناگون، تغییر محل اهداف و افزایش و کاهش تعداد اهداف و برنامه‌ها، نتایج ارزیابی در شکل ۶ نشان داده شده است.

شکل ۶ تفاوت پوشش اهداف برنامه‌های مستقر (y_{ijk}) را در روش



شکل ۶: تعداد اهداف پوشش داده شده پس از اعمال محدودیت کوتاه‌ترین مسیر در پیشنهاد دوم.



شکل ۷: حسگرهای فعال پس از اعمال محدودیت کوتاه‌ترین مسیر در پیشنهاد دوم.

پیشنهادی (بعد از اعمال محدودیت پیشنهاد دوم) در قیاس با سایر روش‌های موجود نشان می‌دهد. همه نمودارها تقریباً روندی صعودی را برای استقرار برنامه‌ها و پوشش اهداف طی کرده‌اند که نشان از این دارد که با افزایش تعداد برنامه‌ها، مجموعه S_{jk} کامل‌تر می‌شود و در نتیجه شبکه تمایل دارد اهداف بیشتری از هر برنامه را پوشش دهد. اما تفاوتی که وجود دارد این است که نوع برنامه‌ها طی افزایش تعداد عوض شده است، بدین معنا که ممکن است قبل از اعمال محدودیت افزایش اهداف پوششی از هر دو نوع برنامه باشد اما بعد از اعمال محدودیت تنها اهداف یک برنامه پوشش داده شود. برابرشدن تعداد حسگرهای فعال در روش‌های مختلف بدین معنا است که تعداد برنامه‌ها بالا بوده و اهداف متفاوتی وجود داشته است و در نتیجه برای حداکثرکردن تابع هدف به خاطر منفعت برنامه‌ها، همه حسگرهای موجود در هر دو مسیر روشن شده است. اما در صورتی که نحوه و تعداد استقرار برنامه‌ها و اهداف در هر دو مسیر یکسان باشد و یا این که یک مسیر تعداد حسگر کمتر اما تعداد برنامه مستقر بیشتر یا تعداد حسگر بیشتر و برنامه کمتر از حالت قبل باشد نتایج مقدار تابع هدف هر دو یکسان خواهد شد.

ارزیابی انجام‌شده در مورد تعداد حسگرهای فعال نشان داد که فعال‌شدن حسگرهای در مسیر و به تبع آن مقادیر تابع هدف بسیار به نحوه توزیع و استقرار برنامه‌ها وابسته است (شکل ۷). این ارزیابی‌ها نشان داد در صورتی که حسگرهای موجود در کوتاه‌ترین مسیر تا چاهک دارای تنوع بیشتر اهداف و برنامه و به عبارتی مجموعه S_{jk} پربارتر باشد مسلماً به دلیل پرتعدادبودن وظایف و به تبع آن منفعتی که هر کدام از برنامه‌ها دارند، اعمال کوتاه‌ترین مسیر تا چاهک به محدودیت ارسال داده‌ها به همسایه، مفیدتر و مقدار تابع هدف بیشتر خواهد شد. همچنین در برخی موارد پروظیفه‌بودن حسگرهای در مسیر کوتاه‌تر موجب می‌شود حجم کاری سایر حسگرها کم شده و آنها غیر فعال شوند که این غیر فعال بودن می‌تواند موجب حذف هزینه روشن‌بودن حسگر از تابع هدف باشد و

مقدار تابع هدف به تناسب افزایش یابد. همان طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود داده‌های تولیدشده در حسگر s۱ از دو مسیر قادر هستند تا به چاهک فرستاده شوند، از طریق حسگر s۱۸ یا حسگر s۱۵ که مسیر کوتاه‌تری به چاهک نسبت به مسیر قبلی دارد. در این همبندی استفاده از کوتاه‌ترین مسیر برای ما مقرون به صرفه‌تر است زیرا با هدایت داده‌ها از مسیر کوتاه‌تر، حسگرهایی که در مسیر عبوری از حسگر s۱۸ قرار دارند و قبلاً تنها به خاطر هدایت داده‌ها فعال می‌شدند و خود داده‌ای حس نمی‌کردند خاموش می‌مانند و با این کار هزینه فعال‌بودنشان به خاطر عبور داده از تابع هدف حذف می‌شود. همچنین به طریق مشابه حسگر s۱ از دو راه می‌تواند داده‌های خود را به چاهک ارسال کند: یکی از طریق حسگر s۶ و دیگری گره s۱۹. همان طور که در همبندی شکل ۵ مشاهده می‌شود ارسال داده از گره s۶ منجر می‌شود داده‌ها از مسیر کوتاه‌تری به چاهک برسند و تعداد پیوندها و حسگرهای کمتری درگیر مسئله مسیریابی شوند.

۵- نتیجه‌گیری

هدف این مقاله ارائه طرحی در راستای بهبود تخصیص منابع در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نرم‌افزارمحور می‌باشد. شبکه‌های نرم‌افزارمحور، مشکلات شبکه‌های بی‌سیم سنتی از قبیل خاص منظور بودن سیستم‌ها برای یک نرم‌افزار و هدررفت منابع به دلیل رزرو آنها از قبل را با استفاده از مجازی‌سازی زیرساخت‌ها بهبود بخشیدند و موجب شدند برنامه‌ها تمامی زیرساخت‌ها را با یکدیگر به اشتراک بگذارند. معضلی که در این گونه شبکه‌ها به وجود می‌آید مسئله تخصیص منابع بین برنامه‌هایی است که به طور هم‌زمان از منابع به صورت اشتراکی استفاده می‌کنند. در این مقاله برای حل مسئله تخصیص منابع بین برنامه‌های متعدد روی گره‌های حسگر مجازی، یک چارچوب ریاضی با فرموله‌کردن مسئله تخصیص منابع با در نظر گرفتن محدودیت‌های مسئله ارائه شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با اعمال روش پیشنهادی، نتایج به دست آمده بر حسب مصرف انرژی و تعداد اهداف پوشش داده شده با توجه به شرایط موجود به واقعیت نزدیک‌تر می‌شود. همچنین با اعمال روش هدایت داده‌ها به نزدیک‌ترین همسایه به چاهک، بسیاری از حسگرهایی که در مسیر تنها به دلیل هدایت داده‌ها روشن می‌شدند، خاموش شدند که این مسئله به بهبود مصرف انرژی کمک شایانی کرد.

مراجع

[1] C. M. D. Farias, *et al*., "A systematic review of shared sensor networks," *ACM Computing Surveys*, vol. 44, no. 4, Article No.: 51, Feb. 2016.

[2] C. Delgado, *et al*., "An optimization framework for resource allocation in virtual sensor networks," in *Proc. IEEE Global Communications Conf,. GLOBECOM'15,* 7 pp., San Diego, CA, USA, 6-10 Dec. 2015.

[3] N. M. K. Chowdhury and R. Boutaba, "A survey of network virtualization," *Computer Networks*, vol. 54, no. 5, pp. 862-876, Apr. 2010.

[4] A. Wang, M. Iyer, R. Dutta, G. N. Rouskas, and L. Baldinel, "Network virtualization: technologies, perspectives, and frontiers," *Lightwave Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 523-537, 15 Feb. 2013.

[5] H. Kim and N. Feamster, "Improving network management with software defined networking," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 2, pp. 114-119, Feb. 2013.

[6] S. Costanzo, L. Galluccio, G. Morabito, and S. Palazzo, "Software defined wireless networks: unbridling SDNs," in *Proc. European Workshop on Software Defined Networking, EWSDN'12,* 6 pp., Darmstadt, Germany, 25-26 Oct. 2012.

[7] A. P. Jayasumana, Q. Han, and T. H. Illangasekare, "Virtual sensor networks-a resource efficient approach for concurrent application," in *Proc. 4th Int. Conf. on IEEE Information Technology, ITNG'07,* pp. 111-115, Las Vegas, NV, USA, 2-4 Apr. 2007.

[8] D. Kreutz, *et al*., "Software-defined networking: a comprehensive survey," *Proceeding of the IEEE*, vol. 103, no. 1, pp. 14-76, Jan. 2015.

[9] D. Zeng, P. Li, S. Guo, T. Miyazaki, J. Hu, and Y. Xiang, "Energy minimization in multi-task software-defined sensor networks," *IEEE Trans. on Computers*, vol. 64, no. 11, pp. 3128-3139, Nov. 2015.

[10] S. Bousnina, *et al*., "A greedy approach for resource allocation in virtual sensor networks," *2017 Wireless Days*, pp. 15-20, Porto, Portugal, 29-31 Mar. 2017.

[11] C. Delgado, *et al*., "Energy-aware dynamic resource allocation in virtual sensor networks," in *Proc. 14th IEEE Annual Consumer Communications Networking Conf., CCNC'17,* pp. 264-267, Las Vegas, NV, USA, 8-11 Jan. 2017.

[12] S. Tomovic and I. Radusinovic, "Allocation algorithm for handling multiple applications in software-defined WSN," in *Proc. 24th Telecommunications Forum, TELFOR'16*, 4 pp., Belgrade, Serbia, Nov. 2016.

[13] S. Tomovic and I. Radusinovic, "Mapping application requirements to virtualization-enabled software defined WSN," *Wireless Personal Communications*, vol. 79, pp. 1693-1709, Feb. 2017.

[14] A. Wang, M. Iyer, R. Dutta, G. N. Rouskas, and I. Baldine, "Network virtualization: technologies, perspectives, and frontiers," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 31, no. 4, pp. 523-537, 15 Feb. 2013.

[15] R. Huang, X. Chu, J. Zhang, and Y. H. Hu, "Energy-efficient monitoring in software defined wireless sensor networks using reinforcement learning: a prototype," *International J. of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, no. 10, pp. 1-12, Aug. 2015.

[16] C. M. de Farias, W. Li, F. C. Delicato, L. Pirmez, P. F. Pires, and A. Y. Zomaya, "SERAPH: service allocation algorithm for the execution of multiple applications in heterogeneous shared sensor and actuator networks," *Management of Cyber Physical Objects in the Future Internet of Things, Springer, Cham*, vol. 1, pp. 93-113, Jan. 2016.

[17] A. E. Redondi, *Energy-Aware Visual Analysis for Wireless Multimedia Sensor Networks*, PhD. Dissertation, Politecnico Di Milano, 2014.

سیداکبر مصطفوی در سال ۱۳۸۷ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات از دانشگاه صنعتی شریف و به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۴ مدارک کارشناسی ارشد و دکتری خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات از دانشگاه صنعتی امیرکبیر دریافت نمود. وی از سال ۱۳۹۴ تا کنون استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه یزد است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان متنوع بوده و شامل موضوعات نو در حوزه طراحی شبکه‌های کامپیوتری، سیستم‌های توزیع‌شده و شبکه‌های بی‌سیم است.

مهدی آقاصرام مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۵۳ از دانشگاه صنعتی شریف، مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته فناوری سیستم در سال ۱۳۵۵ از دانشگاه ولز انگلستان و مدرک دکتری خود را در رشته علوم کامپیوتر از دانشگاه صنعتی سیدنی در سال ۱۳۵۸ دریافت نمود. وی از سال ۱۳۸۰ در دانشگاه یزد به عنوان عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر مشغول به کار شده و هم‌اکنون در مرتبه دانشیاری مشغول به فعالیت است. حوزه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل شبکه‌های سیار و بی‌سیم و محاسبات نرم است.

طیبه سلیمیان مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه اصفهان و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه‌های کامپیوتری در سال ۱۳۹۷ از دانشگاه یزد دریافت نمود. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های بی‌سیم و شبکه‌های نرم‌افزارمحور.