

بهینه‌سازی مسیریابی و افزایش طول عمر با استفاده از روش بهینه‌سازی زنبورهای عسل در FSNs اینترنت اشیا

احسان خراطی^۱

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه کامپیوتر، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران

۱- مقدمه

مهمترین هدف در شبکه‌های حسگر بی‌سیم یا UWSNs^۵ که شامل SNs به‌طور تصادفی و پراکنده شده‌اند کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر و توان است. کاربرد UWSNs نظارت و کنترل محیط فیزیکی و جمع‌آوری داده‌ها از محیط‌های نظامی مانند میدان‌های جنگ یا مناطق آلوده شیمیایی و شناسایی و ردیابی سربازان و وسایل نقلیه دشمن است. برای این منظور استقرار مناسب SNs بسیار مهم است [۱]. مصرف انرژی SNs در طول عملیات مسیریابی در UWSNs سبب حفره انرژی و سوراخ پوشش می‌شود [۲].

هدف اصلی این مقاله شناسایی حفره و پر کردن آن با استفاده از جابجایی SNs بیکار (بدون نظارت بر هیچ هدفی) و همپوشانی SNs از ناحیه‌های پرجمعیت در یک شبکه نظارت هوشمند خودکار براساس پروتکل اتوماسیون گره آگاه از پوشش یا CASA^۶ است. پروتکل CASA شامل دو الگوریتم متمرکز الگوریتم نیروهای مجازی پیشرفته با نیروهای مرزی EVFAB^۷ و الگوریتم خود سازماندهی گره SSOA^۸ است [۳].

برای کشف حفره‌ها از نمودارهای Voronoi و برای حرکت SNs به سمت حفره‌ها از مناطق پرتراکم به مناطق پراکنده از پروتکل‌های VEC^۹ و VOR^{۱۰} استفاده می‌شود [۴]. نتایج نشان داده روش پیشنهادی سبب پوشش بالاتر در مدت زمان کوتاه استقرار و حرکت محدود می‌شود.

اینترنت اشیا شامل دستگاه‌ها، انسان‌ها، حیوانات، ساختمان‌ها و اشیاء متحرک مانند وسایل نقلیه بوده که بدون دخالت انسان و کامپیوتر از طریق یک WSN یا سیمی با یکدیگر ارتباط دارند. اشیا می‌توانند یک SN یا مسیریاب یا هر دو باشند و ممکن است روی زمین یا در هوا مستقر باشند که برای یک هدف خاص اطلاعات را با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند [۵].

چکیده

کاربرد شبکه‌های گره‌های حسگر پرواز یا FSN^۱ در اینترنت اشیا یا IoT^۲ است. مسیریابی در FSN وابسته به پارامترهای سرعت پرواز و تنوع جهت‌های حرکت گره‌های حسگر یا SNs^۳ است. چالش‌های FSNs شامل تحرک SNs و مقیاس‌پذیری شبکه و مسیریابی بین SNs پروازی و تحویل به موقع داده‌ها به ایستگاه پایه است. افزایش مقیاس‌پذیری و تحرک SNs سبب افزایش بسته‌های کنترلی و سربار می‌شود. در این مقاله برای انتخاب کوتاه‌ترین مسیر بهینه بین SNs و اطمینان از تحویل داده‌ها و کاهش پیام‌های کنترلی و عدم انتقال اطلاعات اضافی و افزایش طول عمر در FSNs از الگوریتم بهینه‌سازی کلونی زنبور یا ABC^۴ استفاده می‌کنیم.

برای این منظور یک مسئله بهینه‌سازی پویا تعریف می‌کنیم که پارامترهای آن شامل انرژی باقیمانده، درجه اتصال، سرعت، بار کاری و جهت SNs است. سپس یک الگوریتم برای مسیریابی در FSN براساس زنبور عسل پیشنهاد می‌دهیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از نظر مصرف انرژی و طول عمر شبکه بهتر از پروتکل‌های beeFSN, P-OLSR, TDR-FASNet, EAUCD عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: FSNs، الگوریتم زنبور عسل، اینترنت اشیا،

مسیریابی، UWSNs، مسیریابی، پروتکل.

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

ایمیل نویسنده مسئول: eh.kharati@iau.ac.ir

^۶ Coverage-aware sensor automation

^۷ Enhanced Virtual Forces Algorithm with Boundary

^۸ Sensor Self-Organizing Algorithm

^۹ Vector-Based

^{۱۰} Voronoi- Based

^۱ Flying Sensor Nodes

^۲ Internet of Things

^۳ Sensor Nodes

^۴ Artificial bee colony

^۵ Under Water Sensor Nodes

۲- مرور ادبیات

برای توزیع بار متعادل بین تمام SNs و اجتناب از حفره انرژی در UWSNs یک مکانیسم مسیریابی ترکیبی و یک مدل شبکه دو بعدی در [۱۲] پیشنهاد شده است و برای افزایش طول عمر شبکه و جلوگیری از انتقال مستقیم در فواصل طولانی، انرژی هر SN را به سطوح مختلف انرژی تقسیم می‌کند [۱۳]. تکنیک تعمیر سوراخ کروی یا SHORT³ شامل سه فاز اشتراک دانش KSP⁴، فاز عملیات شبکه NOP⁵ و فاز تعمیر حفره HRP⁶ است [۱۴].

برای پوشش سه بعدی حداکثری و اتصال تضمین شده بین SNs و یک MS سطحی برای جمع‌آوری داده‌ها در UWSNs در [۱۵] یک روش توزیع شده بنام مجموعه غالب متصل CDS⁷ پیشنهاد داده که SNs صوتی از راه دور بصورت خودکار مستقر میشوند و هدف آن تعیین ستون فقرات شبکه و حفظ آن است.

برای کاهش تأخیر انتشار در UWSNs یک روش هوشمند کنترل دسترسی متوسط براساس دست دادن جدا شده و سرکوب شده بنام DSH-MAC در [۱۶] پیشنهاد داده که براساس پروتکل MAC است و از دو بسته کنترل NOTE و GRANT، مشابه بسته‌های RTS و CTS استفاده می‌کند که بطور موازی بین داده‌ها منتقل شده و منجر به توان عملیاتی بالاتر شبکه می‌شود و بقیه SNs را از قصد ارسال فرستنده و تعداد بسته‌های بافر برای هر گیرنده و نرخ تولید داده آگاه می‌کند.

برای جمع‌آوری و تحویل داده در UWSNs توسط وسایل نقلیه خودکار زیر آب AUV⁸، در [۱۷] یک زمان‌بند بعنوان MSs چندگانه پیشنهاد داده که از ارتباطات صوتی سیگنالینگ بعنوان یک رسانه انتقال استفاده می‌کند. همچنین از برچسب ارزش اطلاعات VoI⁹ برای رمزگذاری و اهمیت و ارتباط مبتنی بر زمان یک تکه داده در SNs و اکتشافی برای برنامه‌ریزی مسیر و اولویت‌بندی بازیابی داده‌ها از SNs استفاده می‌کند. استفاده از چند AUV سبب افزایش مقیاس‌پذیری پوشش منطقه و تحمل خطا و استفاده از الگوریتم‌های زمان‌بندی مناسب شود.

برای پوشش حداکثر هدف با حداقل وزن در UWSNs یک روش اکتشافی حریصانه برای حرکت دوربین در [۱۸] پیشنهاد داده که هر دوربین اطلاعات مکان و جهت‌گیری خود را در اختیار دروازه قرار میدهد تا هنگامی که یک هدف شناسایی می‌شود، دروازه، دوربین‌های واجد شرایط پوشش را تعیین کند تا با کمترین حرکت عمودی و پوشش حداقل وزنی، هدف را پوشش دهد.

یک FSN همانند یک WSN است که شامل SNs است که در هوا پرواز می‌کنند و با یکدیگر ارتباط دارند. در SNs، انرژی باتری، محدوده ارتباطی و حافظه محدود است. همچنین چون SNs پرواز می‌کنند و تحرک دارند، انرژی بیشتری مصرف کرده و لذا نیاز به یک الگوریتم مسیریابی بهینه برای انتقال داده است [۶]. همچنین تغییرات توپولوژی مکرر و با سرعت بالا در FSN سبب افزایش تعداد پیام‌های کنترلی می‌شود و در نتیجه QoS و طول عمر شبکه را کاهش می‌دهد [۷].

در ABC فرض می‌کنیم که هر زنبور، یک SN در شبکه است و شبکه شامل دو نوع زنبور ناظر و کارگر است [۸]. وظیفه زنبورهای ناظر یافتن مسیر بهینه و وظیفه زنبورهای کارگر پخش داده‌ها و اطلاعات کوتاه‌ترین مسیر به همه همسایگان خود و ایستگاه پایه در مسیرهای بدست آمده است [۹].

هوش جمعی براساس جمعیت است که مانند کلونی مورچه، ازدحام پرندگان و یا کلونی زنبورها براساس تداخل یا ازدحام است. الگوریتم ABC یک الگوریتم بهینه‌سازی براساس رفتار هوشمندانه جمعیت زنبور است. این مقاله برای بهینه‌سازی توابع چند متغیره از الگوریتم ABC استفاده می‌کند.

از الگوریتم‌های اکتشافی برای حل مسایل بهینه‌سازی عددی و توابع ترکیبی و تکرارهای چندگانه برای پیدا کردن راه‌حل‌ها و بهبود راه‌حل‌ها استفاده می‌شود. الگوریتم‌ها اکتشافی براساس جمعیت و مبتنی بر تکرار در جهت است [۱۰].

محبوب‌ترین الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک یا GA¹ است. هدف در GA شبیه‌سازی و کدگذاری و تکامل طبیعی یک پدیده نظیر کروموزوم‌های فردی است که با جهش تصادفی این اطلاعات تغییر می‌یابند. مسأله مسیریابی را می‌توان در قالب مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته یا MIP² فرموله کرد [۱۱].

بقیه مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲، تحقیقات اخیر درباره مسیریابی FSN مورد مطالعه قرار گرفته است. در بخش ۳ الگوریتم مسیریابی پیشنهادی در FSN ارائه شده است. نتایج مقایسه و ارزیابی طرح پیشنهادی با طرح‌های مسیریابی پیشرفته در FSN در بخش ۴ بحث شده است. مقاله در بخش ۵ نتیجه‌گیری شده است.

⁶ Hole Repair Phase

⁷ Connected Dominating Set

⁸ Autonomous Underwater Vehicles

⁹ Value of Information

¹ Genetic Algorithm

² Mixed integer programming

³ Spherical Hole Repair Technique

⁴ Knowledge Sharing Phase

⁵ Network Operation Phase

شبکه انتخاب شوند و فاصله یکسانی با یکدیگر داشته باشند و فاصله اقلیدسی SNs تا زنبورهای ناظر نیز باید بیشتر از حد آستانه نباشد. رابطه ۱، مقدار تناسب لازم برای انتخاب زنبور ناظر گره SN_v است که شامل پارامترهای Ev یا انرژی باقیمانده، D_v یا درجه اتصال یا تعداد همسایه‌ها، Sv یا سرعت و Div یا جهت حرکت SN_v و بار کاری ارتباط است.

$$V_{nectar} = E_v + D_v + S_v + D_{iv} \quad (1)$$

رابطه ۲، فرموله کردن انتخاب مجموعه زنبورهای ناظر بصورت یک مسئله بهینه‌سازی پویا است که تعداد کل SNs در FSN است، k تعداد کل زنبورهای ناظر (ناشناخته یا شناخته شده)، و weight_{ij} وزن رابطه SN_i با زنبور ناظر j است که اگر SN_i همسایه یک SN_j باشد، مقدار V_{nectar_{ij}} برابر 1 و درغیراینصورت ۰ است و N_{iv}، (i=1, v) محل فعلی SN_i در FSN، C_{ijk}، بیانگر یک مقدار متوسط برای بررسی تناسب یک SN برای نقش زنبور ناظر است.

$$\text{Minimize } F(\text{weight}, c) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \text{weight}_{ij} (v_{nectar} - c_j)^2 \quad (2)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1}^k \text{weight}_{ij} = 1, i = 1, \dots, n$$

$$\text{weight}_{ij} = 0 \text{ or } 1, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, k \quad (3)$$

رابطه ۳، مقدار C_j را محاسبه کرده که N_j تعداد همسایگان زنبور j امین ناظر است.

$$c_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^k \text{weight}_{ij} x_i \quad (4)$$

۴- الگوریتم پیشنهادی مسیریابی در FSN

پس از انتخاب زنبورهای ناظر، زنبورهای ناظر کوتاه‌ترین مسیریاب تا همه زنبورهای کارگر همسایه خود را محاسبه می‌کنند و به زنبورهای کارگر همسایه خود ارسال می‌کنند. سپس زنبورهای کارگر این اطلاعات و داده‌ها را به همه همسایگان و ایستگاه پایه در آن مسیر ارسال و پخش می‌کنند.

به دلیل تغییرات توپولوژی مکرر در همسایگان، پس از مدتی مسیریاب بروز می‌شوند. همچنین برای اینکه بارگذاری در شبکه بصورت یکسان توزیع شود، پس از مدتی مجموعه دیگری از زنبورهای کارگر به روش حریصانه برای ایفای نقش زنبورهای ناظر انتخاب می‌شوند. شبه کد الگوریتم زنبور عسل برای انتخاب زنبورهای ناظر و مسیریابی در FSN بصورت زیر است.

پروتکل p-OLSR در [۱۹] پیشنهاد شده که نسخه توسعه یافته پروتکل OLSR است که با استفاده از اطلاعات GPS، کیفیت لینک‌ها را قبل از مسیریابی داده‌ها به ایستگاه پایه تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند و هنگام مسیریابی داده‌ها، تغییرات توپولوژی در FSN را بطور خودکار از مبدا به مقصد تنظیم می‌کند. مشکل این روش افزایش تعداد پیام‌های کنترلی هنگام تغییرات توپولوژی مکرر و با سرعت بالا است که سبب کاهش طول عمر شبکه و QoS می‌شود.

پروتکل TDR-FASNet در [۲۰] پیشنهاد شده که هدف آن تمایز داده‌ها در هر خوشه و بررسی QoS در سطح خوشه و کنترل خوشه و مسیریابی متمایز داده‌های حساس برای کاهش تاخیر و ترافیک است.

همچنین این پروتکل به هر جریان ترافیک براساس اهمیت تحویل سریع آن یک وزن اختصاص می‌دهد و با استفاده از کیفیت پیوند و پتانسیل آن در ارسال بسته‌ها به مقصد، قابلیت اطمینان انتقال را پیش‌بینی می‌کند. مشکل این پروتکل نادیده گرفتن تغییرات توپولوژی بسیار مکرر و تحرک بسیار بالا SNs در FSN است.

روش EAUCD برای مسیریابی بلادرنگ و بسته‌هایی که امکان تأخیر ندارند و باید به سرعت در کوتاه‌ترین مسیریاب منتقل شوند در [۲۱] پیشنهاد شده که از خوشه‌بندی استفاده می‌کند و بین بسته‌های معمولی و بلادرنگ تمایز قابل می‌شود. مشکل این روش تشکیل خوشه‌ها بصورت تصادفی و وجود SNs مخرب است که بسته‌های خود را بعنوان داده‌های زمان واقعی نشان دهد.

یک الگوریتم براساس منطق فازی برای متعادل کردن بار شبکه و حداقل کردن پوشش SNs و افزایش بازده انرژی در WSN در [۸] پیشنهاد شده که انتخاب CHs براساس مکان و مصرف انرژی آنها در آینده است و از خوشه‌های نابرابر برای افزایش طول عمر شبکه استفاده می‌کند.

مشکل این روش نادیده گرفتن درجه SNs هنگام انتخاب CH است که سبب عدم محاسبه دقیق پوشش آنها شود. همچنین روش پیشنهادی در این مقاله، تحرک SNs و موقعیت آینده آنها را در نظر نمی‌گیرد و ممکن است خوشه‌های ناپایداری تشکیل شود که سبب کاهش طول عمر شبکه می‌شود.

۳- الگوریتم پیشنهادی زنبور عسل برای WSN پرواز

چون یافتن و محاسبه کوتاه‌ترین مسیر از یک SN تا ایستگاه پایه یا مقصد نیاز به انرژی و زمان زیادی دارد و منابع SNs محدود است، این کار به SNs پیشرفته یا ناظر داده می‌شود [۳]. زنبورهایی که انرژی باقیمانده و درجه اتصال یا تعداد همسایه‌ها و تحرک بیشتری دارند، زنبور ناظر می‌شوند [۳]. زنبورهای ناظر باید از هر قسمت از

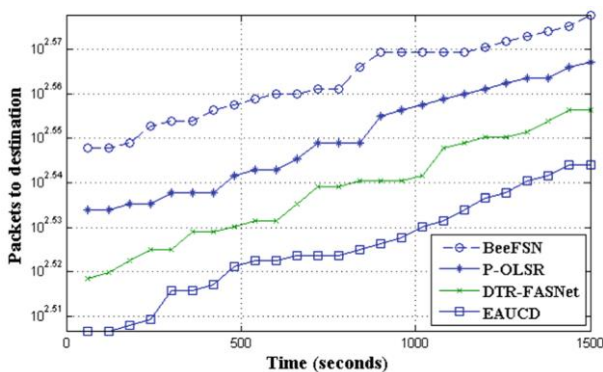
۵- ارزیابی آزمایشی

این قسمت شامل اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد توان عملیاتی و تأخیر انتهایی آنها مدل پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل‌های BeeFSN, P-OLSR, TDR-FASNet, EAUCD از طریق شبیه‌سازی در شبیه‌ساز EstiNet 9.0 است. توان عملیاتی برابر تعداد بسته‌های ارسال شده از یک مکان به مکان دیگر در یک بازه زمانی خاص است.

تأخیر انتها به انتها در یک SN از زمان ارسال یک بسته توسط SN تا زمانی دریافت آن بسته در مقصد است. فرض کرده مساحت شبیه‌سازی ۱۰۰۰ متر × ۱۰۰۰ متر باشد و پس از استقرار اولیه SNs، فاصله SNs از یکدیگر برابر ۱۰۰ متر باشد و اندازه همه بسته‌ها برابر ۱۲۰۰ بایت و حداکثر زمان شبیه‌سازی برابر ۵۰۰ ثانیه باشد.

همچنین فرض کرده تنظیمات شبکه، شرایط ترافیک، محیط و مدل‌های تحرک در طول اجرای همه برای ارزیابی عملکرد پروتکل‌ها و الگوریتم پیشنهادی ثابت است.

شکل ۱، تعداد بسته‌های دریافت شده در مقصد را در حالیکه SNs در حال حرکت با سرعت ۵۰ متر بر ثانیه هستند، با گذشت زمان نشان می‌دهد. مشاهده شده که عملکرد BeeFSN و P-OLSR به علت استفاده از روش زنبورهای عسل برای مسیریابی رضایت بخش هستند.



شکل ۱، تعداد بسته‌های دریافت شده در مقصد با ۵۰ SNs با سرعت حرکت ۵۰ متر بر ثانیه

شکل ۲، تعداد بسته‌های دریافت شده در مقصد را در حالیکه ۱۰۰ SNs در حال حرکت با سرعت ۵۰ متر بر ثانیه هستند، با گذشت زمان نشان می‌دهد. مشاهده شده که عملکرد شبیه‌سازی تمامی طرح‌ها برای ۲۰ ثانیه اول یکسان است. پس از ۲۰ ثانیه، BeeFSN به دلیل ماهیت کارآمد زنبورها حداکثر توان عملیاتی را دارد.

مراحل این الگوریتم بصورت زیر است:

1. Select a set of observer bees from all bees
2. Select SNs for the role of observer bees
3. based on their calculated weights or equation 1
4. Initial assessment of the fitness
5. Select observer bees using equation 2
6. Assign SNs as observer bees
7. Period of time using equation 3
8. Evaluate another set of randomly
9. Select observer bees using equation 4.
10. This process continues
11. Until an optimal set of observer bees is found.

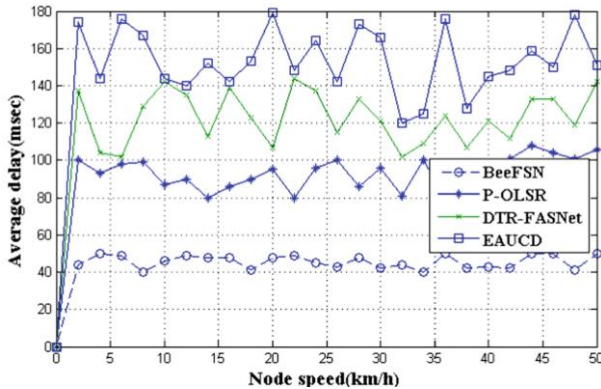
الگوریتم پیشنهادی ۱

1. Initialize the variable
2. while(bee!=null) do
3. Select a set of observer bees
4. with higher weight among all SNs using equation 1
5. Check the fitness of the observer bee using equation 2
6. while(i!=max) do
7. Select new bees using equation 3
8. Calculate the fitness value using equation 4
9. Select bees greedily

الگوریتم پیشنهادی ۲

1. Randomize SNs
2. Do for i=1 to m
3. If Si is not monitoring any targets, then
4. Move Si to the least monitored target
5. Recalculate SN-target coverage matrix
6. End if
7. End for
8. S=SNs sorted in ascending order of number of targets
9. Sort SNs by number of targets they cover
10. Do for i=1 to m
11. Repeat: Until Si can cover another target
12. Place Si at the center of all targets it covers
13. Move Si to the center of all targets it covers
14. If Si can cover the new target
15. Recalculate the SN-target matrix
16. Otherwise Abandon the move
17. If SN can cover the new target along with the targets
18. previously monitored, this move is allowed
19. otherwise abandon the move
20. End if
21. End for
22. Calculate the upper bound of the network lifetime

این کار تا زمانی انجام می‌شود که SN نتواند هیچ هدف جدیدی را پوشش دهد. در پایان، کران بالا محاسبه می‌شود. عیب این روش وابسته بودن به موقعیت اولیه SNs است.



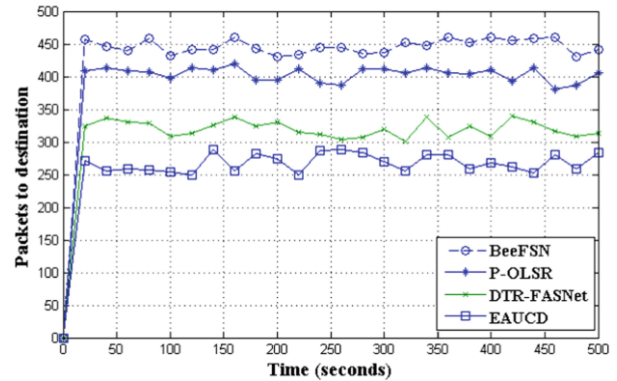
شکل ۴. تأخیر انتها به انتها شبکه با افزایش سرعت SNS

افزایش مقیاس‌پذیری و تحرک SNS سبب افزایش بسته‌های کنترلی و سربار می‌شود. در این مقاله برای انتخاب کوتاه‌ترین مسیر بهینه بین SNS و اطمینان از تحویل داده‌ها و کاهش پیام‌های کنترلی و عدم انتقال اطلاعات اضافی و افزایش طول عمر در FSNs از روش بهینه‌سازی ABC استفاده شده است.

برای این منظور یک مسئله بهینه‌سازی پویا تعریف می‌کنیم که پارامترهای آن شامل انرژی باقیمانده، درجه اتصال، سرعت، بار کاری و جهت SNS است. سپس یک الگوریتم برای مسیریابی در FSN براساس زنبور عسل پیشنهاد داده‌ایم. کار در آینده این مقاله شامل گسترش بیشتر SNS بصورت ترکیبی SNS ثابت و بسیار متحرک در زمین و هوا و در اینترنت اشیاء است.

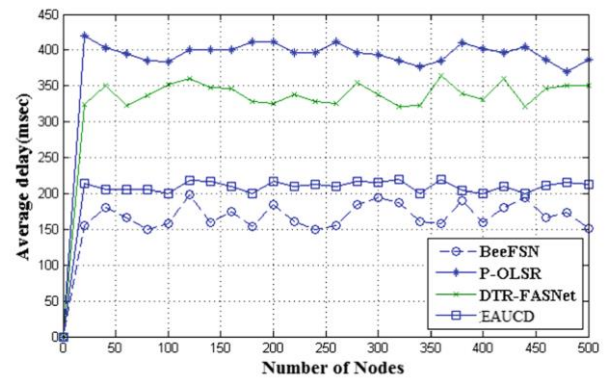
۷- مراجع

- [1] Kharati, E., Using PSO and ABC routing algorithms reducing consumed energy in underwater wireless sensor networks. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 2022. 46(2): p. 367-380.
- [2] Kharati, E., M. Khalily-Dermany, and H. Karmajani, Increasing the amount of collected data using network coding and continuous movement of mobile sinks in wireless sensor networks. *IET Networks*, 2020. 9(3): p. 128-138.
- [3] Kharati, E., M. Khalily-Dermany, and H. Karmajani, Increasing the Value of Collected Data and Reducing Energy Consumption using Network Coding and Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks. *AUT Journal of Modeling and Simulation*, 2019. 51(1): p. 3-14.
- [4] Kharati, E., Mobile sink routing control to maximize the amount of collected data and lifetime in underwater wireless sensor networks. *TABRIZ JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING*, 2020. 50(3): p. 1179-1192.
- [5] Kharati, E. and M. Khalily-Dermany, Determination of the multicast optimal route for mobile sinks in a specified deadline using network coding and tabu search algorithm in wireless sensor networks. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, 2021. 45(2): p. 447-459.



شکل ۲. تعداد بسته‌های دریافت شده در مقصد با ۱۰۰ SNS با سرعت حرکت ۵۰ متر بر ثانیه

شکل ۳ متوسط تأخیر انتها به انتها شبکه را در حالی که SNS با سرعت ۵۰ متر بر ثانیه در حال حرکت هستند، با افزایش تعداد SNS نشان می‌دهد. مشاهده شده که در شبکه‌های مقیاس بزرگ روش پیشنهادی BeeFSN کمترین و EAUCD بیشترین تأخیر را دارد.



شکل ۳. تأخیر انتها به انتها با افزایش تعداد SNS

شکل ۴ متوسط تأخیر انتها به انتها شبکه به تعداد ۱۰۰ SNS را با افزایش سرعت SNS نشان می‌دهد. مشاهده شده که روش پیشنهادی BeeFSN کمترین و EAUCD بیشترین تأخیر را دارد. در نتیجه BeeFSN راه‌حل بسیار خوبی برای مسیریابی بسته‌ها به شیوه‌ای کارآمد است.

۶- نتیجه‌گیری

کاربرد شبکه‌های FSN در IoT است. مسیریابی در FSN وابسته به پارامترهای سرعت پرواز و تنوع جهت‌های حرکت SNS است. چالش‌های FSN شامل تحرک SNS و مقیاس‌پذیری شبکه و مسیریابی بین SNS پروازی و تحویل به موقع داده‌ها به ایستگاه پایه است.



احسان خراطی - استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک از سال ۱۳۸۳ است. وی مدرک لیسانس و ارشد مهندسی کامپیوتر خود را در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۳ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران گرفته است. علایق تحقیقاتی او شامل شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های موردی تلفن همراه و بهینه‌سازی در شبکه‌های محدود، طراحی الگوریتم‌ها و پروتکل‌ها است. eh.kharati@iau.ac.ir

روش ارجاع: ا. خراطی. بهینه‌سازی مسیریابی و افزایش طول عمر با استفاده از روش بهینه‌سازی زنبورهای عسل در FSNs اینترنت اشیا، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع شده، سال هفتم، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۳، صفحه ۸۰ تا ۸۵، سال ۱۴۰۳.

How to cite: E.Kharati, **Routing Optimization and Lifespan Extension Using Honeybee Optimization Method in IoT FSNs**, Journal of Distributed Computing and Systems (JDCS), Vol 7, Issue 1, Pages 80 - 85, 2024.

Routing Optimization and Lifespan Extension Using Honeybee Optimization Method in IoT FSNs

Ehsan Kharati¹

¹Assistant Professor, Faculty of Engineering and Technology, Computer Department, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran eh.kharati@iau.ac.ir

Abstract

The application of flying sensor node networks (FSNs) in the Internet of Things (IoT) is. Routing in FSNs depends on the parameters of flight speed and the diversity of movement directions of sensor nodes (SNs). The challenges of FSNs include SNs mobility and network scalability, routing between flying SNs and timely data delivery to the base station. Increasing SNs scalability and mobility increases control packets and overhead. In this paper, we use the bee colony optimization algorithm (ABC) to select the shortest optimal path between SNs, ensure data delivery, reduce control messages, avoid redundant information transmission, and increase the lifetime of FSNs. For this purpose, we define a dynamic optimization problem whose parameters include residual energy, connectivity degree, speed, workload, and direction of SNs. Then, we propose an algorithm for routing in FSN based on honeybees. Simulation results show that the proposed model performs better than beeFSN, P-OLSR, TDR-FASNet, and EAUCD protocols in terms of energy consumption and network lifetime.

- [6] Kharati, E., *Creating balance on bandwidth consumption using network coding in wireless sensor networks*. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 2020. 14(3): p. 23-38.
- [7] Kharati, E. *Decrease round-trip time in Reno TCP*. in *6th International Symposium on Telecommunications (IST)*. 2012. IEEE.
- [8] Kharati, E., M. Khalily-Dermany, and H. Kermajani, *Optimized sink control to increase the lifetime of underwater wireless sensor networks*. *Computer and Knowledge Engineering*, 2019. 9.
- [9] Sheikh, M.N.A., et al., *A Qualitative and Comparative Performance Assessment of Logically Centralized SDN Controllers via Mininet Emulator*. *Computers*, 2024. 13(4): p. 85.
- [10] Udayaprasad, P., et al., *Energy Efficient Optimized Routing Technique With Distributed SDN-AI to Large Scale I-IoT Networks*. *IEEE Access*, 2024.
- [11] Lin, B., et al., *TITE: A transformer-based deep reinforcement learning approach for traffic engineering in hybrid SDN with dynamic traffic*. *Future Generation Computer Systems*, 2024. 161: p. 95-105.
- [12] Karim, M.M., et al., *CIC-SIoT: Clean-Slate Information-Centric Software-Defined Content Discovery and Distribution for Internet-of-Things*. *IEEE Internet of Things Journal*, 2024.
- [13] Huang, G., et al., *Predictive mobility and cost-aware flow placement in SDN-based IoT networks: a Q-learning approach*. *Journal of Cloud Computing*, 2024. 13(1): p. 26.
- [14] Chen, H., et al., *Multi-Objective Optimized GPSR Intelligent Routing Protocol for UAV Clusters*. *Mathematics*, 2024. 12(17): p. 2672.
- [15] Zilberman, A., A. Dvir, and A. Stulman, *SPRINKLER: A Multi-RPL Man-in-the-Middle Identification Scheme in IoT Networks*. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2024.
- [16] Septia, D., S.M. Siahaan, and A. Masfufah, *Efforts to Improve Local Wisdom-Based Science Learning Outcomes With The TGT Model For Grade IV Students at SDN 128 Palembang*. *JURNAL PENDIDIKAN DASAR NUSANTARA*, 2025. 10(2): p. 216-229.
- [17] Bintoro, K.B.Y., T.K. Priyambodo, and Y.P. Sardjono, *Smart AODV Routing Protocol Strategies Based on Learning Automata to Improve V2V Communication Quality of Services in VANET*. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 2024: p. 255-266.
- [18] El-Dalahmeh, M., A. El-Dalahmeh, and U. Adeel, *Analysing the performance of AODV, OLSR, and DSDV routing protocols in VANET based on the ECIE method*. *IET Networks*, 2024. 13(5-6): p. 377-394.
- [19] Khan, H., et al., *Improving Mobile Ad hoc Networks through an investigation of AODV, DSR, and MP-OLSR Routing Protocols*. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, 2024.
- [20] Kumar, S., U. Dohare, and S. Kumar, *Secure location-aware geocast routing in Internet of Vehicles*. *Multimedia Tools and Applications*, 2024: p. 1-24.
- [21] Gupta, S. and N.P. Singh, *Underwater wireless sensor networks: a review of routing protocols, taxonomy, and future directions*. *The Journal of Supercomputing*, 2024. 80(4): p. 5163-5196.