

ارائه پروتکل ارسال داده انرژی-کارا مبتنی بر موقعیت برای شبکه‌های حسگر بصری

محمود پرنده^۱، کارشناس ارشد؛ سیدهادی اقدسی علمداری^۲، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - m.parandeh92@ms.tabrizu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - aghdasi@tabrizu.ac.ir

چکیده: در سال‌های اخیر، شبکه‌های حسگر بصری (VSNs) متشکل از گره‌های دوربین‌دار^۱، به‌عنوان کلاس جدیدی از شبکه‌های بی‌سیم به‌وجود آمده‌اند. گره‌های دوربین‌دار علی‌رغم محدودیت منابع، با همکاری همدیگر قابلیت ثبت و ارسال داده‌های تصویری را دارند. شبکه‌های حسگر بصری کاربردهای بسیاری را با تکیه بر اطلاعات به‌دست‌آمده از گره‌های دوربین‌دار و ارسال داده‌های مهم به‌سمت مقصد مشخص (چاهک^۲) تحقق می‌بخشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تاکنون پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت^۳ زیادی برای شبکه‌های حسگر بصری ارائه شده است که نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی و ویژگی‌های گره‌های دوربین‌دار را در نظر گرفته‌اند. در بسیاری از این پروتکل‌ها، ذخیره کردن اطلاعات همسایه‌ها از طریق ارسال پیام‌های کنترلی، باعث افزایش انرژی مصرفی در گره‌ها شده است. تعداد اندکی از پروتکل‌ها وجود دارند که از پیام‌های کنترلی برای مسیریابی استفاده نمی‌کنند، اما آن‌ها نیز از تزریق داده افزونه^۴ به شبکه رنج می‌برند. در این مقاله، پروتکل ارسال داده انرژی-کارا (EEF^۵) برای شبکه‌های حسگر بصری ارائه می‌شود. این پروتکل که مبتنی بر موقعیت گره‌های دوربین‌دار است، از روش انتخاب ارسال‌کننده حریصانه برای ارسال اطلاعات بدون نیاز به تبادل پیام کنترلی و با تکیه بر مکانیسم زمان انتظار استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل EEF تعداد داده‌های تزریقی افزونه به شبکه را به حداقل رسانده و باعث ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها در مقایسه با جدیدترین پروتکل‌ها در این زمینه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بصری، پروتکل مسیریابی مبتنی بر موقعیت، کاهش داده افزونه، بهبود مصرف انرژی، افزایش طول عمر شبکه.

Position-based Energy-Efficient Data Forwarding Protocol for Visual Sensor Networks

M. Parandeh¹, MSc; S. H. Aghdasi², Assistant Professor

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: m.parandeh92@ms.tabrizu.ac.ir

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: aghdasi@tabrizu.ac.ir

Abstract: Recently, Visual Sensor Networks (VSNs) consisting of camera nodes have emerged as a new class of wireless networks. Low-capability camera nodes have the ability to capture and transmit visual data cooperatively. VSNs realize many applications by relying on the achieved information from camera nodes and transmitting important data to a specific destination (Sink). Based on literature, many position-based routing protocols have been proposed for VSNs which consider application requirements and camera nodes characteristics. In most of these protocols, maintaining neighborhood information by sending periodic control messages increases energy consumption in camera nodes. There are a few protocols without using periodic control messages. However, they suffer from injection of redundant data to the network. In this paper, Energy-Efficient data Forwarding protocol (EEF) in VSNs is proposed. This protocol which is based on camera nodes' positions, uses greedy forwarder selection method to forward data without exchanging periodic control messages and utilizes waiting time mechanism. Simulation results show that the EEF decreases injected redundant data to the network and has better balancing in energy consumption of camera nodes in comparison with the state-of-the-art protocols.

Keywords: Visual sensor networks, position-based routing protocol, minimum redundant data, energy efficiency, prolonging network lifetime.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۰۲

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶ و ۱۳۹۵/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵

نام نویسنده مسئول: سیدهادی اقدسی علمداری

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

تأثیر همه-پخشی می‌شود را ارائه کرده‌اند. پروتکل CFlood برای بهبود نرخ خط-مرگ^{۱۲} و همچنین کاهش انرژی مصرفی گره‌ها از کنترل فرآیند همه-پخشی، استفاده می‌کند. در این پروتکل از پیام‌های کنترلی دوره‌ای برای تخمین تأخیرهای گام‌به‌گام^{۱۳} استفاده شده است. ارسال پیام‌های کنترلی باعث تلف شدن انرژی گره‌های دوربین‌دار، افزایش ترافیک شبکه و در نتیجه کاهش طول عمر آن می‌شود. برای رفع مشکل ناشی از پیام‌های کنترلی، به‌تازگی پروتکلی با نام PADT^{۱۴} ارائه شده است که از زمان انتظار به‌جای تبادل پیام‌های کنترلی استفاده می‌کند و با حذف پیام‌های کنترلی باعث کاهش انرژی مصرفی گره‌ها می‌شود. بررسی دقیق عملکرد این پروتکل نشان می‌دهد که روش انتخاب ارسال‌کننده در این پروتکل به‌دلیل عدم انتخاب بهینه زاویه‌ای که گره‌هایی با قابلیت ارسال‌کننده شدن را در برمی‌گیرد (بین ۶۰+ و ۶۰- درجه)، باعث تزریق داده افزونه به شبکه می‌شود. در نتیجه طول عمر شبکه به‌شدت کاهش می‌یابد.

در این مقاله، ما پروتکل ارسال داده انرژی-کارا مبتنی بر موقعیت (EEF) را ارائه می‌دهیم. این پروتکل که مبتنی بر موقعیت گره‌های دوربین‌دار است، از یک روش انتخاب ارسال‌کننده حریمانه برای انتخاب نزدیک‌ترین همسایه به چاهک که انرژی باقی‌مانده بیشتری نیز داشته باشد، استفاده می‌کند. همچنین پروتکل EEF به‌دلیل عدم استفاده از پیام‌های کنترلی و تکیه بر مکانیسم زمان انتظار جهت یافتن گام بعدی، باعث کاهش انرژی مصرفی می‌شود. در این پروتکل روش انتخاب ارسال‌کننده حریمانه، محدودیت‌هایی را جهت به حداقل رساندن ارسال داده افزونه در نظر می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پروتکل ارائه‌شده در این مقاله، داده‌های افزونه را به حداقل رسانده و با حذف پیام‌های کنترلی که با استفاده از مکانیسم زمان انتظار محقق می‌شود، باعث کاهش مصرف انرژی در گره‌های دوربین‌دار شده و طول عمر شبکه را در مقایسه با جدیدترین پروتکل‌ها در این زمینه افزایش می‌دهد. علاوه‌براین، پویا بودن مکانیسم زمان انتظار جهت انتخاب گره ارسال‌کننده در پروتکل EEF باعث یکنواختی در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار شده و افزایش مدت‌زمان زنده ماندن گره‌ها را به‌دنبال دارد.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم کارهای پیشین معرفی می‌شوند. پروتکل EEF به‌همراه مثال توضیحی بخش ۳ را به‌خود اختصاص می‌دهد. در بخش ۴، به تجزیه‌وتحلیل نتایج شبیه‌سازی‌ها می‌پردازیم. در انتها نیز نتیجه‌گیری مقاله در بخش ۵ انجام می‌شود.

۲- کارهای پیشین

در دهه‌های اخیر پروتکل‌های مسیریابی بسیاری برای شبکه‌های حسگر بصری ارائه شده است. یکی از دسته‌های مهم پروتکل‌های مسیریابی، مسیریابی‌های مبتنی بر موقعیت هستند [۱۴، ۲۱]. در این پروتکل‌ها، ارسال داده بر اساس اطلاعات موقعیت گره منبع و چاهک انجام می‌شود. گره‌های حسگر نیز موقعیت خود را به‌کمک GPS و یا الگوریتم‌های مکان‌یابی به‌دست می‌آورند [۲۲].

پیشرفت در سیستم میکروالکترومکانیک (MEMS^{۱۵}) و تکنولوژی ارتباطات بی‌سیم باعث کاهش هزینه‌ها و اندازه گره‌های حسگر شده است. از طرفی پیشرفت در تکنولوژی CMOS باعث توسعه ماژول‌های دوربین کم‌هزینه با اندازه‌های کوچک گردیده است. از این‌رو ماژول‌های دوربین با گره‌های حسگر یکپارچه شده و گره‌های دوربین‌دار را به‌وجود آورده است. توزیع تعداد زیادی از گره‌های دوربین‌دار و همکاری بین آن‌ها، باعث شکل‌گیری شبکه‌های حسگر بصری شده است [۴-۱]. شبکه‌های حسگر بصری معمولاً برای جمع‌آوری داده‌های تصویری مانند ویدیو و عکس در کنار داده‌های عددی مانند دما و فشار از محیط نظارتی و ارسال آن‌ها به مقصد مشخص، استفاده می‌شوند. ماهیت این شبکه‌ها (هزینه کم و سادگی توزیع گره‌های دوربین‌دار شکل‌دهنده آن‌ها) باعث پدیدار شدن کاربردهای نظارتی^{۱۶} و پایشی^{۱۷} فراوانی از دامنه نظامی و صنعتی تا محیط زیست و پزشکی شده است [۵-۸].

ارسال داده‌ها در چنین کاربردهایی نیازمند برخی محدودیت‌ها است. برای مثال، داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط گره‌های دوربین‌دار باید به‌موقع به چاهک ارسال شوند. در غیر این صورت، داده ارسال‌شده مفید نخواهد بود (به‌خصوص در کاربردهای حساس به زمان). بنابراین کیفیت سرویس در این کاربردها بسیار مهم است. قابلیت اطمینان^{۱۸} و ارسال بلادرنگ^{۱۹} اطلاعات از جمله کیفیت سرویس‌های موردنیاز برای بسیاری از کاربردهای نظارتی و پایشی هستند. کیفیت سرویس‌های ذکرشده باید در طراحی پروتکل مسیریابی موردتوجه قرار گیرند. از طرفی، گره‌های دوربین‌دار نیز دارای محدودیت منابع می‌باشند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به محدودیت انرژی و پهنای باند اشاره کرد. با توجه به مطالب مذکور، در نظر گرفتن ویژگی‌های گره‌های دوربین‌دار تشکیل‌دهنده شبکه‌های حسگر بصری در کنار فراهم آوردن نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی، باعث به‌وجود آمدن چالش‌ها و زمینه‌های تحقیقاتی جدیدی به‌خصوص در زمینه طراحی پروتکل‌های مسیریابی برای محققین شده است [۹-۱۳].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت فراوانی برای شبکه‌های حسگر بصری با هدف افزایش عمر شبکه و برآورده کردن نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی ارائه شده است [۲۰-۱۴]. در بسیاری از پروتکل‌های ارائه‌شده، هر گره جهت ارسال داده‌ها نیاز به اطلاعات همسایه‌هایش داشته و از پیام کنترلی برای به‌روزرسانی این اطلاعات استفاده می‌کند [۱۹-۱۴]. در پروتکل مسیریابی GPSR [۱۸] که یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر موقعیت است، نزدیک‌ترین گره به چاهک به‌عنوان گام بعدی انتخاب می‌شود. مهم‌ترین مزیت این پروتکل، ذخیره‌سازی اطلاعات همسایه به‌جای اطلاعات کل شبکه است. عیب عمده این پروتکل عدم توجه به انرژی گره‌ها به‌هنگام مسیریابی می‌باشد. نویسندگان در [۱۹] یک پروتکل مسیریابی همه پخشی-مشروط با نام CFlood که باعث بهبود

دست‌یابی به این هدف، PADT از اطلاعات همسایه به‌وسیله حمل اطلاعات آن‌ها هنگام ارسال داده استفاده می‌کند. این پروتکل انرژی مصرفی را با استفاده از روش همه-پخشی مشروط کاهش می‌دهد. در این روش گره ارسال‌کننده داده‌هایش را به همسایه‌هایش همه-پخشی می‌کند. گرهی که در مقایسه با سایر گره‌ها فاصله‌اش از چاهک کمتر بوده و دارای انرژی بیشتری باشد، در صورتی که در زاویه بین 60° و 60° - خط بین گره ارسال‌کننده و چاهک قرار داشته باشد، به‌عنوان گره ارسال‌کننده بعدی انتخاب می‌شود. مشکل عمده این پروتکل در نظر گرفتن زاویه 60° و 60° - برای همه-پخشی می‌باشد. انتخاب این زاویه احتمال انتخاب گره‌های بیشتر جهت ارسال داده را افزایش می‌دهد و باعث ارسال داده افزونه در شبکه و همچنین کاهش طول عمر آن می‌شود.

آقای لی و دوستان [۲۳] یک پروتکل مسیریابی جغرافیایی بدون نیاز به پیام کنترلی را با نام $CABG^{21}$ معرفی کردند. در این پروتکل از دو ناحیه با نام‌های ناحیه مخفی و غیرمخفی استفاده شده است. ناحیه غیرمخفی ناحیه‌ای است که در آن گره‌ها دارای اولویت بیشتری هستند و زمان انتظار آن‌ها کمتر از گره‌هایی هست که در ناحیه مخفی قرار دارند. همچنین ناحیه ارسال به بخش‌هایی با اندازه یکسان تقسیم شده است. هر گره دارای ۳ زمان مختلف است که مجموع این زمان‌ها، زمان انتظار گره‌ها را مشخص می‌کند. زمان اول رابطه مستقیمی با فاصله گره از چاهک دارد، هرچه فاصله گره از چاهک کمتر باشد، این زمان کمتر خواهد بود. زمان دوم رابطه مستقیمی با تقسیم‌بندی ناحیه و زاویه‌ای که گره با خط مستقیم بین منبع و چاهک می‌سازد دارد. در انتها گرهی که در ناحیه مخفی باشد یک زمان اضافی دریافت خواهد کرد. در صورتی که گرهی در ناحیه مخفی وجود داشته باشد. ارسال به‌صورت همه پخشی ادامه خواهد داشت. اما گره‌های موجود در ناحیه مخفی ابتدا یک درخواست ارسال به گره منبع ارسال می‌کنند و گره منبع در صورتی که هیچ گرهی از ناحیه غیرمخفی همان داده را ارسال نکرده باشد، به درخواست گره مخفی پاسخ داده و اجازه ارسال داده را می‌دهد. مشکل اصلی این پروتکل عدم توجه به انرژی گره‌ها و همچنین ارسال پیام‌های درخواستی توسط گره‌های مخفی است که منجر به افزایش انرژی مصرفی گره‌ها می‌شود.

۳- عملکرد پروتکل پیشنهادی

برای رفع مشکلات پروتکل‌های مسیریابی موجود، در این بخش یک پروتکل ارسال داده انرژی-کارا مبتنی بر موقعیت (EEF) معرفی می‌شود. اهداف پروتکل ارائه‌شده حذف پیام‌های کنترلی، به حداقل رساندن تزریق داده‌های افزونه به شبکه و تعادل در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار است.

برای رسیدن به اهداف مذکور، ابتدا مدل شبکه معرفی شده، سپس اصطلاحات و مفاهیم پایه که در این پروتکل استفاده خواهد

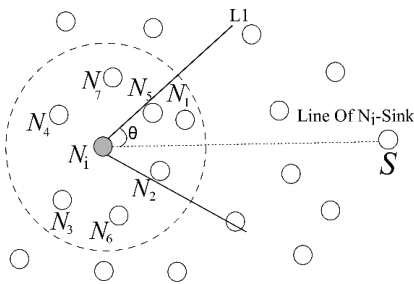
دو نوع پروتکل مسیریابی وجود دارد: مسیریابی برون‌خط^{۱۵} و مسیریابی برخط^{۱۶}. در مسیریابی برون‌خط، ابتدا مسیر بین گره منبع و چاهک ساخته شده و سپس ارسال داده صورت می‌پذیرد. در حالی که در روش مسیریابی برخط، گره‌ها پس از دریافت اطلاعات، گام بعدی برای ارسال را انتخاب می‌کنند. به دلیل پویا بودن شبکه‌های حسگر بصری، پروتکل‌های مسیریابی برخط در این شبکه‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

آقای کارپ و کونگ در [۱۸] یک پروتکل مسیریابی جغرافیایی برخط را با نام GPSR ارائه کردند. در این پروتکل گره‌های دوربین‌دار از اطلاعات محلی برای ارسال داده استفاده می‌کنند. با در اختیار داشتن موقعیت چاهک، الگوریتم GPSR داده را با استفاده از اطلاعات تک‌گامی به‌سمت چاهک ارسال می‌کند. در این پروتکل فرض شده گره‌ها موقعیت خود و همسایه‌های تک‌گامی خود را می‌دانند. این پروتکل از دو روش برای ارسال داده‌ها استفاده می‌کند: روش حریصانه^{۱۷} و روش پیرامون^{۱۸}. هنگامی که گرهی داده را از گره قبلی خود دریافت کرد، نزدیک‌ترین گره به چاهک را انتخاب کرده و داده‌اش را به آن گره ارسال می‌کند. این روش ارسال حریصانه نام دارد. در صورتی که هیچ همسایه‌ای وجود نداشته باشد که از گره فعلی به چاهک نزدیک‌تر باشد، از روش ارسال پیرامون استفاده می‌شود. در این روش گره فعلی از قاعده دست راست برای ارسال داده‌ها استفاده می‌کند.

جیانگ و همکاران در [۱۹] پروتکل مسیریابی همه-پخشی مشروط را با نام CFlood ارائه کردند. هدف اصلی این پروتکل برآورده ساختن و بهبود نرخ خط-مرگ است. پروتکل CFlood از چهار مؤلفه اصلی تشکیل شده است که شامل مدیریت جدول همسایه‌ها، تضمین ارسال بلادرنگ، انتخاب دریافت‌کننده و کنترل همه-پخشی است. در جدول همسایه، هر گره اطلاعات روابط خود با همسایه‌هایش را برای انجام وظیفه مسیریابی ذخیره می‌کند. همچنین هر گره جدول خود را به‌وسیله ارسال پیام‌های کنترلی به‌روز نگه می‌دارد. بخش خط-مرگ جهت توزیع خط-مرگ انتها به انتها به چندین گام معرفی شده است. تخمین تأخیر تک‌گامی و توزیع زیر خط-مرگ^{۱۹} با هم مقایسه می‌شوند. نتایج این مقایسه در صورتی که به یک سطح مشخصی از خط-مرگ برسد، ارسال بلادرنگ داده‌ها را تضمین می‌کند. پروتکل CFlood به‌صورت برخط است و به اطلاعات کلی شبکه نیاز ندارد. اما مشکل اصلی این پروتکل تبادل پیام‌های کنترلی است که باعث کاهش عمر شبکه می‌شود.

رهی و دوستان در [۲۰] پروتکل مسیریابی PADT را برای ارتباطات بلادرنگ با دو هدف: (۱) کارایی بلادرنگ^{۲۰} و (۲) کاهش انرژی مصرفی معرفی کردند. این پروتکل داده‌ها را در یک خط-مرگ مشخص به‌وسیله تخمین انتها به انتهای خط-مرگ ارسال می‌کند. جهت بهبود ارسال بلادرنگ، این پروتکل از یک روش ارسال حریصانه جهت انتخاب دورترین گره، از گره فعلی استفاده می‌کند. برای

که در آن S نمایانگر چاهک، N_i گرهی است که داده را همه-پخشی کرده است و N_j گرهی است که عضو $NBR(N_i)$ است. همچنین θ زاویه‌ای است بین خط LI و خط تراز N_i و چاهک $(N_i - Sink)$ ، درحالی‌که θ_j زاویه بین خط $(N_i - Sink)$ و خط $(N_i - N_j)$ است. $FCS(N_i)$ شامل همسایه‌های گره N_i است که به چاهک نزدیک‌تر بوده و در داخل زاویه $\theta + \theta$ و $\theta - \theta$ بین خط تراز گره N_i و چاهک قرار داشته باشند (شکل ۲).



شکل ۲: $FCS(N_i) = \{N_1, N_2, N_5\}$

۳-۲-۳- گره ارسال‌کننده (FWD)

$FWD(N_i)$ عضو $FCS(N_i)$ است که داده را از گره N_i دریافت کرده و در رقابت با سایر اعضای $FCS(N_i)$ جهت ارسال داده برنده شده است. این گره داده را جهت تحویل به چاهک دوباره ارسال می‌کند. الگوریتمی که FWD بر اساس آن انتخاب می‌شود، در بخش ۳-۳ توضیح داده خواهد شد.

۳-۳- پروتکل ارسال داده انرژی-کارا مبتنی بر موقعیت

پروتکل EEF یک پروتکل مسیریابی مبتنی بر موقعیت برای شبکه‌های حسگر بصری است. این پروتکل انرژی مصرفی را به‌وسیله کنترل گره‌های ارسال‌کننده و در نتیجه کاهش تزریق داده افزونه به شبکه، کاهش می‌دهد. EEF از روش انتخاب ارسال‌کننده حریصانه که نزدیک‌ترین گره به چاهک را انتخاب می‌کند، برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کند. بنابراین گرهی که داده برای ارسال دارد، داده‌هایش را در برد رادیویی خود پخش می‌کند. تمامی گره‌های همسایه، داده را دریافت می‌کنند اما تنها گره $FWD(N_i)$ داده را ارسال می‌کند. بقیه گره‌ها نیز داده‌های خود را به دور می‌اندازند تا از ارسال داده افزونه و تکراری جلوگیری شود. همچنین در این پروتکل، گره‌ها به‌جای تبادل پیام‌های کنترلی، از مکانیسم زمان انتظار جهت مشخص شدن گره ارسال‌کننده استفاده می‌کنند.

پروتکل EEF از دو مرحله اصلی تشکیل شده است:

- **روش انتخاب ارسال‌کننده حریصانه:** گره‌هایی که در زاویه مشخصی از خط بین گره ارسال‌کننده داده و چاهک

شد، شرح داده می‌شود. در ادامه نیز پروتکل مسیریابی EEF به‌صورت کامل توضیح داده می‌شود.

۳-۱- مدل شبکه

ما فرض کرده‌ایم تمامی گره‌های دوربین‌دار همگن بوده و به‌صورت تصادفی در منطقه نظارتی دوبعدی توزیع شده‌اند. هر گره از موقعیت خود و چاهک، به‌کمک GPS و یا روش‌های مکان‌یابی توزیع‌شده [۲۴] آگاه است. تمامی گره‌ها ثابت فرض شده و برد رادیویی آن‌ها برابر R است. گره‌ها برای محاسبه فاصله از همدیگر، از رابطه اقلیدسی استفاده می‌کنند.

۳-۲- اصطلاحات و مفاهیم پایه

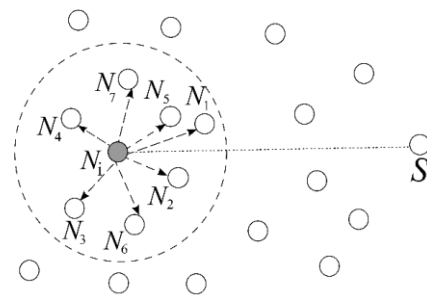
در این بخش، اصطلاحات و مفاهیم پایه معرفی می‌شوند. لازم به‌ذکر است که این مفاهیم از پروتکل PADT [۲۰] وام گرفته شده‌اند.

۳-۱-۲- همسایگان (NBR)

$NBR(N_i)$ و N_i به‌ترتیب نشان‌دهنده گره i و مجموعه همسایه‌های آن می‌باشند. گره‌هایی که عضو مجموعه $NBR(N_i)$ هستند، در برد رادیویی N_i قرار دارند و داده‌های ارسالی از این گره را دریافت می‌کنند (شکل ۱). $NBR(N_i)$ به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$NBR(N_i) = \{N_j \mid d(N_i, N_j) \leq R, N_i \neq N_j, j \in \text{sensorSet}\} \quad (1)$$

که در آن $d(N_i, N_j)$ فاصله اقلیدسی بین گره N_i و گره N_j ، R برد رادیویی گره N_i و sensorSet تمامی گره‌هایی است که در منطقه نظارتی پخش شده‌اند.



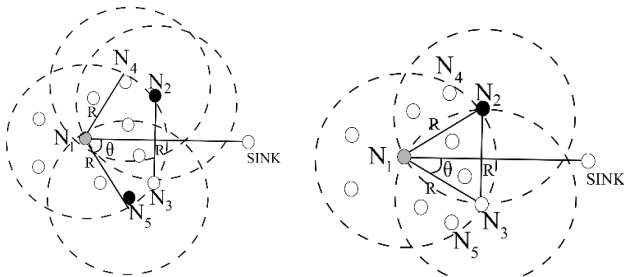
شکل ۱: $NBR(N_i) = \{N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7\}$

۳-۲-۲- مجموعه گره‌های با قابلیت ارسال مجدد (FCS)

مجموعه گره‌های با قابلیت ارسال مجدد گره N_i که $FCS(N_i)$ نام دارد، به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$FCS(N_i) = \{N_j \mid d(N_j, S) < d(N_i, S), N_j \in NBR(N_i) \text{ and } -\theta \leq \theta_j \leq +\theta\} \quad (2)$$

ارسال کننده را دریافت و در مجموعه گره‌هایی با قابلیت ارسال مجدد قرار گیرند. سایر گره‌هایی که در داخل زاویه ذکر شد قرار نداشته باشند بایستی داده دریافتی را بلافاصله دور بریزند، به عبارتی در مجموعه $(N_i - Sink)$ قرار نمی‌گیرد.



الف) انتخاب نامناسب θ ب) انتخاب مناسب θ

شکل ۳: یافتن زاویه بهینه θ

۳-۳-۲- مکانیسم زمان انتظار

گره‌هایی که در مجموعه FCS گره ارسال کننده داده قرار گرفته‌اند، ابتدا زمان انتظار خود را محاسبه کرده و صبر می‌کنند. بعد از آن که این زمان انتظار به پایان رسید، به عنوان FWD انتخاب شده و شروع به ارسال داده خود می‌نمایند. هر گره زمان انتظار متفاوتی بر اساس انرژی باقی‌مانده خود و فاصله از چاهک خواهد داشت. الگوریتم محاسبه زمان انتظار در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس این الگوریتم، هنگامی که انرژی باقی‌مانده گره‌ها از یک مقدار آستانه مانند E_{high} بیشتر باشد، گرهی که به چاهک نزدیک‌تر است به عنوان گره ارسال کننده انتخاب می‌شود. اگر انرژی باقی‌مانده گره بین دو مقدار آستانه E_{low} و E_{high} باشد، هر دو معیار فاصله و انرژی باقی‌مانده در محاسبه زمان انتظار دخالت داده خواهند شد. در صورتی که انرژی باقی‌مانده از مقدار آستانه E_{low} کمتر باشد، بیشترین زمان انتظار ممکن برای گره در نظر گرفته می‌شود.

(1) if $E_{residual} > E_{high}$ then
(2) $Time_{wait} = d(N_i, SINK) / D_{factor}$
(3) else if $E_{residual} > E_{low}$ then
$Time_{wait} = (1 - \alpha) \times (E_{initial}(N_i) - E_{residual}(N_i)) / E_{factor}$
(4) $+ \alpha \times d(N_i, SINK) / D_{factor}$
(5) else
(6) $Time_{wait} = 2 \times d(N_i, SINK) / D_{factor} + C_{factor}$

شکل ۴: الگوریتم محاسبه زمان انتظار

$(N_i - Sink)$ قرار دارند، حق ارسال مجدد داده‌های دریافتی را دارند. مشخص کردن صحیح گره‌های با قابلیت ارسال مجدد، باعث کاهش ارسال داده افزونه در شبکه می‌شود.

• مکانیسم زمان انتظار: گره‌های با قابلیت ارسال مجدد

جهت انتخاب شدن به عنوان گره ارسال کننده، زمان انتظار خود را محاسبه کرده و در صورت موفقیت شروع به ارسال داده می‌نماید. این زمان انتظار رابطه مستقیمی با انرژی باقی‌مانده و فاصله از چاهک دارد.

لازم به ذکر است که مراحل روش انتخاب ارسال کننده حریصانه و

مکانیسم زمان انتظار تا رسیدن داده به چاهک تکرار خواهند شد.

۳-۳-۱- روش انتخاب ارسال کننده حریصانه

در روش انتخاب ارسال کننده حریصانه تنها گره‌هایی که در زاویه بین $+\theta$ و $-\theta$ از خط تراز گره ارسال کننده و چاهک قرار دارند، قابلیت ارسال مجدد داده دریافتی را دارند. پارامتر θ بسیار مهم است، زیرا اگر به درستی انتخاب نشود باعث ارسال داده افزونه در شبکه شده و انرژی مصرفی شبکه را افزایش می‌دهد. فرض کنید برد رادیویی گره‌ها برابر R باشد. هرگاه $(N_i - FWD)$ داده‌ای را ارسال کند، تمامی گره‌هایی که منتظر ارسال داده‌های خود بودند ($FCS(N_i)$) داده خود را دور می‌ریزند. دلیل این امر این است که گره $(N_i - FWD)$ وجود داشته است که همان داده را ارسال کرده است. برای دستیابی به این هدف، تمامی گره‌های موجود در $FCS(N_i)$ باید صدای یکدیگر را بشنوند. به همین دلیل یافتن پارامتر θ برای تشکیل $FCS(N_i)$ بسیار مهم است.

با در نظر گرفتن شکل ۳، نحوه یافتن زاویه بهینه جهت تشکیل

$FCS(N_i)$ توضیح داده می‌شود. فرض کنید گره N_2 به عنوان گره

ارسال کننده انتخاب شده است. اگر فاصله بین گره N_2 و N_3 بیشتر

از R باشد، گره N_3 داده ارسالی توسط گره N_2 را دریافت نخواهد

کرد (شکل ۳ قسمت الف). بنابراین گره N_3 نیز همانند گره N_2 بعد

از اتمام زمان انتظار خود شروع به ارسال داده‌اش می‌نماید. نتیجه

این امر، ارسال داده افزونه به شبکه می‌شود که باعث کاهش طول

عمر شبکه می‌گردد. برای جلوگیری از این مشکل، بیشینه فاصله بین

گره N_2 و N_3 بایستی برابر R باشد. همان‌طور که در شکل ۳

قسمت ب نشان داده شده است. یک مثلث متساوی‌الاضلاع به رئوس

N_1, N_2, N_3 تشکیل شده است. خط بین N_1 و چاهک، خط بین

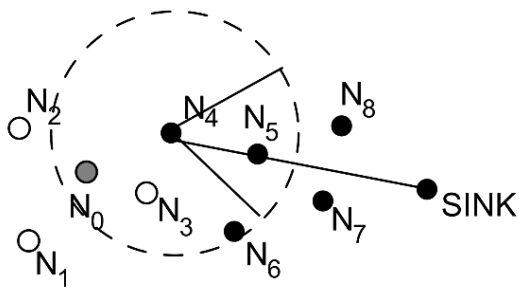
N_2 و N_3 را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کند. بنابراین زاویه θ

برابر مقدار 30° درجه به دست می‌آید. برای جلوگیری از ارسال داده

افزونه در شبکه، باید تمامی گره‌هایی که زاویه آن‌ها بین 30° و -30°

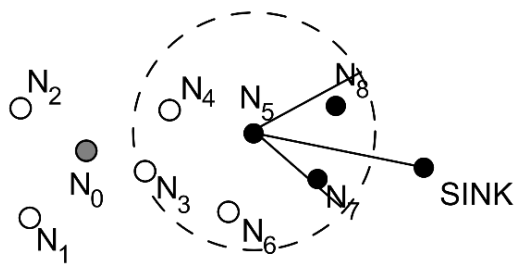
از خط بین گره ارسال کننده و چاهک است، داده‌های گره

اتمام زمان انتظار خود بودند، با دریافت این پیام داده خود را دور می‌اندازد (شکل ۶).



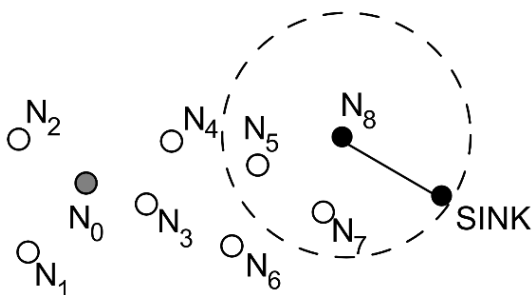
شکل ۶: گره N_4 به‌عنوان $FWD(N_0)$ انتخاب می‌شود.

از بین گره‌های دورترین‌دار مجموعه $FCS(N_4)$ گره N_5 به‌عنوان $FWD(N_4)$ انتخاب می‌شود (شکل ۷). پیام تصدیق توسط گره N_4 دریافت می‌شود. اعضای مجموعه گره‌های با قابلیت ارسال مجدد نیز با دریافت داده از گره N_5 داده‌های خود را دور می‌اندازند.



شکل ۷: گره N_5 به‌عنوان $FWD(N_4)$ انتخاب می‌شود.

در انتها، از بین گره‌های مجموعه $FCS(N_5)$ فرض می‌شود که بر اساس مکانیسم زمان انتظار گره N_8 به‌عنوان $FWD(N_5)$ انتخاب شده و پیام دریافتی از N_5 را ارسال می‌کند. گره N_7 پیام ارسالی از N_8 را شنیده و داده دریافتی از N_5 را بیرون می‌اندازد (شکل ۸). همچنین با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که داده موردنظر تحویل چاهک شد.



شکل ۸: گره N_8 به‌عنوان $FWD(N_5)$ انتخاب می‌شود.

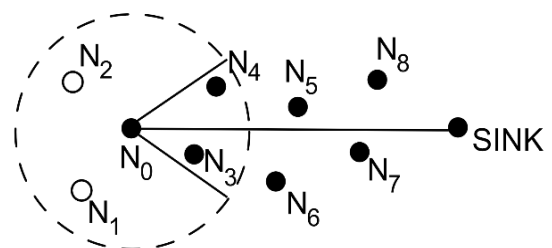
در شکل ۴، پارامتر D_{factor} فاکتور فاصله، پارامتر E_{factor} فاکتور انرژی هستند که به‌ترتیب برای نرمال‌سازی فاصله و انرژی استفاده شده‌اند. پارامتر C_{factor} یک مقدار ثابت جهت بیشینه کردن مدت‌زمان انتظار است. مقدار پارامتر α نیز بر اساس رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\alpha = E_{residual} / E_{initial} \quad (3)$$

همان‌طور که در رابطه ۳ مشاهده می‌شود، پارامتر α به‌صورت پویا در نظر گرفته شده است. در ابتدای شبکه به‌دلیل این‌که مقدار انرژی باقی‌مانده زیاد است، تأثیر پارامتر فاصله بیشتر است. به‌عبارتی گرهی که فاصله کمتری با چاهک دارد، به‌عنوان گره بعدی انتخاب می‌شود. بعد از گذشت زمان، انرژی گره‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین پارامتر α کمتر شده و تأثیر پارامتر انرژی در محاسبه زمان بیشتر می‌شود. این امر باعث می‌شود انتخاب گره‌ها در شبکه به‌صورت پویا انجام پذیرد و در مصرف انرژی گره‌ها نیز تعادل ایجاد شود.

۳-۴- مثال توضیحی از نحوه عملکرد پروتکل EEF

نحوه عملکرد پروتکل EEF با یک مثال در این بخش توضیح داده می‌شود. فرض کنید گره N_0 رخدادی را شناسایی کند و تصمیم به ارسال داده‌اش به چاهک بنماید. هنگامی‌که گره N_0 داده‌هایش را ارسال می‌کند، تمامی گره‌های همسایه داده‌هایش را دریافت می‌کنند (N_1, N_2, N_3, N_4). اما تنها گره‌هایی که عضو مجموعه گره‌های با قابلیت ارسال مجدد (N_3 و N_4) هستند، به‌عنوان گره‌های کاندیدای ارسال، انتخاب می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵: مشخص شدن $NBR(N_0)$ و $FCS(N_0)$

در بین گره‌های دورترین‌دار عضو مجموعه گره‌های با قابلیت ارسال مجدد، گرهی که زمان انتظار کمتری داشته باشد به‌عنوان گره ارسال‌کننده ($FWD(N_0)$) فرض بر این است که بر اساس مکانیسم زمان انتظار ارائه‌شده در EEF، گره N_4 کمترین زمان انتظار را دارد و به‌عنوان گره ارسال‌کننده انتخاب می‌شود. هنگامی‌که گره N_4 داده‌اش را همه‌پخشی می‌کند، گره N_0 آن را به‌عنوان پیام تصدیق ارسال، دریافت می‌کند و سایر گره‌ها مانند گره N_3 که منتظر

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش برای نشان دادن کارایی پروتکل EEF، نتایج شبیه‌سازی این پروتکل با دو مورد از جدیدترین پروتکل‌ها در این زمینه با نام PADT [۲۰] و CABG [۲۳] مقایسه می‌شود. برای این منظور ابتدا ملزومات شبیه‌سازی معرفی شده و سپس نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها تجزیه و تحلیل می‌شود.

۴-۱- ملزومات شبیه‌سازی

شبیه‌ساز OMNet++4.4.1 [۲۵] برای شبیه‌سازی عملکرد پروتکل‌های EEF، PADT و CABG استفاده می‌شود. اندازه محیط موردنظر در این شبیه‌سازی ۲۰۰ مترمربع و تعداد گره‌های دوربین‌دار نیز ۱۵۰ عدد در نظر گرفته شده است. گره‌ها به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت در محیط پخش شده‌اند. در این شبیه‌سازی از یک گره تولیدکننده داده استفاده شده است که موقعیت آن (۱۰، ۱۰۰) است. همچنین موقعیت چاهک برابر (۱۰۰، ۲۰۰) در نظر گرفته شده است. اندازه داده‌ها نیز به‌صورت متغیر بین ۳۲ بایت تا ۱۰۲۴ بایت است. مدل مصرف انرژی نیز بر اساس رابطه (۴) است [۲۶].

$$\begin{cases} E_{TX}(k, D) = k \cdot (E_{elec} + E_{amp} \cdot D^2) \\ E_{RX}(k) = k \cdot (E_{elec}) \end{cases} \quad (4)$$

که در آن k اندازه داده در واحد بیت، D برد رادیویی گره‌ها، E_{elec} انرژی مصرفی توسط قطعات الکترونیکی فرستنده و گیرنده ($E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$) و E_{amp} انرژی است که توسط تقویت‌کننده فرستنده و گیرنده مصرف می‌شود ($E_{amp} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$). سرپیام^{۲۲} داده‌های ارسالی به‌صورت شکل ۹ در نظر گرفته شده است.

Serial Number	Forwarder Location	Passed Hop counts
---------------	--------------------	-------------------

شکل ۹: سرپیام داده‌های ارسالی

جدول ۱ سایر پارامترهای مهم که در شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است را آورده است.

جدول ۱: پارامترهای شبیه‌سازی

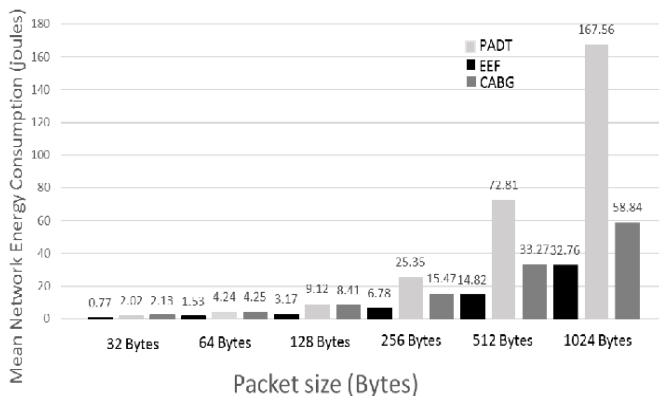
پارامترها	مقادیر
انرژی اولیه	۲ ژول
برد رادیویی گره‌ها	۷۰ متر
نرخ ارسال داده	۲ داده در ثانیه
E_{factor}	۳
D_{factor}	۱۲۵۰
C_{factor}	۰/۱۵

۴-۲- تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی‌ها

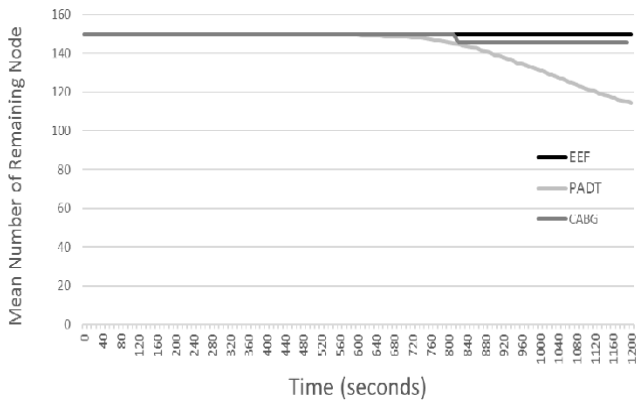
برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی‌ها سه معیار در نظر گرفته شده است: میانگین انرژی مصرفی، ترافیک تزریقی به شبکه و تعادل در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار. میانگین انرژی مصرفی، مقدار انرژی است که برای ارسال و دریافت داده‌ها مصرف می‌شود. ترافیک تزریقی در شبکه نیز نمایانگر تعداد داده‌هایی است که در کل شبکه تزریق می‌شود. در انتها، تعادل در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار نشان‌دهنده انحراف معیار مصرف انرژی برای تمامی گره‌ها است.

۴-۲-۱- میانگین انرژی مصرفی

مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بصری بسیار مهم است. میانگین انرژی مصرفی به‌طور واضح طول عمر شبکه را نشان می‌دهد. هرچه میانگین انرژی مصرفی کمتر باشد، طول عمر شبکه بیشتر می‌شود. برای محاسبه میانگین انرژی مصرفی در پروتکل پیشنهادی و مقایسه آن با پروتکل‌های PADT و CABG، شبیه‌سازی به تعداد ۳۰ بار اجرا می‌شود. برای هر اجرا، ۱۲۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. در هر اجرا، گره‌های دوربین‌دار به‌صورت تصادفی با توزیع یکنواخت در شبکه پخش می‌شوند. مصرف انرژی برای هر دو پروتکل با اندازه داده‌های مختلف محاسبه می‌شود. در انتها، میانگین نتایج به‌دست‌آمده از هر ۳۰ بار اجرا برای هر اندازه داده محاسبه می‌شود تا میانگین انرژی مصرفی در ۱۲۰۰ ثانیه به‌دست‌آید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. بررسی دقیق نتایج نشان می‌دهد که پروتکل EEF با در نظر گرفتن اندازه مختلف داده حدود ۷۰/۶۵ درصد میانگین انرژی مصرفی کمتری در مقایسه با پروتکل PADT دارد. دلیل این امر انتخاب بهینه زاویه θ و از بین بردن داده‌های افزونه می‌باشد. همچنین پروتکل ارائه‌شده در مقایسه با پروتکل CABG حدود ۳۳/۳۲ درصد میانگین انرژی مصرفی کمتری دارد. مهم‌ترین دلیل این امر توجه به انرژی مصرفی گره‌ها و عدم استفاده از پیام‌های کنترلی (جهت کسب اجازه از گره منبع) است. پروتکل CABG تنها به فاصله گره‌ها توجه دارد.



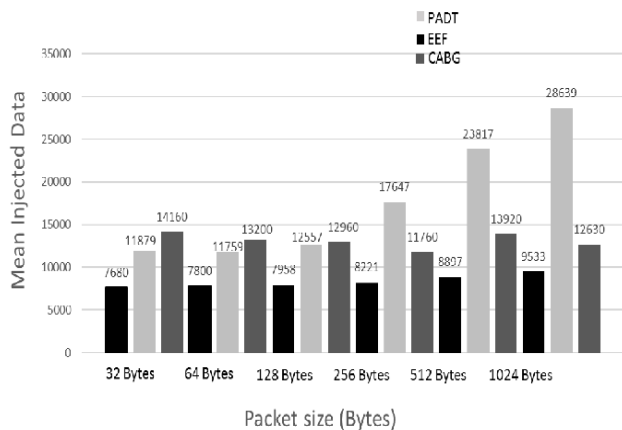
شکل ۱۰: میانگین انرژی مصرفی برای داده‌هایی با اندازه مختلف



شکل ۱۲: میانگین تعداد گره‌های زنده در ارسال داده‌هایی با اندازه ۱۰۲۴ بایت

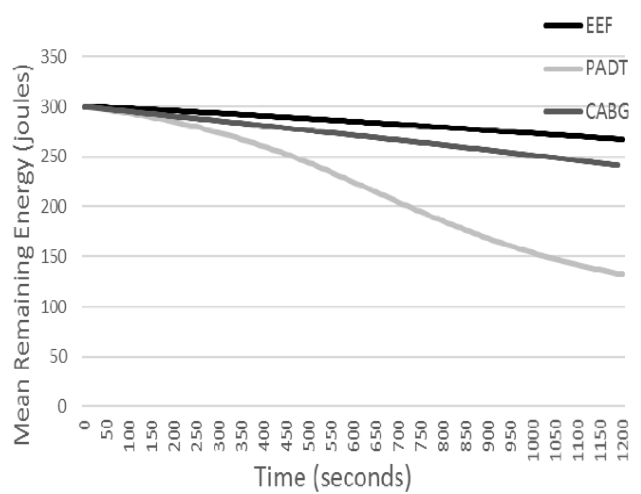
۴-۲-۲- ترافیک تزریقی به شبکه

در نظر گرفتن زاویه θ برای انتخاب گره‌های عضو مجموعه گره‌هایی با قابلیت ارسال مجدد (FCS) در عملکرد پروتکل مسیریابی مبتنی بر موقعیت تأثیر می‌گذارد. هنگامی که زاویه به‌درستی انتخاب نشود، باعث ارسال داده‌های افزونه در شبکه می‌شود. داده‌های افزونه باعث تزریق ترافیک اضافی به شبکه شده که نتیجه آن مصرف انرژی بیهوده در گره‌ها است. در بخش ۳-۳-۱ به‌صورت تئوری نشان داده شده است که پارامتر θ در پروتکل EEF به‌درستی انتخاب می‌شود. در این بخش درستی مقدار θ انتخاب‌شده در پروتکل EEF را از طریق شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده برای ترافیک تزریقی به شبکه نشان می‌دهیم. شبیه‌سازی به تعداد ۳۰ بار برای داده‌هایی با اندازه‌های ۳۲ بایت تا ۱۰۲۴ بایت اجرا شده و میانگین نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۱۳ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که میانگین ترافیک تزریقی در پروتکل EEF حدود ۴۸/۰۶ درصد کمتر از میانگین ترافیک تزریقی در پروتکل PADT است. در مقایسه با پروتکل CABG نیز پروتکل ارائه‌شده حدود ۳۶ درصد ترافیک کمتری به شبکه تزریق کرده است. دلیل زیاد بودن ترافیک تزریقی در پروتکل CABG تعداد پیام‌های کنترلی است که گره‌های موجود در ناحیه مخفی جهت اجازه از گره منبع ارسال می‌کنند.



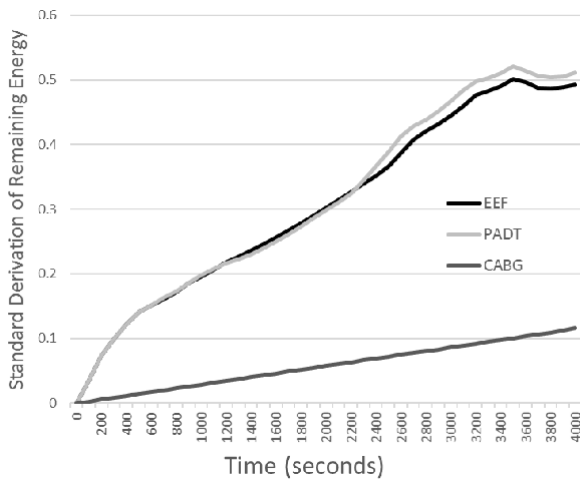
شکل ۱۳: میانگین ترافیک تزریقی به شبکه در ارسال داده‌هایی با اندازه‌های مختلف

برای توضیح دقیق‌تر نتایج، میانگین مصرف انرژی برای داده‌هایی با اندازه ۱۰۲۴ بایت در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، پروتکل پیشنهادی دارای ۸۹/۰۷ درصد انرژی باقی‌مانده در انتهای شبیه‌سازی است درحالی‌که این مقدار برای پروتکل PADT برابر ۴۴/۱۴ درصد و برای پروتکل CABG برابر ۸۰ درصد است. بنابراین پروتکل EEF دارای بهبود ۲ برابری نسبت به پروتکل PADT و ۱/۱۲ برابری نسبت به پروتکل CABG است. در نتیجه با در نظر گرفتن اندازه داده بزرگ‌تر، پروتکل EEF بهتر از پروتکل‌های PADT و CABG عمل می‌کند.



شکل ۱۱: میانگین مصرف انرژی برای داده‌هایی با اندازه ۱۰۲۴ بایت

مصرف انرژی تأثیر مستقیمی در تعداد گره‌های زنده دارد. به‌عبارتی زمانی که مصرف انرژی افزایش یابد، تعداد گره‌های زنده نیز کاهش می‌یابد. برای محاسبه تعداد گره‌های زنده و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از عملکرد پروتکل‌های EEF، PADT، CABG، شبیه‌سازی به تعداد ۳۰ بار اجرا و در هر اجرا اندازه داده، برابر ۱۰۲۴ بایت در نظر گرفته می‌شود. میانگین تعداد گره‌های زنده در تمامی اجراها در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در انتهای شبیه‌سازی، میانگین تعداد گره‌های زنده در پروتکل EEF برابر ۱۴۹/۸۵ است درحالی‌که این مقدار برای پروتکل PADT برابر ۱۱۴/۴۵ و برای پروتکل CABG برابر ۱۴۵/۸ است. به‌عبارت‌دیگر، در انتهای شبیه‌سازی در پروتکل EEF حدود ۱۰۰ درصد گره‌ها زنده هستند اما در پروتکل PADT حدود ۷۶/۳ درصد گره‌ها و در پروتکل CABG حدود ۹۶ درصد زنده هستند. بنابراین طول عمر شبکه در پروتکل پیشنهادی حدود ۲۵ درصد بهتر از پروتکل PADT و حدود ۴ درصد بهتر از پروتکل CABG است.



شکل ۱۵: مقایسه تعادل مصرف انرژی

۵- نتیجه‌گیری

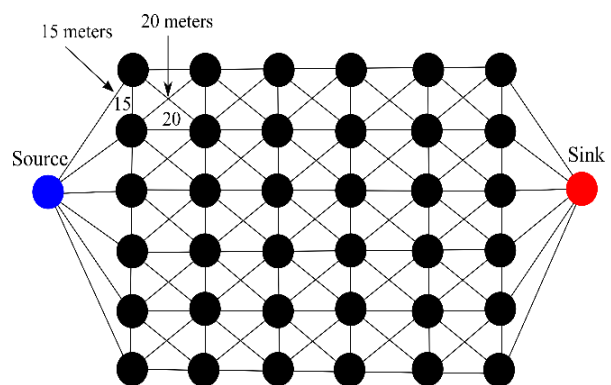
چالش اصلی در پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت برای شبکه‌های حسگر بصری فراهم آوردن کیفیت سرویس موردنیاز کاربردها و توجه به محدودیت منابع گره‌های دوربین‌دار است. بررسی دقیق پروتکل‌های مسیریابی مبتنی بر موقعیت جغرافیایی موجود نشان می‌دهد که تبادل پیام‌های کنترلی در این پروتکل‌ها زیاد بوده و این پروتکل‌ها از کاهش طول عمر شبکه رنج می‌برند. اگرچه اخیراً پروتکلی باعث از بین بردن پیام‌های کنترلی شده، اما آن نیز از تحمیل داده افزونه به شبکه رنج می‌برد. تزریق داده افزونه به شبکه باعث کاهش انرژی گره‌های دوربین‌دار می‌شود. در این مقاله، پروتکل EEF برای جلوگیری از تزریق داده افزونه به شبکه ارائه شد. علاوه بر این، پروتکل ارائه شده حذف پیام‌های کنترلی و تعادل در مصرف انرژی گره‌ها را به دنبال داشت. این پروتکل با انتخاب ارسال‌کننده حریم‌ناهن و با در نظر گرفتن زاویه بهینه جهت مشخص کردن مجموعه گره‌هایی با قابلیت ارسال مجدد، تزریق داده‌های افزونه را به حداقل رساند. مکانیسم پویای زمان انتظار نیز باعث حذف پیام‌های کنترلی و تعادل در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار گردید. نتایج شبیه‌سازی پروتکل EEF با پروتکل‌های PADT و CABG مقایسه شد. این نتایج نشان دادند که با کاهش داده‌های افزونه در شبکه، پروتکل EEF به ۷۰/۶۵ درصد و CABG ۳۳/۳۲ درصد ذخیره‌سازی انرژی بهتری نسبت به PADT و CABG به ترتیب دست می‌یابد. علاوه بر این در ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها نیز پروتکل ارائه شده حدود ۶ درصد نسبت به پروتکل PADT بهتر عمل می‌کند. در تعداد گره‌های زنده نیز پروتکل ارائه شده نسبت به پروتکل‌های PADT و CABG حدود ۲۵ درصد و ۴ درصد تعداد گره‌های زنده بیشتری داشت.

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdury, "Wireless multimedia sensor networks: a survey," *IEEE Wireless Communication*, vol. 14, no. 6, pp. 32–39, 2007.

۴-۲-۳- تعادل در مصرف انرژی گره‌های دوربین‌دار

در برخی کاربردها، مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا اولین گره یا درصد مشخصی از گره‌ها از بین برود به‌عنوان طول عمر شبکه در نظر گرفته می‌شود. یکی از روش‌هایی که باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود، ایجاد تعادل در مصرف انرژی گره‌ها خواهد شد. ایجاد تعادل در مصرف انرژی باعث کاهش انحراف معیار انرژی باقی‌مانده گره‌ها می‌شود. بنابراین، مدت‌زمان از بین رفتن اولین گره افزایش می‌یابد. برای محاسبه تعادل مصرف انرژی در پروتکل‌های EEF، PADT و CABG، گره‌ها در توپولوژی مشبک پخش شده‌اند (شکل ۱۴). مدت‌زمان اجرای شبیه‌سازی برابر ۴۰۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. تعداد گره‌های دوربین‌داری که در این شبیه‌سازی استفاده شده برابر ۳۶ و اندازه داده‌ها برابر ۵۱۲ بایت است. نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۱۵ نشان می‌دهد که پروتکل EEF حدود ۶ درصد تعادل مصرف انرژی بهتری را نسبت به پروتکل PADT ایجاد می‌کند. بنابراین پروتکل EEF در زمینه ایجاد تعادل در مصرف انرژی بر پروتکل PADT برتری دارد. دلیل این امر به‌کار بردن پارامتر پویای α در مکانیسم زمان انتظار جهت ارسال کمینه داده‌ها است که باعث کاهش انحراف معیار انرژی باقی‌مانده گره‌های دوربین‌دار می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، هر دو پروتکل EEF و PADT نسبت به پروتکل CABG انحراف معیار بیشتری دارند. دلیل این امر این است که اولاً پروتکل CABG به‌دلیل ماهیت جغرافیایی خود تنها از چند گره محدود استفاده می‌کند و به انرژی گره‌ها توجه ندارد. ثانیاً تمامی گره‌ها به‌دلیل وجود دو ناحیه مخفی و غیرمخفی درگیر دریافت بسته‌های ارسالی هستند که باعث می‌شود تمامی گره‌ها به یک میزان انرژی مصرف نمایند. به همین دلیل از آنجایی که انحراف معیار بر روی انرژی باقی‌مانده گره‌ها تعریف شده است، پروتکل CABG بهتر از دو پروتکل دیگر عمل کرده است.



شکل ۱۴: توپولوژی مشبک برای محاسبه تعادل مصرف انرژی

- [15] S. Ehsan, and B. Hamdaoui, "A survey on energy-efficient routing techniques with QoS assurances for wireless multimedia sensor networks," *Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no.2, pp. 265-278, 2012.
- [16] T. Rault, A. Bouabdallah, and Y. Challal, "Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey," *Computer Networks*, vol. 67, pp. 104-122, 2014.
- [17] J. M. K. Attoungble, and K. Okada, "A novel energy efficient routing protocol for wireless sensor networks: Greedy routing for maximum lifetime," *IEICE Transaction and Communications*, vol. E95-B, no. 12, pp. 3802-3810, 2012.
- [18] B. Karp, and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks," *Mobile Computing and Networking*, pp. 243-254, 2000.
- [19] B. Jiang, B. Ravindran, and H. Cho, "CFlood: A constrained flooding protocol for real-time data delivery in wireless sensor networks," *Proceedings of the 11th International Symposium in Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems*, pp. 413-427, 2009.
- [20] S. Rhee, H. Y. Choi, H. J. Lee, and M. S. Park, "Power-aware data transmission for real-time communication in multimedia sensor networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014, pp. 1-12, 2014.
- [21] M. Abazeed, N. Faisal, S. Zubair, and A. Ali, "Routing protocols for wireless multimedia sensor network: A survey," *Journal of Sensors*, vol. 2013, pp. 1-11, 2013.
- [22] A. Pal, "Localization algorithms in wireless sensor networks: Current approaches and future challenges," *Network Protocols and Algorithms*, vol. 2, no. 1, pp. 45-74, 2010.
- [23] J. C. Lee, H. S. Park, S. Y. Kang, and K. Kim, "Region-based collision avoidance beaconless geographic routing protocol in wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 15, no. 6, pp.13222-13241, 2015.
- [24] H. Chu, and R. Jan, "A GPS-less, outdoor, self-positioning method for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 5, no. 5, pp. 547-557, 2007.
- [25] [Online], Available online at: <https://omnetpp.org/>.
- [26] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," *IEEE Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1-10, 2000.
- [2] S. Soro, and W. Heinzelman, "A survey of visual sensor networks," *Advances in Multimedia*, vol. 2009, pp.1-22, 2009.
- [3] B. Tavli, K. Bicakci, R. Zilan, and J. Barcelo-Ordinas, "A survey of visual sensor network platforms," *Multimedia Tools and Application*, vol. 60, no.3, pp. 689-726, 2012.
- [4] A. Marcus and O. Marques, "An eye on visual sensor networks," *IEEE Potentials*, vol. 31, no. 2, pp. 38-43, 2012.
- [5] U. Prathap, D. P. Shenoy, K. R. Venugopal, and L. M. Patnaik, "Wireless sensor networks applications and routing protocols: survey and research challenges," *International Symposium on Cloud and Services Computing (ISCOS)*, pp. 49-56, 2012.
- [6] S. Prasanna, and S. Rao, "An overview of wireless sensor networks applications and security," *International Journal of Soft Computing*, vol.2, no. 2, pp. 1-3, 2012.
- [7] G. Xu, W. Shen, and X. Wang, "Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey," *Sensors*, vol. 14, pp. 16932-16954, 2014.
- [8] M. R. Akhondi, A. Talevski, S. Carlsen, and S. Petersen, "Applications of wireless sensor networks in the oil, gas and resources industries," *Advanced Information Networking and Applications*, pp. 941-948, 2010.
- [9] C. Y. Chong, and S. P. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges," *Proceedings of the IEEE*, pp. 1247-1256, 2003.
- [10] A. Mahapatra, K. Anand, and D. P. Agrawal, "QoS and energy aware routing for real-time traffic in wireless sensor networks," *Computer Communications*, vol. 29, pp. 437-445, 2006.
- [11] D. G. Costa, I. Silva, L. A. Guedes, F. Vasques, and P. Portugal, "Availability issues in wireless visual sensor networks," *Sensors*, vol. 14, no. 2, pp. 2795-2821, 2014.
- [12] E. E. P. K. Gilbert, K. Baskaran, and E. B. E. Blessing, "Research issues in wireless sensor network applications: a survey," *International Journal of Information and Electronics Engineering*, vol. 2, pp. 702-706, 2012.
- [13] H. Saito, and H. Minami, "Performance issues and network design for sensor networks," *IEICE Transaction and Communications*, vol. E87-B, no. 2, pp. 294-301, 2004.
- [14] N. Pantazis, S. Nikolidakis, and D. Vergados, "Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: a survey," *IEEE of Communication Surveys and Tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 551-591, 2013.

زیر نویس ها

¹⁵ Offline¹⁶ Online¹⁷ Greedy method¹⁸ Perimeter method¹⁹ Sub-deadline²⁰ Real-time performance²¹ Collision Avoidance Beaconless Geographic²² Header¹ Visual Sensor Networks² Camera Node³ Sink⁴ Position-Based⁵ Redundant data⁶ Energy-Efficient Flooding⁷ Micro-electro-mechanical-Systems⁸ Monitoring⁹ Surveillance¹⁰ Reliability¹¹ Real-time transmission¹² Deadline¹³ Estimated per hop delays¹⁴ Power-Aware Data Transmission