نشریه علمی‌ترویجی محاسبات نرم

سال هفتم/ شمارهٔ اول/ بهار و تابستان ۱۳۹۷/ صفحهٔ ۳۴ـ۴۹

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۵

ارائهٔ یک الگوریتم مسیریابی چندمسیرهٔ انرژی‌کارا در سیستم‌های اینترنت اشیاء

محسن خراسانی فردوانی[۱]، محمدرضا رمضان‌پور[۲*]، ریحانه خورسند[۳]

[۱] گروه مهندسی کامپیوتر، واحد محلات، دانشگاه آزاد اسلامی، مرکزی، ایران

mkhf99@yahoo.com

[۲] گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مبارکه، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

ramezanpour@mau.ac.ir

[۳] گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

r.khorsand@iauda.ac.ir

چکیده

اینترنت اشیاء شبکه‌ای با طیف گسترده از اشیاء و وسایل هوشمند است و به این موضوع اشاره دارد که اشیای فیزیکی قادر به تبادل اطلاعات با سایر اشیای فیزیکی هستند. اینترنت اشیاء سرویس‌های متنوعی را معرفی کرده و زندگی روزمرهٔ بشری وابسته به فعالیت‌های مطمئن و قابل دسترس آن است. این شبکه‌ها با مشکلات متعددی در زمینهٔ مصرف انرژی و ارتباط مطمئن برای ارسال صحیح داده مواجه‌اند و ویژگی‌های این شبکه‌ها همچون پویا بودن توپولوژی و وجود محدودیت انرژی به‌دلیل بی‌سیم بودن، مسئلهٔ مسیریابی در این شبکه‌ها را به چالش کشیده است؛ پروتکل AOMDV یکی از پروتکل‌های چندمسیره است که برای حفظ تعادل بار ترافیکی، مدیریت وکنترل مصرف انرژی گره‌ها، کاهش تأخیر و... از چند مسیر مختلف برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کند ولی از نظر نرخ گم شدن بسته‌ها دارای ضعف است. در این مقاله، این پروتکل به‌گونه‌ای بهبود داده می‌شود که برای انتخاب مسیرهای مجزا برای ارسال بسته‌ها، پرانرژی‌ترین مسیرها را انتخاب کند. برای این کار فرمت بسته‌های AOMDV تغییر داده شده و فیلدهایی به آن اضافه می‌شود تا معیار انرژی نیز برای انتخاب مسیر در اینترنت اشیاء در نظر گرفته شود. روش پیشنهادی با نام EEA-IOT معرفی شده است. برای نشان دادن کارایی، روش پیشنهادی با دو روش AOMDV و SMG در معیارهای نرخ گم شدن بسته و میزان انرژی باقی‌مانده در دو سناریوی متفاوت مقایسه شده است که نتایج نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر روش پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، انرژی مصرفی گره، مسیریابی چندمسیره، پروتکل AOMDV، کاهش تأخیر مسیریابی.

۱. مقدمه

در چند سال گذشته، بسیاری از اجسام هوشمند یافت‌شده در دنیای فیزیکی به هم متصل شده و از طریق زیرساخت موجود اینترنت ارتباط برقرار کرده‌اند که یک زیرساخت شبکهٔ جهانی به نام اینترنت اشیا (IoT)[1] نامیده شده است. تحقیقات، توسعهٔ چشمگیری از راه‌حل‌ها برای طیف وسیعی از دستگاه‌ها و پلت فرم‌ها را در طول چند سال گذشته نشان داده‌اند. با این حال، هر راه‌حل زیرساخت IoT، دستگاه‌ها، قالب‌های داده خاص خود را ارائه می‌دهد که منجر به مسائل قابلیت همکاری می‌شود.

این مسائل قابل همکاری، پیامد بسیاری از مسائل مهم همچون قفل‌گذاری فروشنده‌ها، عدم امکان توسعهٔ برنامهٔ اینترنت در قالب‌های مختلف IoT، و در نهایت از توسعهٔ فناوری IoT در مقیاس بزرگ جلوگیری می‌کند. برای فعال کردن اشتراک منابع یکپارچه بین فروشندگان مختلف اینترنت، تلاش‌ها توسط چندین دانشگاه، صنعت و نهادهای استانداردسازی برای کمک به قابلیت همکاری IoT ظهور کرده‌اند؛ به عبارت دیگر، توانایی سکوهای متعدد IoT از فروشندگان مختلف برای کار با یکدیگر به وجود آمده است [۱].

قبل از هر چیز باید این واقعیت را بپذیریم که اینترنت اشیاء همان طور که از نامش می‌توان حدس زد، بدون اتصال به اینترنت هیچ‌چیز نیست؛ زیرا از این طریق است که داده‌ها، بدون دخالت انسان بین دستگاه‌ها منتقل می‌شوند. البته نوع اتصال که بی‌سیم باشد یا نه به هیچ وجه مهم نیست؛ اگرچه بیشتر دستگاه‌های اینترنت اشیاء موجود امروزی از طریق وای‌فای کار می‌کنند.

درحالی‌که ایدهٔ «اینترنت اشیاء» بسیار طولانی شده، اما برای ورود به بازار مصرف، تازه اول راه است و هنوز هم سؤالات و موانع بسیاری وجود دارد؛ در ضمن چالش‌های زیادی نیز بر سر راه اینترنت اشیاء وجود دارند. در زمینهٔ هوشمندسازی شهری، توسعه به‌طور همزمان، ارزیابی خدمات و اجرای آزمایش‌های تحقیقاتی مختلف را فراهم کرده است، در نتیجه روند ایجاد محیط شهری هوشمند را تسهیل خواهد کرد. به‌طور مشابه، پروژهٔ OUTSMART، یکی از پروژه‌های FIPPP[2]، با تمرکز بر آب و برق و محیط‌زیست در شهرها و پرداختن به نقش اینترنت اشیاء در پسماندها و مدیریت آب، روشنایی عمومی، سیستم حمل‌ونقل و نظارت بر محیط‌زیست انجام شده است [۲].

افزایش نقش‌های Wi-Fi[3] در خانه‌های هوشمند با توجه به ماهیت و گسترش دستگاه‌های الکترونیکی شبکه‌شده (تلویزیون ها و گیرنده‌های AV[4]، دستگاه‌های تلفن همراه و...) در درجهٔ اول اهمیت قرار دارد. تبدیل شدن به بخشی از شبکهٔ IP[5] خانگی با توجه به افزایش روزافزون استفاده از محاسبات دستگاه‌های تلفن همراه (گوشی‌های هوشمند، تبلت‌ها و...) شروع شده است. ابعاد شبکهٔ خدمات آنلاین و گسترش شبکه، در حین تبدیل شدن به یک میانگین برای کنترل قابلیت‌های دستگاه روی شبکه شده است. در عین حال دستگاه‌های تلفن همراه، دسترسی مصرف‌کنندگان به یک «کنترل‌کنندهٔ» قابل حمل برای تجهیزات الکترونیکی متصل به شبکه را به وجود آورده‌اند. در این زمینه بسیاری از شرکت‌ها، تولید بسترهای نرم‌افزاری یکپارچه‌سازی اتوماسیون ساختمان‌ها با امکاناتی از قبیل تفریح و سرگرمی، نظارت بر بهداشت و درمان، نظارت بر انرژی و مانیتورینگ به‌وسیلهٔ حسگرهای بی‌سیم در محیط خانه‌ها و ساختمان‌ها را مورد توجه قرار داده‌اند [۳].

از لحاظ مقیاس‌پذیری، کاربردهای اینترنت اشیاء که مستلزم تعداد زیادی از دستگاه‌هاست، اغلب به‌سبب محدودیت‌ها در زمان، حافظه، پردازش و انرژی، پیاده‌سازی‌شان مشکل است. برای مثال، محاسبهٔ تغییرات دمای روزانه در سراسر کشور ممکن است به میلیون‌ها دستگاه نیاز داشته باشد و باعث به وجود آمدن حجم زیادی از داده‌ها ی غیرقابل مدیریت شود. سخت‌افزار به‌کاررفته در اینترنت اشیاء اغلب خصوصیات عملی متفاوتی دارند، مثل نرخ نمونه‌گیری و توزیع خطاها، ضمن اینکه اجزای محرک‌ها و حسگرهای اینترنت اشیاء همیشه خیلی پیچیده‌اند.

همهٔ این عوامل به شکل‌گیری شبکهٔ ناهمگنی از اینترنت

1. Internet Of Thing

2. Future Internet Public-Private Partnership Programme
3. Wireless Fidelity network
4. Audio/Video
5. Internet Protocol

اشیاء منجر می‌شود که در آن، داده‌های اینترنت اشیاء عمیقاً ناهمگن خواهد بود. به‌علاوه، ارسال حجم عظیمی از داده‌های خام در این شبکهٔ پیچیده و ناهمگن بسیار پرهزینه است، به‌طوری که اینترنت اشیاء برای کاهش حجم داده‌ها به متراکم‌سازی و ترکیب داده‌ها نیاز دارد. در نتیجه، استانداردسازی پردازش و ارسال داده‌ها برای آیندهٔ اینترنت اشیاء از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر این، انجام مسیریابی مناسب و انتخاب بهترین مسیرها برای ارسال سریع داده‌ها موجب بهینه‌سازی این شبکه‌ها می‌شود [۴]. همچنین پیدا کردن محل جمع‌آوری داده‌ها و سپس ارسال بسته‌های اطلاعاتی به گره جمع‌کننده، یک کار وقت‌گیر است. در اینترنت اشیاء، سنسورهای ریز برای تشخیص شبکه‌ها در سناریوهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در آن‌ها حسگرها ظرفیت باتری محدودی دارند و برای تعویض باتری تلاش می‌کند. در چنین وضعیتی مسئلهٔ چالش اصلی، استفادهٔ بهتر از انرژی محدود گره سنسور است تا عمر شبکه را طولانی‌تر کند [۵].

در این مقاله، برای بهبود مسیریابی در اینترنت اشیاء پروتکل چندمسیره AOMDV[1] انتخاب شده است. این پروتکل، نسخهٔ چندمسیره از الگوریتم مسیریابی AODV[2] است که سعی می‌کند مسیرهای لینک مجزا با گره‌های مجزا را شناسایی کند. تمامی جدول‌های مسیریابی در AOMDV برای حمایت از مسیریابی چندگانه شامل لیستی از چندین مسیر برای هر مقصد می‌باشند. تمام مسیرهای مربوط به یک مقصد دارای شمارهٔ توالی یکسانی هستند. این پروتکل برای جلوگیری از ایجاد چرخه در شبکه و نیز اطمینان از مجزا بودن مسیرها، دو مقدار فاصله تا گره منبع و آخرین پرش را برای هر مسیر ذخیره می‌کند. مقدار فیلد داده‌ای مربوط به فاصله تا گره منبع تا زمانی که یک مسیر برای شماره توالی بیشتری دریافت نشده باشد، بدون تغییر باقی خواهد ماند.

هر گره برای اطمینان از لینک مجزا بودن مسیرهای موجود در جدول مسیریابی، پیام درخواست مسیری را که دارای گام بعدی مشابه و یا آخرین گام مشابه با یکی از مسیرهای موجود در جدول مسیریابی باشد، حذف می‌کند. تا زمانی که تمامی گره‌ها به این قانون پایبند باشند، تمامی مسیرها با شمارهٔ توالی یکسان دارای لینک مجزا خواهند بود. شکل (۱) ساختار و کلیات سیستم‌های اینترنت اشیاء را نشان می‌دهد.

شکل (۱): سیستم‌های اینترنت اشیاء [۶]

هدف این مقاله بهینه‌سازی پروتکل AOMDV با انتخاب مسیرهای پرانرژی از بین مسیرهای موجود است که موجب افزایش طول عمر شبکه و کاهش بسته‌های گم‌شده و تأخیر انتها به انتها در شبکهٔ اینترنت اشیاء شود.

ادامهٔ این مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم به مرور کارهای انجام‌شده برای بهبود مسیریابی در اینترنت اشیاء، ضعف‌ها و بهبودهای انجام‌گرفته روی آن‌ها می‌پردازد. بخش سوم روش پیشنهادی بررسی شده است. بخش چهارم به شبیه‌سازی و ارزیابی کارایی روش پیشنهادی اختصاص دارد و در ادامهٔ این بخش نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲. مروری بر کارهای انجام‌شدهٔ مسیریابی در اینترنت اشیاء

در این بخش، برخی از مهم‌ترین پروتکل‌های مسیریابی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱.۲. پروتکل AOMDV-IOT

دومن و همکاران [۷] یک روش مسیریابی به نام IOT-AOMDV ارائه کرده‌اند که می‌تواند به‌عنوان مسیریاب تا مقصد عمل کند؛ روش پیشنهادی فقط برای گره ارائه نشده

1. Ad Hoc on-demand multipath distance vector
2. Ad Hoc on-demand distance vector

است، بهبود صورت‌گرفته بیشتر برای استفاده در اینترنت اشیاء مناسب است که یک روش منحصربه‌فرد در این زمینه است.

هدف اصلی این روش پیدا کردن و ایجاد اتصال مؤثر بین گره‌ها و اینترنت از طریق پروتکل مسیریابی AOMDV در اینترنت اشیاء است. در پروتکل مسیریابی پیشنهادی جدول اتصال اینترنتی (ICT)[1] به هر گره اضافه می‌شود، به‌طوری که هر گره دارای دو جدول است: جدول مسیریابی و ICT.

جدول ICT دارای چهار بخش است: ۱. شمارهٔ گره مقصد، ۲. آدرس IP گره مقصد، ۳. طول عمر، ۴. تعداد گام.

اگرچه ICT حافظهٔ بیشتری را صرف می‌کند، در عوض می‌تواند مقادیر لینک‌ها را ذخیره کند و میزان تأخیر نقل و انتقال را کاهش دهد.

در مقایسه با AOMDV در اینترنت اشیاء، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که AOMDV-IOT عملکرد بهتری را در تأخیر انتها به انتها، از دست دادن بسته و فرکانس به دست می‌آورد. در این مقاله نویسندگان بردار فاصلهٔ چندمنظوره Ad-Hoc را که برای اینترنت ساخته شده است بهبود داده‌اند، به‌طوری که می‌تواند راه انتقال مستقیم اینترنت را به‌صورت پویا و از طریق به‌روزرسانی منظم جدول اتصال به اینترنت انتخاب کند. اگرچه پروتکل مسیریابی پیشنهادی AOMDV-IOT زمان مسیریابی اضافی را افزایش می‌دهد، شبیه‌سازی نشان می‌دهد که میانگین تأخیر انتها به انتهای مسیر کاهش می‌یابد.

۲.۲. روش AOMDV با استفاده از SDN[2]

خارکونگر و همکاران [۸] یک پروتکل مسیریابی بر مبنای پروتکل AOMDV پیشنهاد داده‌اند که در آن، مصرف انرژی دستگاه‌های ناهمگن در نظر گرفته شده است. یک کنترل‌کنندهٔ SDN نیز در شبکه وجود دارد که به‌صورت متمرکز عمل می‌کند و به‌عنوان یک مدیر با اعمال عدم دسترسی به گره‌های خودخواه که در شبکه حضور دارند، یک شبکه امن را فراهم می‌کند.

در این مقاله، نویسندگان در مرحلهٔ اول، گره‌ها را در کنترل‌کننده ثبت می‌کنند. کنترل‌کننده یک شناسهٔ منحصربه‌فرد برای هر گره در شبکه دارد. در مرحلهٔ دوم، کنترل‌کننده کل شبکه را نظارت خواهد کرد. در مرحلهٔ سوم گره منبع اطلاعات مربوط به گره همسایه را پیدا می‌کند. در مرحلهٔ چهارم، انرژی باقی‌مانده گره همسایه محاسبه می‌شود و در مرحلهٔ پنجم گره منبع، بر اساس مقدار انرژی گره، بسته را ارسال می‌کند. اگر ارزش انرژی پایین‌تر از مقدار آستانه‌ای است، بسته منتقل می‌شود، در غیر این صورت گره دیگری را که در همسایگی وجود دارد، انتخاب کنید و در مرحلهٔ آخر کنترل‌کننده، گره خودخواه را در شبکه مسدود خواهد کرد و مجاز به ورود دوباره به شبکه نخواهد شد.

در ادامهٔ این روش، مسیریابی AOMDV با استفاده از کنترل کنندهٔ SDN با سایر پروتکل‌های مسیریابی AODV، DSR[3] و DSDV[4] مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از پارامترهای مختلف نشان می‌دهد که پروتکل مسیریابی پیشنهادی، از لحاظ میزان تحویل بسته، میانگین تأخیر انتها به انتها و همچنین میزان بهره‌وری، بهتر از پروتکل‌های مسیریابی سنتی عمل می‌کند. ازاین‌رو، عملکرد کلی شبکه بهبود یافته است.

۳.۲. روش MLB[5]

اینترنت اشیاء بر پایه و اساس شبکهٔ حسگر بی‌سیم است و ZigBee یکی از محبوب‌ترین پروتکل‌های این شبکه است. در اینترنت اشیاء، انتقال دادهٔ سنگین توسط شبکه‌های حسگر بی‌سیم باعث مشکلات زیادی شده است. با این حال، پشتهٔ مسیریابی AODV در پروتکل ZigBee، هیچ مکانیسم تعادل بار برای رسیدگی به ترافیک خراب ندارد. بنابراین در این روش، تعادل بار مسیر چندگانه MLB را برای جایگزینی با پروتکل مسیریابی AODV در ZigBee توسعه داده‌اند. MLB برای همکاری با شبکهٔ بی‌سیم ZigBee در مقیاس بزرگ پیشنهاد شده است.

در این سناریو، ZigBee برای رسانه‌های ارتباطی شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ساخت پشتهٔ ZigBee قابل اعتماد، لایهٔ شبکهٔ آن در MLB جایگذاری شده

1. Internet connecting table
2. Software-Defined Networking
3. Dynamic Sourse Routing
4. Destination Sequence Distance Vector
5. Multipath Load Balancing

است. MLB سرویس مسیریابی جایگزین برای شبکه ZigBee بدون تغییر پشتهٔ موجود در آن را فراهم می‌کند، زمانی که یک روتر ZigBee داده‌های اینترنت اشیاء را رو به جلو ارسال می‌کند، MLB لایهٔ شبکه ZigBee را برای انتخاب یک next hop با حداقل بار به‌سمت دروازهٔ اینترنت اشیاء هدایت می‌کند [۹].

۴.۲. روش SMH-GEAR[1]

ژانگ و همکاران [۱۰] در مقالهٔ خود با توجه به ویژگی‌های اینترنت اشیاء، مسیریابی چندگانهٔ انرژی کارا و الگوریتم مسیریابی ترکیبی ارائه داده‌اند. بر اساس پروتکل GEAR، یک مدل کارآمد با سازمان‌دهی بالا برای گره‌ها در مقیاس بزرگ پیشنهاد شده است. این مدل شامل موارد زیر است:

کشف مسیر گره‌های ثابت، کشف مسیر گره‌های متحرک، نگهداری مسیریابی و پردازش مسیریابی.

این پروتکل بهبودیافته مبتنی بر مسیریابی ترکیبی چندگانه بر اساس مدل کوچک جهان (SMH) است که به نام SMH-GEAR ارائه شده و با پروتکل GEAR مقایسه شده و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این پروتکل می‌تواند طول عمر شبکه را افزایش دهد و بهینه‌سازی را در توان عملیاتی شبکه ایجاد می‌کند.

به‌طور کلی، نتیجه آزمایش نشان می‌دهد که کارایی پروتکل SMH-GEAR بهتر از پروتکل GEAR است.

۵.۲. الگوریتم انتقال انرژی مبتنی بر RPL[2]

RPL یک شبکهٔ IP نسخهٔ ۶ است و شبیه یک توپولوژی درختی ایجاد شده که مبتنی بر فرایند بهینه‌سازی معیارها در یک شبکهٔ کوچک با استفاده از توابع هدف مختلف برای انجام روند مسیریابی مورد نظر است. محمود و همکارانش [۱۱] یک پروتکل مسیریابی و الگوریتم انتقال انرژی برای طراحی یک سیستم مبتنی بر RPL با انرژی قابل اعتماد و کم‌هزینه برای برنامه‌های کاربردی در اینترنت اشیاء پیشنهاد داده‌اند. برای مسیریابی ترافیک شبکه، RPL به اطلاعات درون DODAG[3] نیاز دارد که در درون آن مشخص شده که گره والد کدام است، بنابراین با استفاده از بسته‌های کنترل که (DIO)[4] نامیده می‌شود و درخواست اطلاعات (DIS)[5] به انتقال اطلاعات درون DODAG می‌پردازد.

هدف از روش نویسندگان این مقاله، دستیابی به یک انرژی کارآمد در سیستم و برنامه‌های کاربردی در اینترنت اشیاء است، به‌طوری که گره‌ها با مصرف کمتر انرژی، طول عمر شبکه را تضمین کنند. علاوه بر این، این الگوریتم توان عملیاتی شبکه را بالا می‌برد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که هر گره می‌تواند سطح انرژی بهینه‌ای را برای انتقال انتخاب کند. اگرچه شبیه‌سازی‌ها برای دو گره انجام می‌شود، سیستم پیشنهادی می‌تواند برای گره‌های بیشتری نیز کار کند. ولیکن محدودیت مدل پیشنهادی‌شان این است که همهٔ موارد در نظر گرفته شده همگن هستند، درحالی‌که فرستندهٔ گره‌ها RF CC2420[6] می‌باشد و ممکن است در شبکه‌ای با گره‌های مختلف و با انواع گیرندهٔ RF به‌درستی کار نکند.

۶.۲. روش EECRP[7]

شن و همکاران [۱۲] یک پروتکل مسیریابی جدید و متمرکز مبتنی بر انرژی برای اینترنت اشیاء با کمک شبکه‌های حسگر بی‌سیم پیشنهاد کرده‌اند تا عملکرد شبکه را بهبود بخشد. آن‌ها فرض کردند که گره‌های حسگر بی‌سیم به‌صورت تصادفی در شبکه توزیع می‌شوند، همچنین فرض شده که هر گره موقعیت BS[8] و انرژی باقی‌مانده را در هر زمان می‌داند.

پیشنهاد نویسندگان این مقاله سه قسمت است که قسمت اول یک الگوریتم خوشه‌بندی است که با توجه به انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها عمل می‌کند، قسمت دوم یک الگوریتم بهینه‌ساز به پروتکل EECRP که مبتنی بر تعداد گره‌های مرده و تعداد سرخوشه‌ها عمل می‌کند اضافه می‌شود و قسمت سوم ارائهٔ یک روش برای ذخیرهٔ انرژی گره‌های سرخوشه در ارتباط راه دور است.

1. Small World Multi-Path Hybrid Routing
2. Routing Protocol for Low power and Lossy network
3. Destination Oriented Directed Acyclic Graph
4. DODAG Information Object
5. DODAGInformation Solicitation
6. Radio Frequency
7. Energy-Efficient Centroidbased Routing Protocol
8. Base station

پروتکل EECRP پیشنهادشده، شامل سه بخش کلیدی است: یک روش جدید تشخیص خوشهٔ توزیع‌شده که قادر به خودسازمان‌دهی گره‌های محلی است، یک سری جدید از الگوریتم‌ها برای تطبیق خوشه‌ها و چرخش سرخوشه بر اساس موقعیت متمرکز و با توزیع یکسان بار انرژی بین تمام گره‌های حسگر، و یک مکانیزم جدید برای کاهش مصرف انرژی برای ارتباطات راه دور. محاسبهٔ انرژی گره در EECRP برای محاسبهٔ موقعیت متمرکز در نظر گرفته شده است.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که EECRP بهتر از LEACH[1]، LEACH-C[2] و GEEC[3] اجرا می‌شود. علاوه بر این، EECRP برای شبکه‌هایی مناسب است که نیاز به یک عمر طولانی دارند و ایستگاه پایه در شبکه قرار دارد. زمانی که ایستگاه پایه در شبکه قرار بگیرد، EECRP می‌تواند مقدار قابل توجهی از داده‌ها را با اتلاف انرژی بسیار کم ارسال کند. بنابراین، طول عمر شبکه در EECRP طولانی‌تر از LEACH است.

۷.۲. روش SCOTRES

جرج هاتزیوالسی و همکاران [۱۳] روشی با نام SCOTRES برای مسیریابی امن بر اساس معیارهای مهمی مانند انرژی در شبکهٔ اینترنت اشیاء معرفی کردند. SCOTRES یک سیستم مبتنی بر اعتماد برای مسیریابی امن در شبکه های Ad-Hoc است که از دستگاه‌های هوشمند برای تبادل اطلاعات استفاده می‌کند. این روش با استفاده از پنج معیار بیان می‌شود: ۱. معیار انرژی، مصرف منابع هر گره را در نظر می‌گیرد؛ ۲. معیار همکاری موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود؛ ۳. معیار توپولوژی از موقعیت‌های گره‌ها آگاه است و باعث تقویت بارگیری می‌شود؛ ۴. معیار سالم بودن کانال، به‌دلیل شرایط کانال نامناسب، شبکه را در مقابل حملات مضر محافظت می‌کند؛ ۵. معیار شهرت همکاری هریک از شرکت‌کنندگان را برای عملیات خاص شبکه، شناسایی حملات تخصصی ارزیابی می‌کند، درحالی‌که معیار اعتماد، انطباق کلی در برابر حملات ترکیبی را برآورد می‌کند. عملکرد و اثربخشی روش پیشنهادی در شبیه‌ساز NS2 مورد بررسی قرار گرفته و SCOTRES با پروتکل مسیریابی DSR ادغام شده است. طرح‌های مشابه با استفاده از همان پلت‌فرم به‌منظور ارائهٔ یک مقایسهٔ منصفانه انجام شده است. علاوه بر این، SCOTRES در دو نوع معمول قرار دارد. سیستم‌ها جاسازی شده و روی سیستم‌های واقعی سایبر فیزیکی برای نظارت بر پارامترهای زیست‌محیطی برنامهٔ روستایی در گلخانه‌ها استفاده شده است. ارزیابی‌های این مقاله نشان داده که این سیستم دارای بالاترین سطح حفاظت است درحالی‌که کارایی برای راه‌اندازی واقعی برنامه را حفظ می‌کند.

۸.۲. روش مسیریابی توزیع‌یافتهٔ تطابقی

به‌عنوان بخش مهمی از اینترنت اشیاء، شبکه‌های FANET[4] می‌توانند خدمات ارتباطی برای دستگاه‌های مختلف در اینترنت اشیاء و برنامه‌های کاربردی فعال با سایبر فراهم کنند. با این حال، تحرک وسیلهٔ نقلیه بدون سرنشین (UAV)[5] در FANETs منجر به اتصال به شبکه به‌صورت غیر قابل پیش‌بینی و افزایش پیچیدگی الگوریتم‌های مسیریابی در این برنامه‌ها، به‌خصوص برای مسیریابی با زمان واقعی می‌شود. در این زمینه، یک روش مسیریابی توزیع‌یافتهٔ تطابقی مؤثر برای حل مشکل ارائه شده است که در آن فرستنده تنها از اطلاعات محلی و با کمک گره‌های همکار برای انتقال بسته‌ها استفاده می‌کند. آن‌ها یک مشکل بهینه‌سازی را حل می‌کنند که هدف از آن حداکثرسازی استفاده از شبکه، با حفظ میزان تأخیر انتها به انتهای پایین‌تر از یک آستانهٔ معین برای پشتیبانی از تغییرات در ویژگی‌های شبکه و وضعیت کانال است، آن‌ها همچنین تأخیر تک قدم را در گره پخش‌کننده و برای هر انتقال تخمین می‌زنند و از روش تجزیهٔ دوگانه برای تبدیل مشکل متمرکز به یک مشکل توزیع‌یافته استفاده می‌کنند به‌طوری که اجازه می‌دهد تنها گره‌های پخش‌کننده از آن اطلاعات محلی کانال استفاده کنند و تأخیر در مسیر بسته‌ها را تخمین بزنند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش مسیریابی پیشنهادی نویسندگان این مقاله

1. Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
2. Centralized Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy
3. Game-theory-based Energy-Efficient clustering
4. Flying Ad Hoc Network
5. Unmanned Aerial Vehicle

می‌تواند عملکرد شبکه را از لحاظ بهره‌وری انرژی، توان عملیاتی و تأخیر انتها به انتها بهبود بخشد [۱۴].

۹.۲. روش SpEED-IoT

دبروی و همکاران [۱۵] روش یک طرح مسیریابی چندمسیره با قابلیت آگاه چندکاناله برای ارتباطات D2D[1] در شبکهٔ مش اینترنت اشیاء را با نام SpEED-IoT پیشنهاد کرده‌اند که ازREMs برای پیشنهاد یک طرح مسیریابی چندمسیری استفاده شده است که بهترین مسیر و بهترین کانال‌های در دسترس که در طول هر مسیری وجود دارد و قدرت ارسال بهینه برای هر مسیر را به دست می‌آورد.

SpEED-IoT همچنین از یک مدل تخصیص مسیر نظریهٔ بازی تکاملی برای حفظ ارتباط موازی D2D استفاده می‌کند که حمایت رسمی مجاز، حفظ انرژی دستگاه‌های اینترنت اشیاء، نتایج مؤثر نرخ تأخیر انتها به انتها و هم‌گرایی سریع و تخصیص مسیر منصفانه بین ارتباطات مزاحم D2D را تضمین می‌کند.

از طریق شبیه‌سازی محور آزمایش GENI-bassed در اینترنت اشیاء، عملکرد SpEED-IoT به این صورت ارزیابی شده است که قابلیت کسب اطمینان از اتصال و قابلیت اتصال بین دستگاه‌های IoT تحت شرایط کاربرد طیف متغیر، بهینه‌سازی نرخ داده مسیرهای مشخص‌شده و شبکهٔ کلی اینترنت اشیاء، اثربخشی در حفاظت مجاز از متصدی، و عملکرد منصفانه در حین اختصاص دادن مسیرها به چندین دستگاه مزاحم را دارد.

در مسیریابی در اینترنت اشیاء نوسان پایداری پیوند ناشی از تحرک و یا خصوصیات رسانهٔ انتقال، در شبکهٔ بی‌سیم بر عملکرد شبکه تأثیر می‌گذارد. بهره‌وری یک پروتکل مسیریابی پویا را می‌توان با توانایی مقابله با عدم اطمینان پیوند و سربار مسیریابی از لحاظ محاسبات و پیکربندی مجدد دسته‌بندی کرد. پایداری پیوند به‌عنوان مهم‌ترین رکن مسیریابی منجر به ایجاد پروتکلی با خصوصیات و قابلیت‌های زیر است:

- **انرژی کارا:** سربار کم ارتباطات و محاسبات که از کاهش قطعی در پیوندها باعث کاهش مسیریابی مجدد می‌شود.
- **انعطاف‌پذیری جابه‌جایی:** پیوندهای انتخاب‌شده در برابر قطعی ارتباط برای مدت‌زمان بیشتری در جابه‌جایی گره‌ها مقاومت دارند.
- **پایداری:** برای کاهش سربار روی جداول مسیریابی، مسیرهای مشابه برای مدت‌زمان بیشتری نگهداری می‌شوند.

در تحقیقات قبلی در هریک از روش‌های ارائه‌شده سعی بر بهبود یک یا دو آیتم از گزینه‌های ذکرشده است و در هیچ‌یک از روش‌ها بهبود سه گزینه با هم حاصل نشده است. ما در روش پیشنهادی خود، پایداری پیوند را با استفاده از پارامترهای انرژی، تعداد گام و فاصله برآورد می‌کنیم. هرچه انرژی گره بیشتر باشد، احتمال بیشتری برای زنده و فعال ماندن آن برای مدت‌زمان بیشتر وجود دارد و محدودهٔ انتقال آن وسیع‌تر است. هرچه تعداد گام کمتر باشد و فاصله نیز کمتر باشد، احتمال اینکه بسته سریع‌تر و سالم برسد بیشتر خواهد بود که این باعث انرژی کارار بودن روش نیز است و در انتخاب گره‌ها با توجه به انرژی آن‌ها در برابر قطعی ارتباط برای مدت‌زمان بیشتری مقاومت کرده و انعطاف‌پذیری جابه‌جایی بیشتری را دارد.

۳. روش پیشنهادی

معماری‌های شبکهٔ اینترنت اشیاء ذاتاً ناهمگن هستند، از جمله شبکهٔ حسگر بی‌سیم (WSN)[2]، (Wi-Fi)، شبکهٔ مش بی‌سیم (WMN)[3]، شبکهٔ ارتباطات سیار (MCN)[4] و شبکهٔ وسیلهٔ نقلیه [۱۶]. در شبکه‌های اینترنت اشیاء گره‌های شبکه می‌توانند سیار باشند، بنابراین توپولوژی شبکه متغیر است. علاوه بر این، بعضی از گره‌ها ممکن است به حالت خواب بروند، بنابراین با تغییر توپولوژی باید مسیر جدیدی برای ارسال داده کشف شود. در شبکهٔ اینترنت اشیاء برای ارتباط از IP نسخهٔ ۶ استفاده می‌شود که استاندارد نسل بعدی IP نسخهٔ ۴ است که آدرس‌های تقریبی بی‌نهایت را فراهم می‌کند. IP نسخهٔ ۶ نقش مهمی با استفاده از فضای آدرس بزرگ خود در اینترنت اشیاء دارد که از طریق آن می‌توان به‌راحتی یک آدرس IP منحصربه‌فرد را برای اشیاء

1. Device-to-Device

2. Wireless Sensor Network
3. Wireless Mesh Network
4. Mobile Communication Network

اختصاص داد و می‌تواند داده‌ها را از طریق شبکه انتقال دهد [۱۷]. بر این اساس، برای جلوگیری از ارسال بی‌هدف داده‌ها در گره‌ها و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، روش‌های خوشه‌بندی و مبتنی بر SDN ارائه شدند.

اما از آنجایی که اینترنت اشیاء ایدئال باید انرژی کمی مصرف کند و برنامه‌ریزی هوشمندانه‌ای داشته باشد تا قادر باشد داده‌ها را به سرعت و با دقت و در طی زمان طولانی دریافت کرده و هزینهٔ نصب آن ارزان بوده و نیاز به تعمیر و نگهداری هم نداشته باشد، می‌توان از الگوریتم‌های مسیریابی چندمسیره برای بهبود مسیریابی و افزایش طول عمر شبکه استفاده کرد.

پروتکل AOMDV یک پروتکل چندمسیری است که برای حفظ تعادل بار ترافیکی، کنترل و مدیریت مصرف انرژی گره‌ها، کاهش تأخیر، از چند مسیر مختلف برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کند. در این بخش، پروتکل AOMDV به‌گونه‌ای بهبود داده شده است که بهترین مسیرهای پرانرژی را برای ارسال همزمان اطلاعات در بین اشیاء انتخاب کند.

در این مقاله، یک روش مسیریابی انرژی کارا مبتنی بر اینترنت اشیاء به نام EEA-IOT[1] ارائه می‌شود.

۱.۳. طراحی بسته‌های مسیریابی روش EEA-IOT

در روش پیشنهادی، تمامی اشیاء باید مجهز به جی‌پی‌اس بوده و همچنین دارای انرژی اولیهٔ ماکزیمم باشند. ابتدا فرمت بسته‌های مسیریابی AOMDV گسترش داده می‌شود تا برای مسیریابی روش پیشنهادی استفاده شود به این صورت که فیلدهای جدیدی در بسته‌های مسیریابی AOMDV اضافه می‌شود. پروتکل مسیریابی روش پیشنهادی مانند AOMDV پایه، چهار فرمت بسته‌ای دارد اما در روش پیشنهادی، فرمت این بسته‌ها تغییراتی داده می‌شود و فیلدهای مورد نیاز به این بسته‌ها اضافه می‌شوند. توضیح این بسته‌ها در ادامه بیان شده است.

بستهٔ کشف همسایه HELLO: این بسته برای کشف اشیاء همسایه در فواصل منظم استفاده می‌شود. گره‌های مجاور اطلاعات سطح انرژی و موقعیت جغرافیایی خود را که از طریق جی‌پی‌اس به دست می‌آورند، با یکدیگر با استفاده از بستهٔ HELLO مبادله می‌کنند. بعد از رد و بدل کردن بستهٔ HELLO هر گره در جدول مسیریابی خود مقدار انرژی مصرفی گره همسایه‌اش و میزان فاصلهٔ گره تک‌گامی همسایه تا خودش را محاسبه کرده و در جدول می‌نویسد. شکل (۲) نشان‌دهندهٔ فرمت این نوع بسته است.

۸	۱۶	۳۲
استفاده نشده	رزرو شده	نوع بسته
شمارهٔ ترتیب مبدأ		آدرس IP مبدأ
انرژی گره		مهر زمانی (زمان مبدأ)
استفاده نشده		موقعیت جغرافیایی گره

شکل (۲): فرمت جدید بستهٔ HELLO

بستهٔ RREQ[2]: بستهٔ دوم بسته درخواست مسیر (RREQ) است. هر زمان که گره مبدأ بخواهد با دیگر گره‌های موجود در شبکه ارتباط برقرار کند، باید فرایند کشف مسیر را اجرا کند، بنابراین بستهٔ RREQ را به‌صورت همگانی پخش می‌کند تا یک مسیر مناسب را برای رسیدن به مقصد مورد نظرش کشف کند. بسته های RREQ همانند شکل (۳) دارای یک شناسه برای شناسایی بسته‌های منحصربه‌فرد، آدرس IP مقصد، شمارهٔ ترتیب و مهر زمانی در شبکه هستند. شمارهٔ ترتیب مقصد، نشان‌دهندهٔ تازه بودن یک مسیر است. فیلدهای جدید انرژی مصرفی گره، موقعیت جغرافیای گره و فاصله تا گام قبل، به بستهٔ RREQ اضافه می‌شود. هر گره میزان انرژی مصرفی خود و فاصلهٔ خود تا گام قبل را که با توجه به موقعیت گره گام قبلش قابل محاسبه است، به دست آورده و به بستهٔ RREQ اضافه می‌کند.

۸	۱۶	۳۲
تعداد گام	رزرو شده	نوع بسته
آدرس IP مقصد		ID پخش همگانی RREQ
آدرس IP مبدأ		شمارهٔ ترتیب مقصد
انرژی گره مصرفی		تعداد گام
مسیر تجمعی		مهر زمانی
فاصله تا گام قبل		موقعیت جغرافیایی گره

شکل (۳): فرمت جدید بستهٔ RREQ

1. Energy Efficient Algorithm-Internnet Of Things

2. Route Request

بستهٔ RREP[1]: سومین بسته، بستهٔ پاسخ مسیر است. پس از دریافت بسته‌های RREQ همه پخشی شده، چندین مسیر از مبدأ به مقصد کشف می‌شود. بستهٔ RREP در حالت عادی شامل شناسه‌ای برای شناسایی بسته‌های منحصربه‌فرد، آدرس IP مبدأ، شمارهٔ ترتیب، طول عمر در شبکه و مسیرهای تجمیع‌شده است. در روش پیشنهادی، مقصد، تمامی بسته‌های RREQ را از مسیرهای مختلف دریافت کرده و مجموع فاصله، تعداد گام و مجموع انرژی مصرفی هر مسیر را محاسبه کرده و در بستهٔ RREP قرار داده و به سمت مبدأ از همان مسیر ارسال می‌کند. بنابراین فیلدهای جدید، مجموع انرژی مصرفی گره‌های مسیر، تعداد گام و مجموع فاصله به‌صورت شکل (۴) به بستهٔ RREP اضافه می‌شود.

۸	۱۶	۳۲
تعداد گام	رزرو شده	نوع بسته
آدرس IP مقصد	RREP ID	
آدرس IP مبدأ	شمارهٔ ترتیب مقصد	
مهر زمانی	طول عمر	
تعداد گام مسیر	مسیر تجمیع شده	
فاصلهٔ مبدأ تا مقصد	مجموع انرژی مصرفی گره‌های مسیر	

شکل (۴): فرمت جدید بستهٔ RREP

بستهٔ RERR[2]: هرگاه گره بالادست به سمت منبع یک خرابی را کشف کند، بسته خطای مسیر RERR را با یک شماره ترتیب مقصد و تعداد گام بی‌نهایت منتشر می‌کند. گره مبدأ یا هر گره دیگر در مسیر می‌تواند مسیر را با ارسال بسته RREQ بازسازی کند. اگر گره مبدأ یا گره دیگری بسته RRER را دریافت کند، باید فرایند کشف مسیر را دوباره اجرا کند.

۲.۳. نحوهٔ عملکرد روش پیشنهادی

روش پیشنهادی از سه مرحله تشکیل شده است: مرحلهٔ کشف همسایه‌ها، مرحلهٔ کشف مسیرها و مرحلهٔ انتقال داده؛ در ادامه به توضیح هر مرحله پرداخته شده است.

۱.۲.۳. مرحلهٔ کشف گره‌های همسایه‌ها در روش پیشنهادی

در مرحلهٔ کشف همسایه‌ها، گره‌ها (اشیاء) بسته‌های HELLO را به‌صورت سیل‌آسا پخش می‌کنند تا همسایه‌های خود را پیدا کنند. بستهٔ HELLO حاوی آدرس IP مبدأ، انرژی مصرفی گره، موقعیت گره، شمارهٔ ترتیب و مهر زمانی است. بعد از مرحلهٔ پیدا کردن همسایه‌ها، هر گره، تمام همسایه‌هایش را در شبکه می‌شناسد و از موقعیت و میزان انرژی آن‌ها آگاه است.

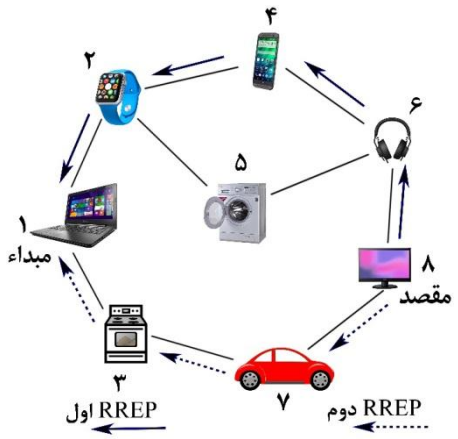
۲.۲.۳. مرحلهٔ کشف مسیر در روش پیشنهادی

زمانی که مبدأ تصمیم به ارسال بسته به مقصد نماید، ارسال بسته‌های RREQ را به‌صورت سیل‌آسا برای کشف مسیرهای مناسب شروع خواهد کرد. بستهٔ RREQ شامل آدرس IP گره مبدأ و مقصد، شمارهٔ ترتیب، تعداد گام، انرژی مصرفی گره، موقعیت جغرافیایی گره، فاصله تا گام قبلی، مسیر تجمیعی و مهر زمانی است. آدرس IP گره مبدأ و مقصد برای شناسایی گره‌های منحصربه‌فرد در شبکه استفاده می‌شود. شمارهٔ ترتیب مقصد برای نشان دادن مسیرهای مناسب به سمت مقصد مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر گره با دریافت بستهٔ RREQ اطلاعات گره همسایهٔ قبل خود را گرفته و فاصله و انرژی و تعداد گام برای گره‌های ماقبل را محاسبه کرده و در جدول مسیریابی خود وارد می‌کند، سپس اطلاعات جدید را به همراه موقعیت و انرژی مصرفی خود در بسته RREQ وارد کرده و به گره بعدی می‌فرستد.

شکل (۵) نشان‌دهندهٔ ارسال سیل‌آسای بسته‌های RREQ در شبکه برای پیدا کردن مسیرهایی برای رسیدن به مقصد است. شکل (۶) نیز ارسال بسته‌های RREP را از سمت گره مقصد به سمت گره مبدأ نشان می‌دهد.

شکل (۵): بستهٔ RREQ سیل‌آسا

1. Route Replay
2. Route Error



شکل (۶): ارسال بستهٔ RREP

گره مقصد چندین بستهٔ RREQ را از طریق مسیرهای گوناگون دریافت کرده است. بستهٔ RREP نیز حاوی شناسهٔ گره برای شناسایی بستهٔ منحصربه‌فرد، آدرس IP مقصد، شمارهٔ ترتیب، طول عمر در شبکه و مسیرهای تجمعی است که مسیرهای تجمیعی نشان‌دهندهٔ فهرستی از مسیرهای مجزا از گره مبدأ به مقصد هستند. همچنین سه فیلد جدید تعداد گام، مجموع فاصله و مجموع انرژی مصرفی هر مسیر که توسط مقصد و با استفاده از بسته‌های RREQ محاسبه شده، به بستهٔ RREP اضافه می‌شود.

گره مقصد بعد از اضافه کردن این فیلدها بستهٔ RREP را از هر مسیر به سمت مبدأ ارسال می‌کند و این اطلاعات را در جدول مسیریابی خودش یادداشت می‌کند. گره مبدأ بعد از دریافت بسته‌های RREP از گره مقصد، مسیرهای چندگانه را همراه با انرژی مسیر و تعداد گام‌هایش در جدول مسیریابی خود ذخیره می‌کند. پس از تعیین مسیرهای مختلف، گره مبدأ انتقال داده‌ها و توازن بار را در طول مسیرها بر اساس سطح انرژی مسیر، فاصله و تعداد گام تضمین می‌کند. فرایند انتقال داده و تعیین مسیر روش پیشنهادی در الگوریتم (۱) بیان شده است.

پس از اتمام فرایند کشف مسیرها، هر دو گره مبدأ و مقصد از مسیرهای بین خودشان برای ارسال بسته‌ها آگاه‌اند که در جدول مسیریابی‌شان ذخیره شده است و از میزان انرژی گره‌های مسیر، فاصله و تعداد گام مسیر باخبر هستند. در شکل (۷) فلوچارت مسیریابی، ایدهٔ پیشنهادی از مرحلهٔ شروع تا پایان مشاهده می‌شود که شامل ارسال بسته‌ها تا بازگشت آن‌ها و انتخاب مسیر مناسب و ارسال بسته‌ها و گرفتن تأییدیهٔ دریافت است.

۱. شروع مسیریابی توسط گره مبدأ
۲. گره مبدأ با بررسی جدول مسیریابی خود بررسی می‌کند که آیا مسیری به مقصد وجود دارد یا خیر؟
۱.۲. اگر مسیری به مقصد وجود نداشته باشد، ارسال RREQ و RREP کشف مسیرهای بین مبدأ و مقصد به همراه اطلاعات گره‌های مسیرها انجام می‌شود. سپس به مرحلهٔ ۳ برو.
۲.۲. در صورت موجود بودن مسیرهایی بین مبدأ و مقصد به مرحلهٔ ۳ برو.
۳. تخصیص وزن به مسیر بر اساس انرژی، تعداد گام و فاصلهٔ هر مسیر بین مبدأ تا مقصد بر اساس رابطهٔ (۱)
۴. انتخاب مسیرهایی با کمترین وزن برای ارسال همزمان بسته‌ها
۵. ارسال بسته‌ها از طریق مسیرهای انتخاب‌شده
۶. بررسی اینکه تصدیق برای دریافت بسته در مدت‌زمان مشخص رسیده است یا خیر؟
۱.۶. دریافت بستهٔ تصدیق به مرحلهٔ ۷ برو.
۲.۶. عدم دریافت بستهٔ تصدیق به مرحلهٔ ۱.۲ برو.

الگوریتم (۱): شبکهٔ کد روش پیشنهادی EEA-IOT

گره مبدأ برای ارسال بسته‌ها وزن مسیرها را طبق رابطهٔ (۱) تعیین و مسیرهایی با کمترین وزن را برای ارسال انتخاب می‌کند.

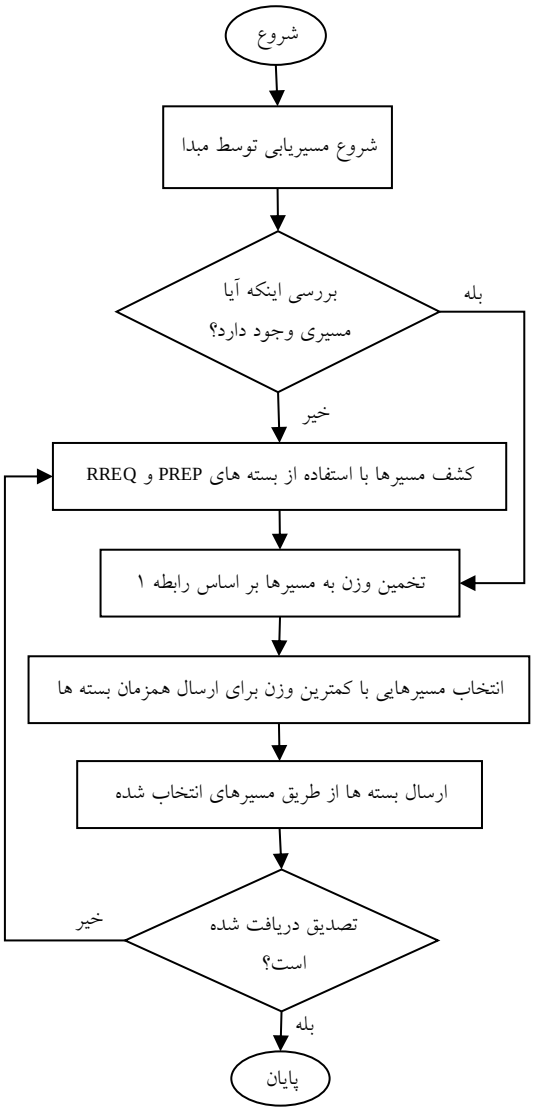
$$W_R = \frac{\sum_{R_x} Co_e}{\sum_{R=1}^{N} Co_e} + \frac{D_{Rx}}{\sum_{R=1}^{N} D_R} + \frac{\sum_{R_x} H}{\sum_{R=1}^{N} H_R} \qquad (۱)$$

که W_R[1] وزن یک مسیر است و Rx[2] مسیر انتخابی است و Co_e[3] انرژی مصرفی یک گره است و D_R[4] فاصلهٔ مبدأ تا مقصد یک مسیر و D_{Rx} فاصلهٔ مبدأ تا مقصد مسیر انتخابی است و H[5] یک گام از مسیر و H_R تعداد گام‌های یک مسیر است. از آنجایی که متغیرهای در نظر گرفته شده از یک جنس نیستند باید نرمال‌سازی انجام شود تا وزن به‌درستی انجام شود، بنابراین نسبت هر متغیر در هر مسیر به مجموع مسیرها محاسبه می‌شود.

انرژی مصرفی گره‌ها با انتخاب مسیر نسبت عکس دارد و هرچه انرژی مصرفی گره‌ها کمتر باشد، مسیر مناسب‌تر است زیرا انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌های آن مسیر بیشتر خواهد بود. تعداد

1. Weight Route
2. Route x(Selected route)
3. Consumed Energy
4. Distance Route
5. HOP COUNT

گام مسیر و فاصله نیز با انتخاب مسیر نسبت عکس دارند و مسیری با تعداد گام و فاصلهٔ کمتر مناسب‌تر است.



شکل (۷): فلوچارت روش پیشنهادی EEA-IOT

برای هر ارسال داده این رابطه برای تمامی مسیرها محاسبه می‌شود تا مسیرهایی که کمترین وزن را دارند انتخاب شوند؛ بدین ترتیب می‌توان از تمام مسیرهای مجزا استفاده کرد. اگر تصدیق دریافت بسته‌های ارسالی در بازهٔ زمانی مشخص دریافت شود، بستهٔ بعدی انتخاب و همین فرایند تکرار می‌شود تا بسته ارسال گردد. خرابی لینک معمولاً توسط دلایلی همچون آسیب‌های فیزیکی، حرکت گره‌های خاص و کاهش انرژی ایجاد می‌شود. با توجه به استراتژی مسیرهای تجمیعی در الگوریتم EEA-IOT، گره مبدأ همیشه مسیری با انرژی باقی‌ماندهٔ بیشتر و فاصلهٔ کمتر را انتخاب خواهد کرد تا قابلیت اطمینان مسیر تضمین شود. به عبارت دیگر، احتمال خرابی لینک کاهش پیدا می‌کند تا نسبت به بقیهٔ مسیرها مدت‌زمان بیشتری استفاده شود.

۴. شبیه‌سازی و ارزیابی نتایج

در این فصل، روش پیشنهادی را با استفاده از شبیه‌ساز NS-2 ارزیابی کرده و برای اندازه‌گیری کارایی روش پیشنهادی از مهم‌ترین پارامترهای مسیریابی مانند نرخ گم‌شدن بسته و میزان انرژی باقی‌مانده برای اشیاء یا گره‌های موجود در شبکهٔ اینترنت اشیاء استفاده می‌شود. برای نشان دادن قابلیت روش پیشنهادی، این روش با روش SMG[1] و AOMDV مقایسه می‌شود [۱۸].

۱.۴. معیارهای ارزیابی

ـ نرخ بسته‌های گم‌شده (R_{PL})[2]

گم شدن بسته‌ها در اینترنت اشیاء می‌تواند به دلایل مختلفی صورت پذیرد که عمده‌ترین دلیل آن، این است که بسته‌های ارسالی در شبکه، موفق به رسیدن به گره مقصد نشوند، یا بر اساس خطای بیتی یا سخت‌افزار معیوب، بسته‌ها از دست بروند. از بین رفتن انرژی گره‌ها در حین ارسال بسته در شبکه نیز می‌تواند سبب از دست رفتن بسته‌ها شود. این پارامتر با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود:

$$R_{(PL)} = \left(R_{(REQ)} - R_{(RREP)}\right) \div R_{(RREQ)} \qquad (۲)$$

که $R_{(PL)}$ نرخ بسته‌های گم‌شده، $R_{(RREQ)}$ نرخ بسته‌های ارسال‌شده و $R_{(RREP)}$ نرخ بسته‌های دریافت‌شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، نرخ گم شدن بسته‌ها برابر است با حاصل تفریق نرخ بسته‌های ارسال‌شده و نرخ بسته‌های دریافت‌شده تقسیم بر نرخ بسته‌های ارسال‌شده که بین صفر و یک است و هرچه به صفر نزدیک باشد، نشانگر میزان پایین بسته‌های گم‌شده در شبکه و کارایی خوب الگوریتم است.

ـ میزان انرژی باقی‌مانده برای اشیاء

میزان انرژی در شبکه به‌دلیل محدودیت منابعی مانند توان، انرژی، پهنای باند، قابلیت پردازش و فضای ذخیر سازی در

1. Self-organized Multipath GEAR
2. Packet Loss Rate

گره‌ها، کاهش سربار مسیریابی و تضمین نرخ بالای تحویل بسته، یک موضوع مهم در شبکهٔ اینترنت اشیاء است. معیار میزان انرژی باقی‌مانده برای گره‌ها مقدار انرژی است که پس از مسیریابی برای گره باقی مانده است.

اگر فاصلهٔ گره مبدأ تا مقصد طولانی باشد، انرژی و قدرت بیشتری برای انتقال داده‌ها نیاز است، بنابراین مصرف انرژی بیشتر می‌شود و انرژی باقی‌ماندهٔ کمتری برای گره می‌ماند. معیار D (مجموع فواصل) با استفاده از رابطهٔ (۳) به دست می‌آید.

$$D_R = \sum_{v \in V; v\prime \neq V} Dist(v.v') \qquad (۳)$$

که D_R مجموع فاصله‌های یک مسیر است و V گره انتخابی و V´ گره همسایه است. در این رابطه، مقدار Dist از رابطهٔ (۴) به دست می‌آید:

$$Dist = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \qquad (۴)$$

(x_1,y_1) موقعیت جغرافیای گره (V) و (x_2,y_2) موقعیت جغرافیایی گره همسایه (V´) است.

یکی از عامل‌های مهم در انتخاب یک مسیر، میزان اندازهٔ انرژی مصرفی گره‌های آن مسیر است. هرچه گره‌های یک مسیر انرژی کمتری را مصرف کرده باشند، انتخاب آن مسیر به این دلیل که انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌های آن بیشتر است، مناسب‌تر است. انرژی مصرفی گره‌ها با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود:

$$Co_e(v) = P_e(v) - R_e(v) \qquad (۵)$$

که $Co_e(v)$[1] انرژی مصرفی گره برای ارسال بسته، $P_e(v)$[2] انرژی اولیهٔ گره و $R_e(v)$[3] انرژی باقی‌ماندهٔ گره است که مقدار آن از رابطهٔ (۶) به دست می‌آید:

$$R_e(v) = P_e(v) - Cu_e(v) \qquad (۶)$$

که $Cu_e(v)$[4] انرژی فعلی گره بعد از عملیات محاسبه و مسیریابی است.

همچنین انرژی مصرف‌شده (برحسب ژول)برای ارسال بسته از گره ارسال‌کننده $E_{tx}(v)$ و دریافت آن توسط گره همسایه $E_{rx}(v')$ از رابطهٔ (۷) به دست می‌آید:

$$Energy = Power \times Time \qquad (۷)$$

که Energy مقدار انرژی مصرف‌شدهٔ گره و Power برابر با توان مصرف‌شده در زمان ارسال یا دریافت بسته و Time مدت‌زمان ارسال یا دریافت بسته توسط گره است که زمان را از رابطهٔ (۸) به دست می‌آوریم.

$$Time = Paketsize \div Bandwidth \qquad (۸)$$

که Packetsize اندازهٔ بسته و Bandwidth پهنای باند در اختیار است.

انرژی مصرفی در انتقال l بیت داده در امتداد فاصلهٔ d را می‌توان با رابطهٔ (۹) محاسبه کرد:

$$E_{tx}(v) = lE_{elec} + l\varepsilon_{2r}d^4 \qquad (۹)$$

که l اندازهٔ بسته برحسب بیت، E_{elec} انرژی الکتریکی رادیویی و ε_{2r} انرژی آمپلی فایر است.

همچنین محاسبهٔ انرژی مصرف‌شده برای دریافت بستهٔ داده l بیتی از رابطهٔ (۱۰) به دست می‌آید:

$$E_{rx}(v') = lE_{elec} \qquad (۱۰)$$

۲.۴. محیط شبیه‌سازی و طراحی سناریو

در این مقاله، برای شبیه‌سازی ایدهٔ پیشنهادی با توجه به تحقیقات لازم و بررسی مقالات متعدد دربارهٔ نرم‌افزارهای شبیه‌سازی برای شبکهٔ اینترنت اشیاء از جهت انعطاف‌پذیری و کارایی نرم‌افزار، شبیه‌ساز NS-2 انتخاب شده است که یک شبیه‌ساز بسیار قوی برای این شبکه‌ها به شمار می‌رود. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی از کدهای C++ استفاده می‌کند. با استفاده از این شبیه‌ساز می‌توان انواع روش‌ها را پیاده‌سازی و شبیه‌سازی کرد و عملکرد شبکه را مشاهد نمود. مقادیر پارامترهایی که در شبیه‌سازی استفاده‌شده در جدول (۱) آمده است.

تعداد ۴۰۰ عدد گره متحرک در محیطی به ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ مترمربع با انرژی اولی ۱۰۰ ژول برای هر گره و برای تضمین تولید تعداد کافی از بسته‌های داده، انرژی اولیهٔ گره ارسال‌کنندهٔ بسته‌ها ۲۰۰ ژول است. زمان شبیه‌سازی ۴۰۰ ثانیه و

1. Consumed Energy
2. Primary energy
3. Remaining energy
4. Current energy

فاصلهٔ ارسال بسته‌ها یک ثانیه است. همچنین انرژی مصرفی ارسال بسته‌ها برای هر گره ۰/۶۶ ژول و انرژی مصرفی دریافت بسته برای هر گره ۰/۳۹۵ ژول محاسبه می‌شود.

۳.۴. نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی روی روش‌های SMG و AOMDV و همچنین روی روش پیشنهادی پیاده‌سازی شده و نرخ گم‌شدن بسته‌ها یک بار در سناریو تعداد نودهای مختلف و یک بار در سناریو زمان‌های مختلف بررسی شده است. همچنین میزان انرژی باقی‌مانده در سناریوی زمان‌های مختلف با تعداد گره مختلف نیز در هر سه روش مورد بررسی قرار گرفته که در شکل (۱۰) تا (۱۲) نمایش داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش پیشنهادی عملکرد بهتری در معیارهای تأخیر انتها به انتها، میزان انرژی باقی‌مانده برای گره‌های حسگر، و طول عمر شبکه دارد.

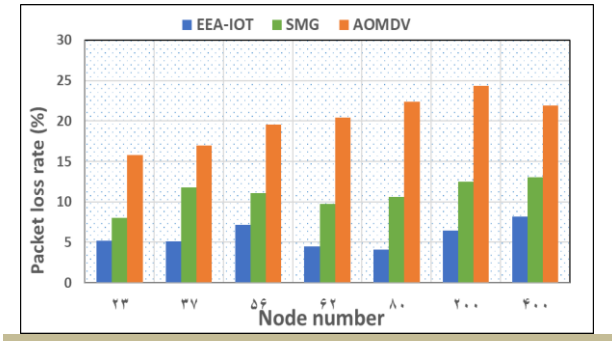
جدول (۱): پارامترهای شبیه‌سازی

محیط شبیه‌سازی	NS-2
محیط	۱۰۰۰*۱۰۰۰ مترمربع
تعداد گره‌ها	۴۰۰
محدودهٔ انتقال	۲۵۰ متر
نوع آنتن	Omenia Antenna
زمان‌های شبیه‌سازی	۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰، ۲۸۰، ۳۲۰، ۳۶۰، ۴۰۰
لایهٔ MAC	۸۰۲_۱۱
نوع ترافیک	CBR (UDP)[1]
اندازهٔ بافر	۱۵۰ بسته
موقعیت قرارگیری گره‌ها	تصادفی
پروتکل‌ها	EEA-IOT و SMG و AOMDV
سرعت ارسال	۲۰ کیلوبیت بر ثانیه
انرژی اولیهٔ ارسال بسته‌ها	۲۰۰ ژول
انرژی اولیهٔ سایر گره‌ها	۱۰۰ ژول
انرژی مصرفی ارسال بسته	۰/۶۶ ژول
انرژی مصرفی دریافت بسته	۰/۳۹۵ ژول

۴.۴. نرخ گم شدن بسته

شکل (۸) و (۹) نشان‌دهندهٔ نمودار مقایسهٔ سه روش EEA-IOT و SMG و AOMDV در پارامتر نرخ گم شدن بسته‌ها نسبت به تعداد نودهای مختلف و همچنین زمان‌های مختلف شبیه‌سازی است. همان طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، نرخ گم شدن بسته در سناریو تعداد مختلف گره بررسی و نتایج آن روی نمودار نشان داده شده است. وقتی که تعداد ۲۳ نود انتخاب می‌شود، میزان بسته‌های گم‌شده در پروتکل SMG حدود ۸٪ است در صورتی که این میزان برای پرتکل AOMDV به‌اندازهٔ ۱۶٪ است ولی با اعمال تغییراتی که روی این روش انجام شده و به نام EEA-IOT مشاهده می‌شود میزان بسته‌های گم‌شده از ۱۶٪ به ۵٪ کاهش پیدا کرده است.

همچنین شبیه‌سازی با تعداد نودهای ۳۷، ۵۶، ۶۲، ۸۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ نیز انجام شده است که نتایج نشان می‌دهد بسته‌های گم‌شده در روش SMG میانگین حدود ۱۰٪ است که در روش AOMDV این عدد بین ۱۵٪ تا ۲۴٪ افزایش پیدا کرده است ولی در روش پیشنهادی، بسته‌های گم‌شده کاهش پیدا کرده و بین ۴٪ تا ۸٪ است که این نشان‌دهندهٔ کارایی خوب روش پیشنهادی نسبت به دو روش دیگر است.



شکل (۸): نرخ گم شدن بسته در سناریو تعداد مختلف گره

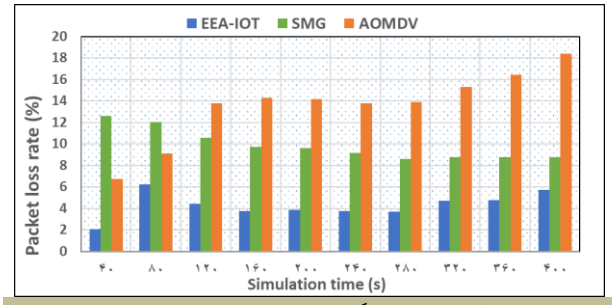
در شکل (۹) نرخ گم شدن بسته در سناریو زمان در سه روش مذکور بررسی شده و نتایج آن به نمایش گذاشته شده است. همین طور که مشاهده می‌شود، در این سناریو تعداد نودها در روش‌های مختلف ثابت است و فقط زمان شبیه‌سازی تغییر کرده و میزان بسته‌های گم‌شده نسبت به زمان‌های مختلف شبیه‌سازی محاسبه شده است.

در روش SMG در زمان ۴۰ ثانیه بسته‌های گم‌شده حدود ۱۲٪ است که این عدد در روش AOMDV به ۶٪ رسیده و در روش پیشنهادی EEA-IOT به ۲٪ رسیده است. در زمان ۸۰

1. constant bit rate (user datagram protocol)

ثانیه نیز میزان بسته‌های گم‌شده در SMG حدود ۱۲٪ و در AOMDV در حدود ۹٪ است که این عدد در روش پیشنهادی به ۶٪ رسیده، ولی در زمان ۱۲۰ ثانیه مشاهده شده است که روش AOMDV از روش SMG بدتر عمل کرده است و میزان بسته های گم‌شده در آن بیشتر از روش SMG شده ولی روش پیشنهادی از هر دو روش بهتر عمل کرده است و میزان بسته‌های گم‌شده در آن باز همان ۵٪ است. همین روال تا زمان ۴۰۰ ثانیه ادامه داشته و در تمام زمان‌ها نسبت به دو روش SMG و AOMDV بهتر عمل کرده است.

در روش پیشنهادی ارائه‌شده، نرخ گم شدن بسته در سناریوهای مختلف بسیار کمتر نسبت به روش SMG و AOMDV است که علت این امر انتخاب مسیرهای بهتر و بهینه است که این مسیرها بر اساس معیارهای مهم انرژی و تعداد گام انتخاب می‌شوند و در حین انتخاب مسیر، مسیرهایی که از نظر این معیارها کارآمد نباشند کنار گذاشته می‌شوند. بنابراین قطعی مسیرها در حین ارسال بسته‌ها کمتر است و بسته‌ها سالم به مقصد می‌رسند و نرخ از دست رفتن بسته در سناریو روش پیشنهادی نسبت به روش SMG کاهش یافته است.

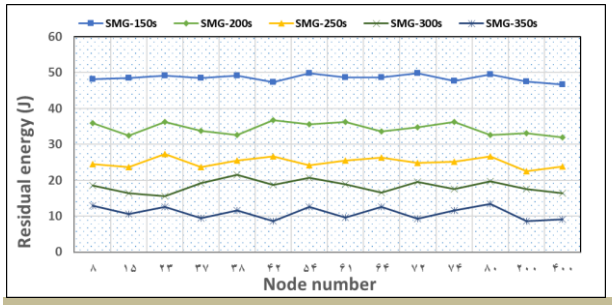


شکل (۹): نرخ گم شدن بسته در سناریو زمان

۱.۴.۴. میزان انرژی باقی‌مانده برای گره‌ها

یکی از اصلی‌ترین مسئله‌هایی که در شبکهٔ اینترنت اشیاء مطرح می‌شود و در روش پیشنهادی نیز به آن توجه شده است، میزان انرژی باقی‌ماندهٔ گره است که طول عمر شبکه را به‌صورت مستقیم تحت‌تأثیر خود قرار خواهد داد. همان گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، میزان توزیع انرژی در زمان‌های مختلف با تعداد نودهای مختلف در روش SMG نمایش داده شده است که در زمان ۱۵۰ ثانیه مقدار انرژی باقی‌مانده برای تعداد نودهای ۸، ۱۵، ۲۳، ۳۷ تا ۸۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ تقریباً به یک اندازه و در حدود ۵۰ ژول است و این عدد در سناریو ۲۰۰ ثانیه با همین تعداد نود مختلف میانگین ۳۵ ژول است که با ادامهٔ روند شبیه‌سازی در زمان ۲۵۰ ثانیه به حدود ۲۵ ژول کاهش پیدا می‌کند و در زمان ۳۰۰ ثانیه با کمی کاهش به حدود ۱۸ ژول می‌رسد و در پایان زمان شبیه‌سازی، یعنی پس از گذشت ۳۵۰ ثانیه، انرژی باقی‌مانده به حدود ۱۰ ژول کاهش پیدا می‌کند.

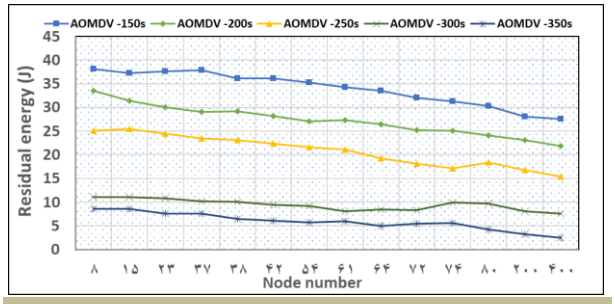
توزیع انرژی نشان‌دهندهٔ کاهش یافتن میزان انرژی باقی‌مانده طبق سناریوی مقاله SMG با افزایش زمان شبیه‌سازی است.



شکل (۱۰): میزان انرژی باقی‌مانده در سناریوی زمان‌های مختلف با تعداد گره مختلف در SMG

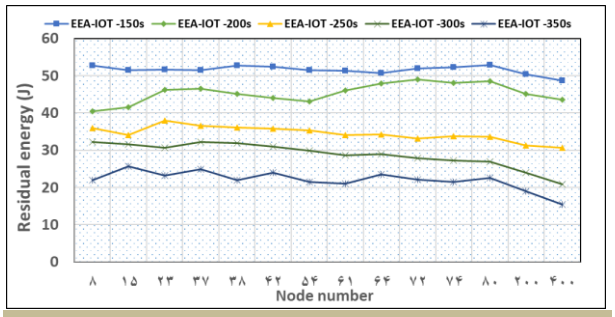
همین سناریو در روش AOMDV در زمان‌های مختلف با تعداد گره مختلف شبیه‌سازی شده و در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.

در این روش نیز کاملاً مشخص است که با افزایش زمان شبیه‌سازی، میزان انرژی باقی‌مانده کاهش پیدا کرده ولی انرژی مصرف‌شده در این روش بیشتر از روش SMG است و نشانگر این است که روش AOMDV به‌خوبی روش SMG توزیع انرژی صورت نگرفته است؛ اما همان گونه که مشخص است و انتظار می‌رفت با افزایش زمان شبیه‌سازی، میزان انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها کاهش می‌یابد.



شکل (۱۱): میزان انرژی باقی‌مانده در سناریوی زمان‌های مختلف با تعداد گره مختلف در AOMDV

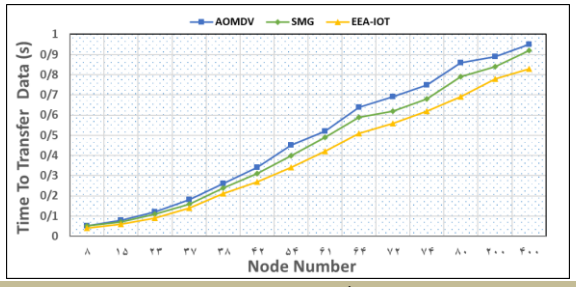
در شکل (۱۲) نیز مانند دو شکل قبل سناریو تکرار شده، ولی در این شکل روش پیشنهادی به کار برده شده است؛ در این روش با افزایش زمان شبیه‌سازی از میزان انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها کاسته شده است ولی با مقایسهٔ این نمودار با دو نمودار قبل می‌توان نتیجه گرفت که این روش کارایی بیشتری در صرفه‌جویی انرژی داشته است و با افزایش زمان شبیه‌سازی، میزان انرژی باقی‌ماندهٔ گره‌ها کاهش می‌یابد.



شکل (۱۲): میزان انرژی باقی‌مانده در سناریوی زمان‌های مختلف با تعداد گره مختلف در EEA-IOT

۵.۴. تأخیر انتها به انتها

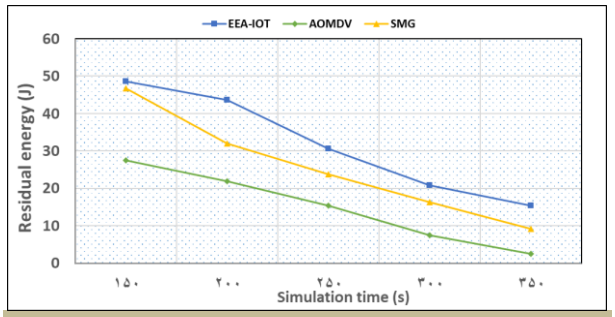
یکی از معیارهای مقایسهٔ روش‌های مسیریابی، تأخیر انتها به انتهای انتقال بسته از فرستنده به گیرنده است که هرچه کوتاه‌تر باشد نشانگر عملکرد بهتر روش در مدت‌زمان ارسال بسته است. همان گونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، این معیار در سه روش مقایسه شده و مشاهده می‌شود در این زمینه روش پیشنهادی در زمانی که تعداد گره پایین است مانند دو روش دیگر عمل کرده است، ولی با اضافه شدن تعداد گره‌ها، بهتر عمل کرده و تأخیر انتها به انتهای کمتری دارد که این به‌دلیل انتخاب مسیرهای با انرژی بیشتر و تعداد گام کمتر نسبت به روش‌های دیگر است که باعث می‌شود بسته به هنگام ارسال از بین نرفته و سریع‌تر به مقصد برسد.



شکل (۱۳): مقایسهٔ تأخیر انتها به انتهای ارسال بستهٔ داده

۶.۴. پایداری لینک

طول عمر شبکه یا همان پایداری لینک، مدت‌زمانی است که شبکه پایدار است و می‌تواند بسته‌های داده را ارسال کند. میزان انرژی باقی‌مانده در گره‌های سیار، طول عمر شبکه را به‌صورت مستقیم تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهند. همان گونه که در شکل (۱۴) مشخص است EEA-IOT با انتخاب مسیر پرانرژی که دارای تعداد گام کم نیز هست، موجب جلوگیری از مرگ سریع گره‌های موجود در شبکه می‌شود. از آنجایی که مسیرها بر اساس انرژی باقی‌مانده و میانگین مصرف انرژی انتخاب می‌شوند، طول عمر شبکه افزایش می‌یابد و پایداری لینک بهتری نسبت به دو روش دیگر دارد.



شکل (۱۴): مقایسهٔ میزان انرژی باقی‌مانده در سناریوی زمان‌های مختلف با تعداد ۴۰۰ گره در سه روش

۵. نتیجه‌گیری

اینترنت اشیاء، شبکهٔ ناهمگونی است که حاوی اینترنت سنتی و شبکهٔ دستگاه‌های محدود متصل‌شده به یکدیگر با استفاده از پروتکل IP است. اشیاء IOT اشیای قابل شناسایی منحصربه‌فردی هستند که محیط فیزیکی و یا دستگاه‌های میزبان و ارتباط این اطلاعات با اینترنت را سنجش و حس می‌کنند.

واقعیت این است که دستگاه‌ها در اینترنت اشیاء بسیار ناهمگن هستند و تعداد زیادی از آن‌ها منابع محدودی داشته و اتصالات همگانی آن‌ها یک چالش مهم را در اینترنت اشیاء ایجاد می‌کند. بنابراین این شبکه با مشکلات متعددی در زمینهٔ مصرف انرژی و ارتباط مطمئن مواجه‌اند و ویژگی‌های این شبکه‌ها مانند پویا بودن توپولوژی و وجود محدودیت انرژی، مسئلهٔ مسیریابی در این شبکه‌ها را به چالش کشیده است، بنابراین محققان در جست‌وجوی روش‌های جدید و کارا برای حل مشکلات این

شبکه‌ها هستند.

پروتکل مسیریابی AOMDV نسخهٔ چندمسیری از پروتکل AODV است. این پروتکل سعی می‌کند مسیرهای لینک مجزا و گره مجزایی را شناسایی کند. از آنجایی که در این پروتکل، همزمان از چند مسیر به مقصد استفاده می‌شود، در این رساله این پروتکل برای مسیریابی در اینترنت اشیاء انتخاب شده است؛ به این صورت که AOMDV با استفاده از معیار مهم انرژی، تعداد گام و فاصله بهبود داده شده تا با استفاده از آن بهترین و بهینه‌ترین مسیر انتخاب شود. روش پیشنهادی با نام EEA-IOT معرفی شده است و به این صورت عمل می‌کند که پارامترهای تعداد گام، فاصله و انرژی گره‌های میانی برای انتخاب مسیر به کار گرفته شده است.

برای استفاده از معیار انرژی، ساختار بسته‌های استاندارد AOMDV را تغییر داده و فیلدهایی به آن‌ها اضافه شده است. سپس بر اساس رابطهٔ وزن‌دهی، وزن هر مسیر را محاسبه کرده و بهترین مسیرها با کمترین وزن برای ارسال بین اشیاء انتخاب می‌شوند. روش پیشنهادی با شبیه‌ساز NS-2 پیاده‌سازی شده است.

روش پیشنهادی از نظر پارامترهای نرخ گم شدن بسته و انرژی باقی‌مانده ارزیابی شده است. برای نشان دادن کارایی این روش با روش SMG و AOMDV مقایسه و ارزیابی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش پیشنهادی کارایی بالاتری دارد و می‌تواند مسیریابی را از لحاظ کاهش تعداد بسته‌های گم‌شده و انرژی باقی‌مانده بهبود بخشد.

مراجع

[1] Noura M., Atiquzzaman M., and Gaedke M., "*Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges*", MONET, Vol. 24, no. 3, pp. 796–809, 2019.

[2] Bayoumi M., Griffith D., Richter W., and Krishnamurthy R., "*Industry forum: Iot for real life part i*", in 2016 29th IEEE International Systemon-Chip Conference (SOCC), Sep. 2016, pp. 1–2.

[3] Ghayvat H., Mukhopadhyay S., Gui X., and Suryadevara N. K., "*WSNand iot-based smart homes and their extension to smart buildings*", Sensors, Vol. 15, no. 5, pp. 10 350–10 379, 2015.

[4] Cui X., The Internet of Things. London: Palgrave Macmillan UK, 2016, pp. 61–68.

[5] Roy S. S., Puthal D., Sharma S., Mohanty S. P., and Zomaya A. Y., "*Building a sustainable internet of things: Energy-efficient routing using low-power sensors will meet the need*", IEEE Consumer Electronics Magazine, Vol. 7, No. 2, pp. 42–49, March 2018.

[6] Vermesan O. and Friess P., Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, ser. The River Publishers Series in Communications. River Publishers, 2013.

[7] Dhumane A., "*Routing issues in internet of things: A survey*", in International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016, Vol. 1, March 2016, pp. 404–412.

[8] Kharkongor C., Chithralekha T., and Varghese R., "*A sdn controller with energy efficient routing in the internet of things (iot)*", Procedia Computer Science, Vol. 89, pp. 218 – 227, 2016.

[9] Tseng C. H., "*Multipath load balancing routing for internet of things*", J. Sensors, Vol. 2016, pp. 4 250 746:1–4 250 746:8, 2016.

[10] Juan Zhang X., yi Qu Z., and lei Zhang M., "*A high efficient selforganizing network protocol for large scale aware nodes in internet of things*", in Computer Science, 2017.

[11] Mahmud M. A., Abdelgawad A., and Yelamarthi K., "*Energy efficient routing for internet of things (iot) applications*", in IEEE International Conference on Electro Information Technology, EIT 2017, Lincoln, NE, USA, May 14-17, 2017, 2017, pp. 442–446.

[12] Shen J., Wang A., Wang C., Hung P. C. K., and Lai C., "*An efficient centroid-based routing protocol for energy management in wsn-assisted iot*", IEEE Access, Vol. 5, pp. 18 469–18 479, 2017.

[13] Hatzivasilis G., Papaefstathiou I., and Manifavas C., "*SCOTRES: secure routing for iot and CPS*", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 4, No. 6, pp. 2129–2141, 2017.

[14] Wen S., Huang C., Chen X., Ma J., Xiong N., and Li Z., "*Energyefficient and delay-aware distributed routing with cooperative transmission for internet of things*", J. Parallel Distributed Comput., Vol. 118, pp. 46–56, 2018.

[15] Debroy S., Samanta P., Bashir A., and Chatterjee M., "*Speed-iot: Spectrum aware energy efficient routing for device-to-device iot communication*", Future Gener. Comput. Syst., Vol. 93, pp. 833–848, 2019.

[16] Qiu T., Chen N., Li K., Atiquzzaman M., and Zhao W., "*How can heterogeneous internet of things build our future: A survey*", IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 20, No. 3, pp. 2011–2027, 2018.

[17] Mayuri A. and Sudhir T., "*Internet of things: Architecture, security issues and countermeasures*", International Journal of Computer Applications, Vol. 125, pp. 1–4, 09 2015.

[18] Qiu T., Sun W., Bai Y., and Zhou Y., "*An efficient multi-path selforganizing strategy in internet of things*", Wireless Personal Communications, Vol. 73, No. 4, pp. 1613–1629, 2013.