الگوریتم جدید مسیریابی آگاه از انرژی برای افزایش طول عمر در شبکه‌های بی‌سیم مبتنی بر نرم‌افزار

الهام حاجیان[1] محمدرضا خیام باشی[2] ناصر موحدی نیا [3]

۱- دانشجوی دکتری- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه اصفهان- اصفهان- ایران
elhamhajian@eng.ui.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه اصفهان- اصفهان- ایران
M.r.khayyambashi@comp.ui.ac.ir

۳- استاد- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه اصفهان- اصفهان- ایران
Naserm@eng.ui.ac.ir

چکیده: امروزه، عصر اینترنت اشیا[1] است. پیشرفت‌های اخیر در سخت‌افزار و تکنولوژی اطلاعات، توسعه میلیون‌ها وسیله هوشمند قابل اتصال و منطبق با زیرساخت‌های حساس مانند سلامت، حمل‌ونقل، کنترل و خودکار کردن منزل را افزایش داده‌اند. پیشرفت روزافزون وسایل الکترونیکی و اتصال آنها به شبکه، مدیریت و ساختار شبکه و نگهداری آن را با چالش روبرو کرده است. تعادل بار[2] یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم در اینترنت اشیا می‌باشد که با توزیع بار سعی به بهبود مصرف انرژی دارد. اینترنت اشیا بدلیل استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم[3] به عنوان یکی از مشارکت کننده‌های اتصال مهم با محدودیت انرژی، نیاز به توزیع بار دارد. یکی از روش‌های توزیع بار و تعادل مصرف انرژی، مسیریابی بهبودیافته در شبکه می‌باشد. شبکه‌های نرم افزار محور[4]، معماری جدید شبکه‌ای است که با بهره‌گیری از کنترلر متمرکز، می‌تواند به این مهم دست پیدا کند. در این مقاله با استفاده از اپن فلو و با نظارت مستقیم اطلاعات بار لینک و وضعیت در حال اجرای شبکه، مسیریابی متعادل بار بر پایه Leach که یکی از مسیریابی‌های مهم در شبکه بی‌سیم می‌باشد ارائه می‌گردد. این مسیریابی SDN-Improved LEACH نام دارد که می‌تواند جریان‌های مختلف را با بهترین مسیر به ایستگاه پایه ارسال نماید. در نهایت مسیریابی پیشنهادی با الگوریتم‌های Leach و Improved Leach که جز مسیریابی‌های مهم با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف می‌باشد، مقایسه می‌گردد. این مقایسه در پارامترهای تعداد گره‌های زنده، میانگین انرژی مصرفی، داده دریافت شده و تعداد بسته‌های گم‌شده می‌باشد که نمودارهای آن در انتهای مقاله ترسیم شده است و نشان از برتری الگوریتم پیشنهادی نسبت به دو الگوریتم دیگر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیا، شبکه‌های نرم افزار محور، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی، Leach

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.20.3.117

تاریخ ارسال مقاله:۱۴۰۰/۰۱/۲۴
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴
نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمدرضا خیام باشی
نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – اصفهان – دانشگاه اصفهان – دانشکده مهندسی کامپیوتر- گروه معماری کامپیوتر

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، اینترنت اشیا [۱و ۲] توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران را به خود جلب کرده است. اینترنت اشیا، میلیون‌ها وسیله را از طریق شبکه به اینترنت متصل می‌کند. اتصال وسایل ناهمگن در اینترنت اشیا، سیستم ناهمگن را تشکیل می‌دهد. وسایل اینترنت اشیا، معمولا گره‌های حسگر، عامل‌ها، برچسب‌هاو ... می‌باشند که در محیط قرار گرفته‌اند [۳و۴و۵]. آنها قابلیت مشاهده، آنالیز و گرفتن تصمیم روی اطلاعات جمع شده از شبکه را دارا هستند. با پراکندگی و توسعه شبکه اینترنت اشیا، مقدار داده تولید شده توسط شبکه افزایش و در نتیجه مدیریت، کنترل و امنیت وسایل در شبکه ناهمگن سخت‌تر می‌شود[۶]. مدیریت ساختار شبکه ناهمگن و توزیع شده جغرافیایی، مخصوصا در محیط‌های پویا یک نوع چالش تکنیکی است[۷]. با توجه به ذات وسایل، تغییرات زیادی برای حمایت این نوع شبکه‌ها نمی‌توان انجام داد. اینترنت اشیا نیاز به معماری با قابلیت انعطاف لایه‌ها دارد که توانایی ارتباط وسایل ناهمگن بی‌شمار را در شبکه برقرار می‌کند. هیچکدام از معماری‌های پذیرفته‌شده برای اینترنت اشیا، بصورت عمومی و مرجع، کاربرد ندارند. حتی معماری موجود اینترنت برمبنای TCP/IP قادر به اداره کردن شبکه بزرگ اینترنت اشیا نیست. معماری‌های جدید، ملزم به پوشش شبکه‌های بزرگ و حل چالش‌هایی مانند گسترش پذیری[۵]، کیفیت سرویس[۶]، حریم خصوصی[۷] و امنیت[۸] کاربران و داده می‌باشند. شبکه‌های نرم‌افزارمحور [۸] یکی از تکنولوژی‌های جدید برای برطرف کردن احتیاجات اینترنت اشیا در زمینه انعطاف پذیری و مدیریت وسایل ناهمگن می‌باشد[۹و۱۰]. این شبکه، یک معماری نوظهوری است که امکان کنترل و مدیریت تعداد بسیار زیادی از تجهیزات شبکه، سرویس‌ها، توپولوژی و زیرساخت شبکه را به‌صورت پویا، ساده و سریع برای کاربران و مدیران شبکه فراهم می‌آورد .بنابراین این نوع شبکه‌ها، ایده آل برای کاربردهای امروزی است که ذاتاً پویا بوده و نیازمند پهنای باند بالایی می‌باشند. هدف این نوع شبکه‌ها غلبه بر مدیریت دشوار و پیچیده شبکه‌های سنتی می‌باشد که این کار با استفاده از جداسازی سطوح داده و کنترل و ارتباط این دو سطح توسط واسط جنوبی اپن فلو [۱۱] و انجام کنترل متمرکز و دید عمومی شبکه، انجام می‌شود. ارتباط این وسایل با استفاده از شبکه حسگر، یکی از مشهورترین مشارکت کننده اتصال در اینترنت اشیا، انجام می‌شود[۱۲و۶]. با توجه به تولید زیاد داده و محدودیت انرژی در شبکه های حسگر بی‌سیم، باید راه حلی ارائه گردد تا انرژی بصورت متعادل در شبکه مصرف شود و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش یابد. یکی از گزینه‌های کاهش مصرف انرژی، مسیریابی می‌باشد[۱۳]. با مسیریابی درست می‌توان انرژی مصرفی در شبکه را متعادل کرد. پروتکل‌های مسیریابی زیادی وجود دارد که با ارسال داده، طول عمر شبکه را افزایش می‌دهند که معمولا از الگوریتم های سلسله مراتبی استفاده می‌کنند. ساختار کنترل- توپولوژی می‌تواند در متعادل کردن مصرف انرژی محدود، مناسب باشد [۱۴].

یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی موثر، Leach [۱۵] می‌باشد. این پروتکل با انتخاب سرخوشه بصورت تصادفی در دوره‌های مختلف، مصرف انرژی را در شبکه توزیع می‌کند ولی این پروتکل دارای ۳ عیب اساسی می‌باشد. ۱. فاکتور انرژی گره‌ها در نظر گرفته نمی‌شود ۲. سرخوشه بصورت مستقیم با ایستگاه پایه بوسیله ارتباطات تک گامی در ارتباط است ولی فاصله ایستگاه پایه و سرخوشه در نظر گرفته نشده است. ۳. سرخوشه در هر دور تغییر می‌کند و شبکه خوشه‌ها بروز می‌شود و بنابراین مصرف انرژی زیادی دارد.

الگوریتم دیگری برپایه Leach، ارائه شده است که Improved Leach [۱۴] نام دارد که مسیری با حداقل هزینه انرژی از مبدا به ایستگاه پایه انتخاب می‌کند. این پروتکل برای انتخاب سرخوشه[۹]، موقعیت و انرژی گره را در نظر می‌گیرد و با توجه به فاصله بین گره‌ها و انرژی مصرفی انتقال داده، هر گره به یک سرخوشه متصل می‌شود و خوشه بندی[۱۰] انجام می‌گیرد. در این پروتکل سرخوشه‌ها با توجه به انرژی و فاصله تا ایستگاه پایه، ممکن است بصورت مستقیم با ایستگاه پایه در ارتباط نباشند و از سرخوشه‌های خوشه کناری به عنوان گره‌های رله به ایستگاه پایه استفاده کنند. مسیریابی‌های بالا ، نگاه محلی برای ارسال داده را دارا هستند. برای انجام مسیریابی مناسب، نیاز به دید عمومی شبکه می‌باشد که اینکار با استفاده از شبکه نرم‌افزار محور محقق می‌شود.

در این مقاله، با استفاده از مزیت‌های شبکه‌نرم‌افزارمحور ، پروتکل مسیریابی جدید برمبنای تعادل بار و کارایی انرژی ارائه می‌شود. کنترلر شبکه‌نرم‌افزارمحور برای مسیریابی بهینه نیاز به دید عمومی شبکه دارد که در این مقاله محقق می‌شود. مسیریابی جدید با نام SDN improved Leach با استفاده از پارامترهای در حال اجرای شبکه، بهترین مسیر را انتخاب می‌کند. در نهایت مسیریابی ارائه شده با Leach و Leach Improved مقایسه می‌گردد.

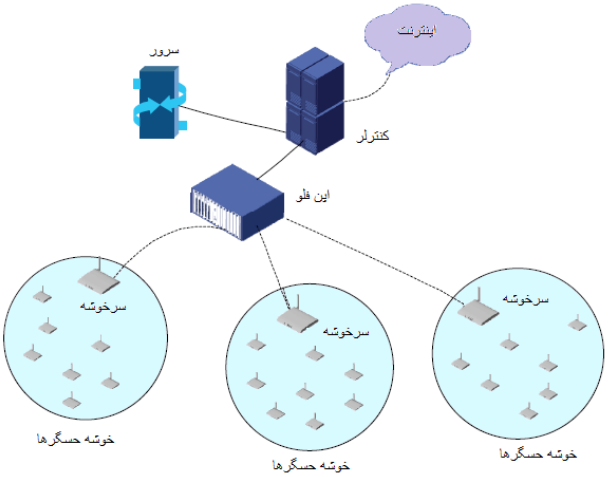
۲- کارهای مرتبط

تعدادی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه مسیریابی و پارامترهای مورد نیاز در جدول۱، به صورت خلاصه نشان داده می‌شود.

۳- معماری پیشنهادی

معماری کلی در شبکه‌های نرم‌افزارمحور دارای ۳ لایه می‌باشد. لایه برنامه، کنترل و داده. لایه برنامه، وظیفه مشخص‌کردن سرویس‌ها و کاربردهای شبکه می‌باشد. کنترلر در این شبکه‌ها مغز شبکه است و با استفاده از دید کلی، تمامی مدیریت‌ها و برنامه ریزی شبکه در جهت مسیریابی را انجام می‌دهد. لایه داده، مسئولیت جمع آوری داده از

حسگرها را به عهده دارد. شمای کلی شبکه استفاده شده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده می‌شود.



شکل(۱): شمای کلی شبکه برای الگوریتم پیشنهادی

گره کنترلر، کنترلر اصلی شبکه است که با استفاده از حالات واقعی شبکه، وظیفه تشکیل توپولوژی و تصمیم‌گیری در مورد مسیریابی را انجام می‌دهد و توابع کنترل و مدیریت کل شبکه را پیاده سازی می‌کند. حسگر نرم افزارمحور، شبیه سوئیچ اپن‌فلو در شبکه‌های نرم افزار-محور می‌باشد که شامل جداول جریان است و جریان‌های ورودی را مطابق جدول جریان پردازش می‌کنند. این حسگرها در واقع مسئول تطابق جریان‌ها با درایه‌های جدول جریان و ارسال آن‌ها مطابق گره گام بعد در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشند.

مجموعه حسگرها که لایه داده را تشکیل می‌دهند، از چندین خوشه تشکیل شده است. هر خوشه دارای یک سرخوشه می‌باشد که وظیفه جمع‌آوری و تجمیع داده‌ها از گره‌های حسگر و ارسال به کنترلر را برعهده دارد. ارتباط بین سرخوشه‌ها و کنترلر از طریق واسط جنوبی به نام اپن‌فلو انجام می‌شود.

۴- معماری پیشنهادی کنترلر نرم افزار محور

معماری پیشنهادی برای کارایی انرژی در کنترلر نرم افزار محور از ۳ لایه تشکیل شده است. لایه مدیریت، لایه کنترل و لایه تصمیم گیری

-لایه مدیریت

لایه مدیریت وظیفه مدیریت حالت شبکه را برعهده دارد. این لایه، مسئول شناختن ایستگاه پایه، کنترلر و چاهک می‌باشد.

-لایه کنترل

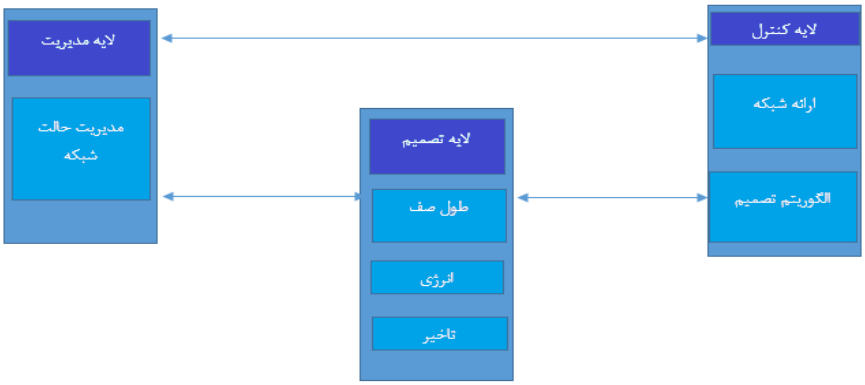
این لایه وظیفه تشکیل توپولوژی و ارائه شبکه را برعهده دارد.

-لایه تصمیم گیری

این لایه توسط اطلاعاتی که از شبکه می‌گیرد تصمیماتی در جهت بهبود کارایی انرژی و مسیریابی اتخاذ می‌کند. این لایه ارتباط مستقیم با دولایه پیشین برقرار می‌کند. شکل ۲ شمای کلی معماری پیشنهادی کنترلر و ارتباط این لایه‌ها را نشان می‌دهد.

شماره مرجع	سال	پارامترهای کیفی تعادل بار در اینترنت اشیا									
		انرژی	تاخیر	فاصله	پهنای باند	کیفیت لینک	تعداد گام	طول صف	نرخ فقدان بسته	ازدحام	تعداد فعالیت
۱۶	۲۰۲۱		❊				❊	❊		❊	
۱۷	۱۳۹۳	❊	❊						❊		
۱۸	۲۰۱۶		❊						❊		❊
۱۹	۲۰۱۷	❊	❊								
۲۰	۲۰۱۷	❊									
۲۱	۱۴۰۰		❊		❊						
۲۲	۲۰۱۸									❊	
۲۳	۲۰۱۷					❊					
۱۰	۲۰۱۷	❊									
۲۴	۲۰۱۸									❊	
۲۵	۲۰۱۹	❊									❊
۲۶	۲۰۱۸						❊			❊	
۲۷	۲۰۲۰				❊						
۲۸	۲۰۲۰	❊								❊	
۲۹	۱۳۹۹	❊	❊				❊				
۳۰	۲۰۲۱		❊			❊					❊

۳۱	۲۰۲۲	*		*			*			*	
۳۲	۲۰۲۰								*		
۳۳	۲۰۲۰			*						*	
۳۴	۲۰۱۶						*			*	
۳۵	۲۰۲۲	*		*							
الگوریتم پیشنهادی		*			*		*	*		*	



شکل(۲): شمای کلی معماری پیشنهادی در کنترلر و ارتباط لایه‌ها

۴-۱- لایه مدیریت

در این لایه ماژول کشف وجود دارد. این ماژول مسئول برای کشف کنترلر و همسایه‌ها می‌باشد. برای این منظور، کنترلر پیامی مبنی بر کشف توپولوژی به سرخوشه‌ها ارسال می‌کند که در این پیام، تعداد گام تا کنترلر، صفر در نظر گرفته شده است. با دریافت این پیام توسط سرخوشه‌ها، تعداد گام یک واحد اضافه می‌شود. سپس سرخوشه‌ها این پیام را به گره‌های همسایه خود، گره‌های شبکه‌نرم‌افزارمحور ارسال می‌کنند. در این پیام شناسه گره فرستنده که همان سرخوشه‌ها می‌باشند، انرژی و تعداد گام خود تا کنترلر را به گره‌های همسایه ارسال می‌کنند. گره همسایه با دریافت این پیام ، درایه جدول همسایه که شامل شناسه گره همسایه، انرژی و تعداد گام تا کنترلر می‌باشد، تشکیل می‌دهد و با بروزرسانی تعداد گام به یک واحد بیشتر به همراه انرژی و شناسه خود به همسایگان ارسال می‌کند. با پخش این پیام در شبکه ، تمامی گره‌ها، جدول همسایه خود با درایه های مشخص را برای هر گره همسایه تکمیل می‌کنند. بعد از اتمام این مرحله، هرگره، همسایگان خود را به همراه انرژی و تعداد گام آنها تا کنترلر را اطلاع دارد. بنابراین با انجام این عمل، گره‌های همسایه و کنترلر کشف می‌شوند.

۴-۲- لایه کنترل

در این لایه با استفاده از اطلاعات مربوط به گره‌ها اعم از شناسه همسایگان هر گره، انرژی و تعداد گام آن‌ها تا کنترلر و ارسال این اطلاعات به کنترلر، کنترلر از لینک‌های موجود بین گره‌ها اطلاع پیدا کرده و توپولوژی کلی شبکه را تشکیل می‌دهد. با استفاده از این توپولوژی، الگوریتم تصمیم‌گیری، مسیریابی SDN leach را انجام داده و برطبق آن، مسیر شکل می‌گیرد. مسئولیت این کار برعهده لایه تصمیم می‌باشد.

۴-۳- لایه تصمیم‌گیری

در این لایه، تصمیم‌گیری برای مسیر بهینه SDN Leach انجام می‌شود. SDN Leach پروتکلی است که از شرایط شبکه آگاه است و در هر لحظه بهترین تصمیم را اتخاذ می‌کند.

این پروتکل دارای ۲ فاز خوشه بندی و مسیریابی می‌باشد.

۴-۳-۱- فاز خوشه بندی

در این فاز، سرخوشه‌ها مشخص می‌شوند. کنترلر با توجه به اطلاعاتی که از گره‌ها بدست می‌آورد، به هر گره وزنی اختصاص می‌دهد. این وزن براساس پارامترهای شبکه مانند تاخیرتا کنترلر و انرژی باقیمانده بدست می‌آید. معادله ۱ وزن مربوطه به هر گره را مشخص می‌کند.

$$W_j = \frac{D_j}{Erem_j} \qquad (۱)$$

D_j تاخیر تا کنترلر و $Erem_j$ انرژی باقی‌مانده گره j می‌باشد.

وزن کمتر نشان از انتخاب بهترین گره برای سرخوشه می‌باشد. بهترین گره برای سرخوشه، دارای تاخیر پایین تا کنترلر و انرژی باقیمانده بیشتر می‌باشد. سرخوشه‌ها توسط کنترلر مشخص شده و به اطلاع گره‌ها می‌رسد. بعد از تعیین سرخوشه‌ها، گره‌های دیگر با توجه به

فاصله آن‌ها تا هر سرخوشه، ملزم به پیوستن به سرخوشه‌ای با فاصله کمتر می‌باشند که به این ترتیب، خوشه‌ها شکل می‌گیرند.

۴-۳-۲- فاز مسیریابی

در این فاز،کنترلر برای انجام مسیریابی از شرایط شبکه استفاده می-کند. گرهی به عنوان گام بعد انتخاب می‌گردد که دارای انرژی بیشتر، تاخیر کمتر و طول صف کمتر باشد. بنابراین با توجه به وزن محاسبه شده در هرگره از قسمت قبل، گرهی به عنوان گام بعد انتخاب می‌شود که دارای کمترین وزن باشد. وزن هر گره توسط معادله ۲ بیان می-گردد که ارتباط مستقیم با تاخیر و طول صف دارد و ارتباط معکوس با انرژی باقی‌مانده دارد.

$$W_j = \frac{L_j + D_j}{Erem_j} \quad (۲)$$

L_j طول صف نود j براساس تعداد بسته‌ها می‌باشد. D_j، تعداد گام تا کنترلر برای گره j، $Erem_j$، انرژی باقیمانده گره j می‌باشد.

۵- بروزرسانی سرخوشه و مسیر

برای تعادل بار و طول عمر بیشتر شبکه، اگر انرژی گره سرخوشه از حدی پایین‌تر رود، سرخوشه به کنترلر اطلاع می‌دهد و کنترلر، گره جدیدی را به عنوان سرخوشه مشخص می‌کند. همچنین اگر در مسیر عبوری جریان‌ها، انرژی گره‌ای از حد آستانه‌ای مشخص پایین‌تر شود یا ازدحام گره از حد آستانه بالاتر رود، گره، مستقیما با کنترلر ارتباط برقرار می‌کند و درخواست مسیر جدید را دارد. کنترلر، با توجه به پارامترها، گره جایگزین گره موردنظر را انتخاب کرده و به گره‌ای که گره مورد نظر، گره بعدی آن می‌باشد، اطلاع می‌دهد و بنابراین با این روش، مسیر بروزرسانی می‌شود. با این عمل، انرژی گره‌ها دیرتر تمام شده و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد.

۶- ارزیابی کارایی

۶-۱- مشخص کردن پارامترها

در این بخش، با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری، کارایی الگوریتم پیشنهادی نشان داده می‌شود. برای رسیدن به این هدف، شبکه‌ای ساده متشکل از ۱۰۰ گره و ۱ کنترلر ، تولید شده است که در آن گره-ها بصورت تصادفی توسعه داده شده‌اند. در نهایت الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های leach و improved-leach مقایسه می‌گردد. شبیه سازی در سیستم عامل Ubuntu 10 توسط شبیه ساز ns2.35 روی نسخه ماشین مجازی vmware13 انجام شده است. جدول ۲ تمامی پارامترها و مقادیر مورد نیاز شبیه سازی را لیست کرده است.

جدول(۲): پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی

پارامترها	مقادیر
تعداد حسگرها	۱۰۰
کنترلر شبکه‌نرم-افزارمحور	۱
اندازه بسته	۴۰۰۰
انرژی اولیه	۰٫۵ ژول
E_e	۵۰nJ/bit
εfs	pj/(bit.m^2)۵
εmp	۱٫۳ fj/(bit.m^2)
محیط شبکه	۱۰۰*۱۰۰
مدت زمان شبیه-سازی	۴۵۰
نوع صف	DropTail(FiFo)
اندازه صف	۲۰۰ بسته
نوع آنتن	Omni antenna

۶-۲- آنالیز کارایی

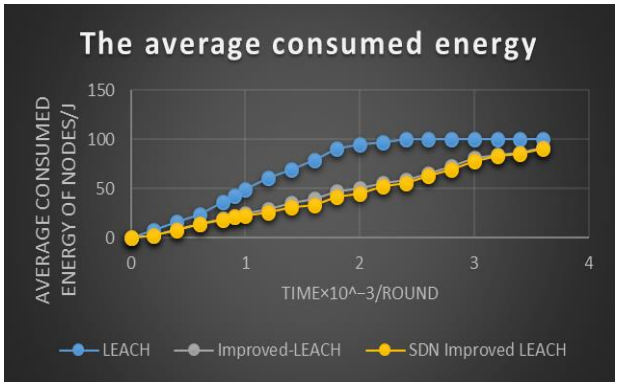
به منظور نشان دادن کارایی الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم با Leach و Improved Leach مقایسه می‌شود. این الگوریتم‌ها نیز مانند الگوریتم پیشنهادی از خوشه‌بندی استفاده می‌کنند و همچنین با استفاده از پارامترهای شبکه، مناسب برای مسیریابی توزیع شده می-باشند که از دلایل استفاده ما برای مقایسه می‌باشد.

Improved-leach نیز که توسعه یافته الگوریتم leach می‌باشد، هدف تعادل بار شبکه را داراست. همچنین با رسیدن به این هدف، انتقال داده را بصورت کارا بهبود می‌بخشد و در نتیجه طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. آنالیز و مقایسه این الگوریتم‌ها با الگوریتم پیشنهادی، براساس انرژی مصرف شده، تعداد گره‌های زنده، داده دریافت شده و تعداد بسته‌های گم شده می‌باشد.

۶-۲-۱- میانگین انرژی مصرف شده

این نمودار مقدار انرژی مصرف شده در ۳ الگوریتم را نشان می‌دهد. از همان ابتدای شبیه سازی، الگوریتم Leach دارای بیشترین انرژی مصرفی است. زیرا انتخاب سرخوشه‌ها و مسیریابی، پارامترهای شبکه مانند فاصله و انرژی را درنظر نمی‌گیرد و انتخاب سرخوشه‌ها بصورت تصادفی است. بنابراین انرژی بیشتری مصرف می‌شود. الگوریتم پیشنهادی و Improved Leach با در نظر گرفتن فاکتورهای شبکه،

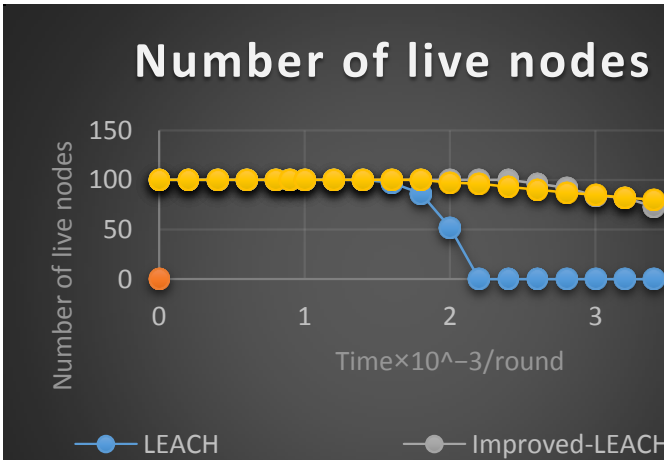
انرژی مصرفی کمتری دارند. الگوریتم پیشنهادی در ابتدای کار، به منظور شناخت کلی شبکه توسط کنترلر و ردوبدل کردن پیام‌های زیاد، دارای انرژی مصرفی تقریبا برابر با Improved Leach دارد ولی با گذشت زمان انرژی مصرفی SDN Improved Leach نسبت به Improved Leach کمتر می‌شود. شکل ۳ نمودار مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل(۳): نمودار میانگین انرژی مصرف شده در ۳ الگوریتم

۶-۲-۲- تعداد گره‌های زنده

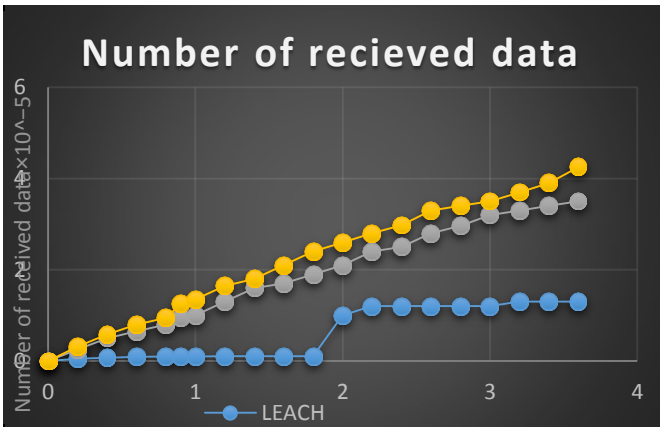
الگوریتم Leach بدلیل اینکه انرژی مصرفی بالایی دارد، زودتر از الگوریتم‌های دیگر تعداد گره‌های زنده اش به صفر می‌رسد. ولی الگوریتم پیشنهادی در دوره‌های ابتدایی بدلیل مصرف انرژی و ردوبدل کردن پیام‌های بیشتر نسبت به الگوریتم Improved Leach تعداد گره‌های فعال کمتری دارد ولی با گذشت زمان و پایداری شبکه این تعداد نسبت به الگوریتم دیگر، بیشتر شده، تا جایی که این اختلاف قابل تامل می‌شود. شکل ۴، نمودار تعداد گره‌های زنده را نشان می-دهد.



شکل (۴): نمودار تعداد گره‌های زنده و مقایسه آن در ۳ الگوریتم

۶-۲-۳- تعداد داده دریافت شده

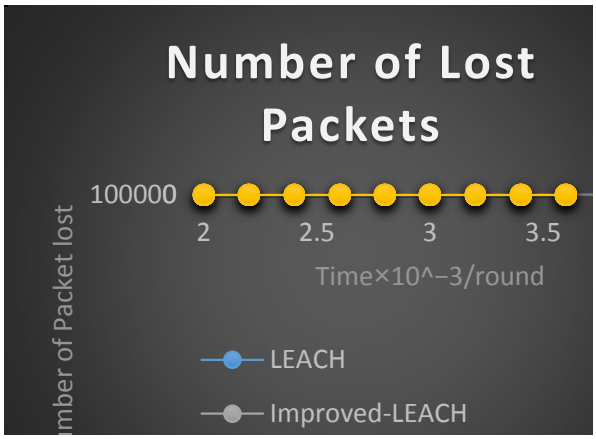
با توجه به شکل ۵، تعداد داده دریافت شده در الگوریتم پیشنهادی از دو الگوریتم دیگر بیشتر می‌باشد. زیرا در این الگوریتم شرایط شبکه و ازدحام داده‌ها و بسته‌ها در نظر گرفته می‌شود و سعی به انتخاب مسیری با ازدحام کمتر دارد. بنابراین، تعداد بسته‌ها و داده‌های گم شده در مسیر کمتر می‌باشد و بسته‌های بیشتری به مقصد می‌رسند.



شکل(۵): نمودار تعداد داده دریافت شده در ۳ الگوریتم و مقایسه آن‌ها

۶-۲-۴- تعداد بسته‌های گم شده

با توجه به بحث در نمودار قبلی و شکل ۵، تعداد بسته‌های گم شده در مسیر با توجه به انتخاب مسیری با ازدحام کمتر در الگوریتم پیشنهادی، کاهش می‌یابد. بنابراین نمودار الگوریتم پیشنهادی نسبت به دو الگوریتم Leach و Improved Leach با شیب ملایم تری افزایش می‌یابد. زیرا با گذشت زمان بصورت بدیهی در هر سه الگوریتم افزایش تعداد پاکت‌های گم شده وجود دارد ولی این تعداد در الگوریتم SDN Improved Leach کمتر می‌باشد. شکل ۶، تعداد بسته‌های گم‌شده در ۳ الگوریتم را مقایسه می‌کند.



شکل(۶): تعداد بسته‌های گم شده در ۳ الگوریتم و مقایسه آن‌ها

۷- نتیجه‌گیری

الگوریتم پیشنهادیSDN Improved Leach ، پروتکل مسیریابی جدیدی برای تعادل بار در شبکه ارائه می‌کند. این الگوریتم با استفاده از SDN و خوشه‌بندی، و با هدف کاهش تعداد پیام‌های ارسالی، مسیریابی متعادل را ارائه می‌کند. الگوریتم در فاز خوشه بندی،سرخوشه‌های مناسب را تعیین کرده و بقیه گره‌ها خود را ملزم به اتصال به یکی از سرخوشه‌ها می‌کنند. در فاز مسیریابی، با انجام یک عملیات برای کشف همسایه و کنترلر و با ارسال اطلاعات گره‌های همسایه به منظور کشف توپولوژی توسط کنترلر، سبب کاهش مصرف انرژی و تعادل بار می‌شود. سپس، با در نظر گرفتن بهترین گره گام بعد براساس پارامترهای شبکه، انتقال داده را در مسیری با انرژی کارا مطمئن می‌سازد. با پیاده‌سازی این راهکارها در الگوریتم پیشنهادی، بار شبکه بصورت متعادل در شبکه توزیع شده و مصرف انرژی در شبکه کاهش و طول عمر شبکه افزایش می‌یابد. برای تایید این مساله، الگوریتم، شبیه سازی و با الگوریتم های leach و improved leach مقایسه شده است. نتیجه شبیه سازی، صحت مساله را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," Computer Networks, vol. 54, pp. 2785-2805, 2010.

[2] d. miorandi, s. sicari, f. d. pellegrini, and i. chlamtac, "Internet of things: Vision, applications and research challenges," AdHoc Network, vol. 10, pp. 1497-1516, 2012.

[3] S. Rani, R. Talvar, J. Malhotra, S. H. Ahmed, M. Sarkar, and H. Song, "A Novel Scheme for an Energy Efficient Internet of Things Based on Wireless Sensor Networks," sensors, vol. 15, pp. 28603-28626, 2015.

[4] O. Flauzac, C. Gonzalez, and F. Nolot, "Developing a distributed software defined networking testbed for IoT," presented at the The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT 2016), 2016.

[5] T. M. C. Nguyen, D. B. Hoang, and T. D. Dang, "Toward a programmable software-defined IoT architecture for sensor service provision on demand," presented at the 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), Melbourne, VIC, Australia 2017.

[6] T. M. C. Nguyen, D. B. Hoang, and Z. Chaczko, "Can SDN Technology Be Transported to Software-Defined WSN/IoT?," presented at the IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData), Chengdu, China, 2016.

[7] N. Bouchemal, S. Kallel, and N. Bouchemal, "A Survey: WSN Heterogeneous Architecture Platform for IoT," presented at the International Conference on Machine Learning for Networking, paris, 2018.

[8] B. D. Kreutz, P. E. Verı´ssimo, and S. Azodolmolky, "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," Proceedings of the IEEE, vol. 103, 2015.

[9] S. Bera, S. Misra, S. K. Roy, and M. S. Obaidat, "Soft-WSN: Software-Defined WSN Management System for IoT Applications," IEEE Systems Journal, vol. 12, no. 3, pp. 2074 - 2081, 2018.

[10] Z. Zhang, Z. Zhang, R. Wang, Z. Jia, H. Lei, and X. Cai, "ESD-WSN: An Efficient SDN-Based Wireless Sensor Network Architecture for IoT Applications," Springer International Publishing, pp. 735–745, 2017.

[11] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, S. Shenker, and J. Turner, "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks," Computer Communication Review, vol. 38, no. 2, 2008.

[12] H. C. Silva, A. e. H. Pereira, Y. K. Solano, B. T. d. Oliveira, and C. B. Margi, "WARM: WSN Application development andResource Management," presented at the XXXIV SIMP´OSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAC˜OE,SANTAR´EM, PA, 2016.

[13] S. Tomovic and I. Radusinovic, "Extending the lifetime of wireless sensor network with partial SDN deployment," Telfor Journal, vol. 8, no. 1, pp. 8-13, 2016.

[14] Z. Ying, L. Peisong, and M. Lin, "Research on Improved Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Protocol in Wireless Sensor Networks," Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), vol. 23, no. 5, pp. 613-619, 2018.

[15] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol forWireless Microsensor Networks," presented at the Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, HI, USA, USA, 2000.

[16] M. Adil, "Congestion free opportunistic multipath routing load balancing scheme for Internet of Things (IoT)," Computer Networks, vol. 184, p. 107707, 2021/01/15/ 2021.

[17]ز.ولی، م. ر.هاشمی، ن.مقیم،"شیوه های توزیع بار در مهندسی
ترافیک"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره۱۲، شماره۲،
صفحه۱۰۵-۱۱۸، ۱۳۹۴.

[18] H. Fotouhi, M. Vahabi, A. Ray, and M. Björkman, "SDN-TAP: An SDN-based traffic aware protocol for wireless sensor networks," presented at the 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), Munich, Germany 2016.

[19] B. O. Kahjogh and G. Bernstein, "Energy and latency optimization in software defined wireless networks," presented at the Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Milan, Italy 2017.

[20] L. Wenxing, W. Muqing, and W. Yuewei, "Design of multi-energy-space-based energy-efficient algorithm in novel software-defined wireless sensor networks," International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 13, no. 7, 2017.

[21] ا.رضایی پناه، م. مجرد، غ. احمدی، ح. نظری، "بهبود عملکرد پروتکلهای مسیریابی در شبکه هایMPLS برای کنفرانس ویدئویی بر مبنای تضمین پهنای باند و تاخیر انتها به انتها"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره ۱۸، شماره ۳، صفحه ۱۰۱-۱۱۱، ۱۴۰۰.

[22] F. Shang, L. Mao, and W. Gong, "Service-aware adaptive link load balancing mechanism for Software-Defined Networking," Future Generation Computer Systems, vol. 81, pp. 452-464, 2018.
[23] F. Pakzad, "Towards Software Defined Wireless Mesh Networks," Doctor of Philosophy, School of Information Technology & Electrical Engineering, University of Queensland in, 2017.
[24] J. Li, B. N. Silva, M. Diyan, Z. Cao, and K. Han, "A Clustering Based Routing Algorithm in IoT Aware Wireless Mesh Networks," Sustainable Cities and Society, vol. 40, pp. 657-666, 2018.
[25] X. Tan, H. Zhao, G. Han, W. Zhang, and T. Zhu, "QSDN-WISE: A New QoS-based Routing Protocol for Software-Defined Wireless Sensor Networks," IEEE Access, vol. 7, pp. 61070 - 61082, 2019.
[26] H. R. Faragardi, M. Vahabi, H. Fotouhi, T. Nolte, and T. Fahringer, "An efficient placement of sinks and SDN controller nodes for optimizing the design cost of industrial IoT systems," Software Practice and Experience, vol. 48, pp. 1893-1919, 2018.
[27] K. Choumas, D. Giatsios, P. Flegkas, and T. Korakis, "SDN Controller Placement and Switch Assignment for Low Power IoT," Electronics vol. 9, no. 2, 2020.
[28] Y. Chai and X.-J. Zeng, "Load Balancing Routing for Wireless Mesh Network With Energy Harvesting," IEEE Communications Letters vol. 24, no. 4, pp. 926 - 930, 2020.
[29]د.غرویان، م.ا.راهدار،"بهینه سازی توأمان انرژی و تاخیر در مسیریابی شبکه حسگر بیسیم"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، دوره۱۷، شماره۱، صفحه۹۱- ۱۰۲، ۱۳۹۹.
[30] L. H. Binh and T. -V. T. Duong, "Load balancing routing under constraints of quality of transmission in mesh wireless network based on software defined networking," in Journal of Communications and Networks, vol. 23, no. 1, pp. 12-22, Feb. 2021, doi: 10.23919/JCN.2021.000004.
[31] M. U. F. Qaisar, X. Wang, A. Hawbani, L. Zhao, A. Y. Al-Dubai and O. Busaileh, "SDORP: SDN based Opportunistic Routing for Asynchronous Wireless Sensor Networks," in IEEE Transactions on Mobile Computing, doi: 10.1109/TMC.2022.3158695.
[32] Kumar. A , Hariharan. N," DCRL-RPL: Dual context-based routing and load balancing in RPL for IoT networks", IET Communications, Vol. 14 Iss. 12, pp. 1869-1882, 2020.
[33] Shukla.A ,Tripathi.S, "An Effective Relay Node Selection Technique for Energy Efficient WSN- Assisted IoT", Wireless Personal Communications, 2020.
[34] Henry Tseng C," Multipath Load Balancing Routing for Internet of Things", Journal of Sensors, 2016.
[35] Mishra, Pooja & Kumar, Neetesh & Godfrey, Wilfred. (2022). An evolutionary computing- based energy- efficient solution for IoT- enabled software- defined sensor network architecture. International Journal of Communication Systems. 35. 10.1002/dac.5111.

زیرنویس‌ها

[1] Internet of Things(IoT)
[2] Load Balancing
[3] Wireless Sensor Network(WSN)
[4] Software Defined Network(SDN)
[5] Scalability
[6] Quality of Service
[7] Privacy
[8] Security
[9] Cluster head
[10] Clustering