Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 10, Number 2, Summer 2021, pp. 27-38
Received: 02/24/2020, Revised: 03/16/2021, Accepted: 06/01/2021

Energy Optimization in SDN-based Internet of Things

Shahab Salehi[1], Hamed Farbeh[2*]
1- Department of Computer Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic-AUT), Tehran, Iran.
2*- Department of Computer Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic-AUT), Tehran, Iran.
[1]shahab.salehi@aut.ac.ir, [2*]farbeh@aut.ac.ir

Corresponding author's address: Hamed Farbeh, Department of Computer Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic-AUT), Tehran, Iran.

Abstract- Not long ago, the only things connected to the Internet were Personal Computers, while nowadays everything are connected to the Internet from clothes to kitchen appliances. Therefore, Internet of Things (IoT) is more pervasive today. IoT nodes should be able to continue their activities for a long period of time using only their batteries without recharging. IoT is a heterogeneous network and each of its equipment developed independently with difference technologies. Given these properties, IoT typically is relied on the battery. Moreover, it faces with energy constraints because of the limited batteries capacity. In this paper, by considering Internet of Things properties, we propose a novel data encoding method to reduce energy consumption and increase battery via reducing the amount of transmitted data over the network. Moreover, we further reduce the energy consumption by taking the advantages of Software-Defined Networking (SDN). The results show that energy consumption is reduced 20%, on average without using SDN and 39% in our SDN-based system.

Keywords- Internet of Things, Energy management, Software-defined networking, Traffic management, Heterogeneous networks.

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۱۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۲۷-۳۸
دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵، بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

بهینه‌سازی مصرف انرژی در اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه‌ی نرم‌افزار-محور

شهاب صالحی[۱] و حامد فربه*[۲]
۱- دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران.
*۲- دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران.
[1]shahab.salehi@aut.ac.ir, [2*]farbeh@aut.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: حامد فربه ، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر.

چکیده- در گذشته، بیشتر تجهیزات متصل به اینترنت رایانه‌های شخصی بودند. ولی امروزه همه چیز از تجهیزات کشاورزی گرفته تا خودروها و وسایل آشپزخانه به اینترنت متصل هستند. از این رو، وارد عصر جدیدی به نام عصر *اینترنت اشیا* یعنی اینترنت همه چیز شده‌ایم که بسیار پیچیده و گسترده است. شبکه‌های اینترنت اشیا به صورت مستقل توسعه داده شده‌اند، بسیار ناهمگون بوده و مصرف انرژی در آنها بسیار بالا است. تجهیزات اینترنت اشیا عمدتاً مبتنی بر باتری هستند و مصرف انرژی در اینترنت اشیا نقطه‌ی گلوگاهی محسوب می‌شود. در این پژوهش، با در نظر گرفتن ویژگی‌های اینترنت اشیا و داده‌هایی که در این نوع شبکه‌ها رد و بدل می‌شوند، روشی ارائه می‌شود که بتواند مصرف انرژی و نیز ترافیک داده‌ها را در اینترنت اشیا کاهش دهد. بعلاوه، با بهره‌گیری از قابلیت‌های شبکه‌ی نرم‌افزار-محور[۱] این روش را بهبود می‌بخشیم تا بتوان مصرف انرژی را در اینترنت اشیا متناسب با شرایط محیطی و به صورت پویا مدیریت کرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله مصرف انرژی به طور میانگین بدون بهره‌گیری از شبکه نرم‌افزار-محور ۲۰ درصد و با استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور ۳۹ درصد کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیا، شبکه‌های ناهمگون، شبکه‌های نرم‌افزار-محور، مدیریت مصرف انرژی، مدیریت ترافیک شبکه، شبکه گسترده کم توان

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت روزافزون فناوری و توسعه‌ی سریع شبکه‌های کامپیوتری می‌توان گفت هر چیزی به اینترنت متصل است. بنابراین، اینترنت اشیا هم از لحاظ تعداد اشیا و تنوع و نیز از منظر حجم داده رد و بدل شده در حال توسعه است [۱]، [۲]. اینترنت اشیا یک شبکه‌ی ناهمگون است زیرا از شبکه‌ها و تجهیزاتی تشکیل شده که به صورت مستقل و با اهداف متفاوت توسعه داده شده‌اند. از این رو، مصرف انرژی در اینترنت اشیا بسیار چالش برانگیز است. روش‌هایی که تاکنون برای کاهش مصرف انرژی ارائه شده‌اند، عموماً ویژگی‌های اینترنت اشیا از جمله ماهیت وابسته بودن اشیای مختلف به یکدیگر، بازه‌ی محدود داده‌ها و تعداد زیاد گره‌های اینترنت اشیا را در نظر نگرفته‌اند [۹-۳].

اینترنت اشیا از شبکه‌های گسترده و تعداد بسیار زیادی دستگاه تشکیل شده است که در تعامل با یکدیگر هستند. بنابراین، برای این که چندین گره با کارایی بالا و مصرف انرژی پایین و به صورت هماهنگ در کنار یکدیگر کار کنند نیاز است تا روشی ارائه شود که کل اشیا را به صورت یک مجموعه واحد در نظر بگیرد. شبکه‌ی نرم‌افزار-محور به عنوان یک راه حل متمرکز می‌تواند تا حد زیادی به این نیاز پاسخ و به حل مشکل ناهمگون بودن و کارایی و مصرف انرژی در اینترنت اشیا کمک شایانی کند. اما، شبکه‌های نرم‌افزار-محور در ابتدا برای شبکه‌های سیمی ارائه شده بود و وظیفه‌ی مدیریت تجهیزات شبکه را برعهده داشت. از این رو، شبکه‌های نرم‌افزار-محور سنتی اساساً مناسب شبکه‌های بی‌سیم و تجهیزات

اینترنت اشیا نیستند.

اخیراً پژوهش‌هایی صورت گرفته و مدل‌هایی ارائه شده که بتوان از شبکه‌های نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا بهره برد. به طور مثال، در پژوهش‌های [۶-۳] بیشتر به مواردی مانند مدیریت تجهیزات و کارایی توجه شده است و مسئله مهم مصرف انرژی مورد توجه قرار نگرفته است و یا در [۹-۷] بدون در نظر گرفتن شبکه‌ی نرم‌افزار-محور به مسئله‌ی مصرف انرژی و اندازه‌ی بسته‌ها پرداخته شده است. در اینترنت اشیا به خصوص شبکه‌ی حسگر بی‌سیم، داده‌ها در محدوده‌ی مشخص و کوچکی قرار دارند. مثلا در حسگر سنجش دما، فراوانی داده‌های سنجش شده در یک بازه‌ی بخصوص بسیار بیشتر از سایر داده‌ها است. زیرا که دما تقریباً پایدار بوده و تغییرات آن در طول زمان کم است.

در این مقاله، ابتدا روشی ارائه می‌دهیم که با تنظیم حجم داده‌ی ارسالی متناسب با فراوانی داده‌ها، می‌تواند داده‌هایی با تکرار بیشتر را با حجم کمتری ارسال کند. این مدیریت پویای بسته‌ها موجب کاهش مصرف انرژی می‌شود. سپس، از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در جهت بهبود این روش و نیز مدیریت مصرف انرژی در اینترنت اشیا بهره می‌بریم تا امکان مدیریت مصرف انرژی را نه تنها برای یک شیء بلکه در سطح کلان سیستم و برای تعداد بسیار زیادی از اشیا فراهم کنیم. بدین ترتیب، می‌توان تجهیزات زیادی را به صورت کلان و همزمان مدیریت کرد و سیاست‌های کلی مصرف انرژی را بر آنها اعمال کرد. نتایج شبیه‌سازی روش ارائه شده نشان‌دهنده‌ی ۲۰ درصد کاهش مصرف انرژی بدون شبکه‌ی نرم‌افزار- محور نسبت به سیستم مرجع است. این کاهش مصرف انرژی با اعمال شبکه‌ی نرم‌افزار-محور به طور میانگین به ۳۹ درصد می‌رسد.

در ادامه، در بخش دوم به شرح فناوری‌های موجود می‌پردازیم تا پیش‌زمینه‌ای برای ادامه‌ی کار باشد. سپس، در بخش سوم به بررسی پژوهش‌های مرتبط به موضوع و معایب و مزایای آنها می‌پردازیم. در بخش چهارم، روش ارائه شده را شرح خواهیم داد. در بخش پنجم نحوه‌ی شبیه‌سازی و نتایج ارزیابی را توضیح خواهیم داد و در انتها به جمع‌بندی مطالب ارائه شده در فصل ششم می‌پردازیم.

۲- پیش زمینه

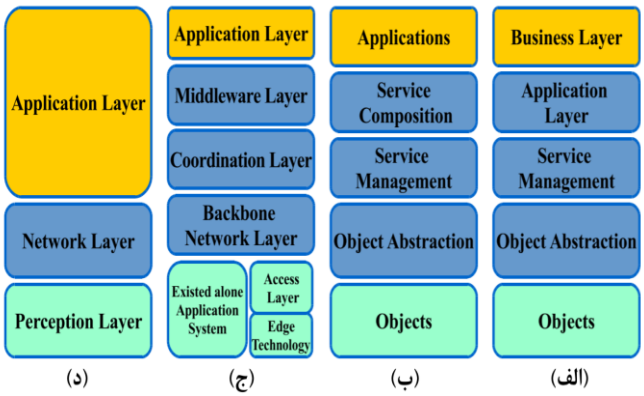
در این بخش به بررسی و تعریف پیش زمینه‌های مورد نیاز برای طرح پیشنهادی از جمله شبکه‌ی نرم‌افزار-محور، اینترنت اشیا و *LoRaWan*[2] می‌پردازیم.

۲-۱- اینترنت اشیا

اینترنت اشیا از مجموعه‌ای از اشیا و شبکه‌ها تشکیل شده است. این اشیا می‌توانند شامل همه چیز از جمله ماشین‌ها، حسگرها، وسایل داخل خانه و تجهیزات کشاورزی باشند. اینترنت اشیا به دلیل توسعه‌ی مستقل تجهیزات و شبکه‌های آن بسیار ناهمگون و منابع انرژی و سخت‌افزاری آن محدود است. یکی از فرض‌های اصلی در اینترنت اشیا این است که حسگرهای هوشمند مستقیماً و بدون دخالت انسانی با یکدیگر تعامل دارند که این خود نوع جدیدی از خدمات را به ارمغان می‌آورد [۱۰]. پیش‌بینی می‌شود تا پایان سال ۲۰۲۰ تعداد گره‌های اینترنت اشیا هوشمند در سطح جهان به ۲۱۲ میلیارد و ترافیک ماشین به ماشین[3] به بیش از ۴۵ درصد کل ترافیک اینترنت برسد [۱۳-۱۱]. تأثیرات اقتصادی سالیانه‌ی اینترنت اشیا تا سال ۲۰۲۵ در حدود ۲/۷ تا ۶/۲ ترلیون دلار پیش‌بینی شده‌است [۱۴]. براساس پیش‌بینی‌ها ارزش اینترنت صنعتی ایجاد شده تا سال ۲۰۲۰ به ۱۲۷۹ میلیارد دلار خواهد رسید که بازگشت سرمایه‌ی[4] ۱۴۹ درصدی در مقابل ۱۳ درصد برای آن در سال ۲۰۱۲ تخمین‌زده می‌شود [۱۵-۱۰].

مدل‌های لایه‌ای مختلفی برای اینترنت اشیا پیشنهاد شده‌اند که غالب‌ترین آن مدل سه لایه‌ای است. چهار مدل غالب که در شکل ۱ آورده شده‌اند، عبارت‌اند از: الف) پنج لایه‌ای، ب) سرویس‌گرا-پایه[5]، ج) میان‌افزار-پایه[6] و د) مدل سه لایه‌ای [۱۰]، [۱۶-۲۱] برخی از لایه‌هایی که در شکل ۱ آورده شده‌اند عبارت‌اند از:

- **لایه‌ی اشیا**[7]: اولین لایه، لایه‌ی اشیا یا لایه‌ی ادراک[8] است که نشان‌دهنده‌ی حسگرهای فیزیکی بوده و وظیفه‌ی آن جمع‌آوری و پردازش اطلاعات است. این لایه می‌تواند شامل عملگرها و حسگرهایی برای انجام فعالیت‌های مختلف از جمله تعیین موقعیت، سنجش



شکل ۱: معماری اینترنت اشیا: الف) پنج لایه‌ای، ب) سرویس‌گرا-پایه ، ج) میان‌افزار-پایه و د) مدل سه لایه‌ای [۱۰]

دما، سرعت، وزن و شتاب باشد. در این لایه جهت پشتیبانی از اشیا ناهمگون نیاز است تا مکانیزم استاندارد شده‌ی اتصال و اجرا[۹] مورد استفاده قرار گیرد [۱۸]، [۱۹]. لایه‌ی ادراک اطلاعات را دیجیتالی کرده و از طریق کانال‌های امن به لایه‌ی انتزاع اشیا ارسال می‌کند. کلان‌داده[۱۰] در این لایه تولید می‌شود [۱۰].

- **لایه‌ی انتزاع اشیا**[۱۱]: وظیفه‌ی انتقال اطلاعات تولید شده در لایه‌ی ادراک را به لایه‌ی مدیریت خدمات دارد. این انتقال از طریق کانال‌های امن، از جمله وای-فای، سامانه جهانی مخابرات سیار *(UMTS[12])* و سامانه بازشناسی با امواج رادیویی *(RFID[13])* صورت می‌پذیرد [۱۰]، [۱۸].

- **لایه‌ی مدیریت خدمات**[۱۴]: لایه‌ی مدیریت خدمات یا لایه‌ی پیوند میان‌افزار[۱۵]، سرویس را بر اساس آدرس و نام درخواست‌کننده‌ی آن تخصیص می‌دهد. این لایه برنامه‌نویسان را قادر می‌سازد تا بدون اینکه خود را با لایه‌ی سخت‌افزاری اینترنت اشیا درگیر کنند برای اشیا ناهمگون برنامه بنویسند. همچنین این لایه اطلاعات دریافتی را پردازش و تصمیمات لازم را اتخاذ می‌کند و سرویس‌های درخواستی را ارائه می‌دهد [۱۰]، [۱۷]، [۱۹]، [21].

- **لایه‌ی کاربرد**[۱۶]: این لایه سرویس‌های درخواست شده از طرف مشتری را فراهم می‌کند. اهمیت این لایه برای اینترنت اشیا از آن جهت است که امکان ارائه‌ی سرویس‌های هوشمند با کیفیت را به مشتری فراهم می‌کند [۱۰]، [۱۷]، [۱۸]، [۲۰].

- **لایه‌ی کسب‌وکار**[۱۷]: لایه‌ی کسب‌وکار کل فعالیت‌ها و سرویس‌های سیستم اینترنت اشیا را اداره می‌کند. وظیفه‌ی این لایه ایجاد یک مدل تجاری، گراف، نمودار جریان و دیگر زمینه‌های مورد نیاز است که بر اساس اطلاعات دریافتی از لایه‌ی کاربرد می‌باشد. همچنین، این لایه مسئول طراحی، تحلیل، پیاده‌سازی، ارزیابی، نظارت و توسعه‌ی عناصر مرتبط با اینترنت اشیا است. این لایه امکان تصمیم‌گیری بر اساس تحلیل کلان‌داده‌های ایجاد شده را فراهم می‌کند و مدیریت و نظارت بر چهار لایه‌ی زیرین را نیز بر عهده دارد [۱۰].

۲-۲- شبکه‌ی نرم‌افزار-محور

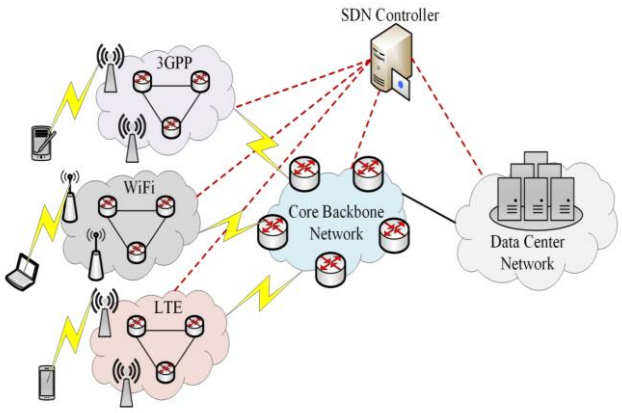
شبکه‌ی نرم‌افزار محور معماری جدیدی برای شبکه است که بخش کنترل‌کننده شبکه را از دستگاه‌ها جدا می‌کند [۲۲]. از این رو، ایده‌ی اصلی درشبکه‌ی نرم‌افزار-محور جداسازی صفحه‌ی کنترل[۱۸] از صفحه‌ی داده[۱۹] است [۲۳]. در نتیجه، همانطور که در شکل ۲ مشخص شده است، منطق کنترل‌کننده در دستگاه‌های جدا پیاده‌سازی و با توجه به شرایط و متناسب با آن به صورت بی‌درنگ تغییر می‌کند [۲۴].

شبکه‌های سنتی مناسب نیازمندی‌های اینترنت اشیا از جمله کارایی، مقیاس‌پذیری، یکپارچگی و مقرون به صرفه بودن، نیست. ظهور شبکه‌ی نرم‌افزار-محور امکان دسترسی و کنترل تجهیزات شبکه را برای اپراتورها و کاربران به ارمغان آورد است. به طور کلی، شبکه‌ی نرم‌افزار-محور از سه لایه‌ی شالوده، کنترل و کاربرد ساخته شده است. همچنین مدل رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی چندگانه نیز شامل رابط شمالی، جنوبی، شرقی و غربی است [۲۴].

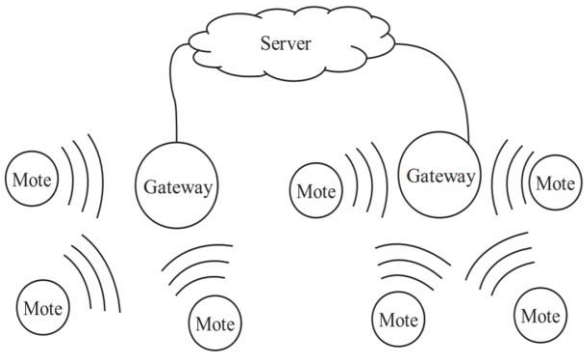
برخی از نیازمندی‌های کلیدی اینترنت اشیا که امکان برآورده‌شدن آن توسط شبکه‌ی نرم‌افزار-محور وجود دارد عبارت‌اند از: مدیریت شبکه، مجازی‌سازی توابع شبکه، امکان دسترسی به اطلاعات از هر جا، بکارگیری منابع، مدیریت انرژی، امنیت و حریم خصوصی [۲۴].

۲-۳- شبکه‌ی *LoRaWan*

LoRaWan یک پروتکل ارتباطی بی‌سیم *LPWAN[20]* است که در باند فرکانسی آزاد و برای اینترنت اشیا توسعه داده شده و *LoRa* استاندارد لایه‌ی فیزیکی اینترنت اشیا مبتنی بر *LoRaWan* می‌باشد. از ویژگی های این پروتکل می‌تواند به



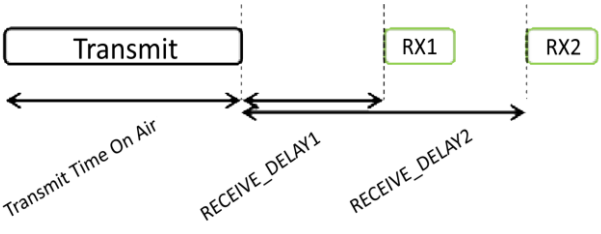
شکل ۲: نمای کلی از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا [۲۴]



شکل ۳: توپولوژی LoRaWan [27]

مصرف پایین انرژی، پوشش محدوده‌ی وسیع و پشتیبانی از تعداد گره‌های زیاد اشاره کرد [۲۵]، [۲۶]. پروتکل *LoRaWan* توسط شرکت *Semtech* و *LoRa Alliance* توسعه داده شده و پشتیبانی می‌شود. توپولوژی *LoRa*، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، ستاره‌ای است [۲۷] و از منظر دستگاه‌های نقطه‌ی پایانی به سه کلاس *A*، *B* و *C* تقسیم می‌شود تا محدوده‌ی بالایی از کاربردها را پوشش دهد [۲۸]، [29] که عبارت‌اند از:

- کلاس *A*: در این کلاس از *pure ALOHA* برای ارتباط فراسو[۲۱] استفاده می‌شود. بعد از ارسال فریم، دستگاه پایانی در دو پنجره شروع به گوش دادن می‌کند که در شکل ۴ دیده می‌شود. از این رو، ارتباط فروسو[۲۲] تنها بعد از یک ارتباط فراسو امکان‌پذیر است. در بین کلاس‌های *LoRa*، کلاس *A* کم‌مصرف‌ترین محسوب می‌شود.
- کلاس *B*: در کلاس *B* دستگاه پایانی در بازه‌هایی مشخص شروع به گوش دادن به کانال می‌کند. از این رو، برای برقراری ارتباط فروسو نیازی به ارتباط فراسو نیست. این کلاس به دلیل بازه‌های فروسوی بیشتر، مصرف انرژی بالاتری نسبت به کلاس *A* دارد.
- کلاس *C*: در این کلاس، دستگاه پایانی به غیر از زمان‌هایی که داده مخابره می‌کند به کانال گوش می‌دهد. از این رو، مصرف انرژی در این کلاس از کلاس‌های *A* و *B* بالاتر و تأخیر کمتر آن است.



شکل ۴: پنجره‌های دریافتی LoRaWan [29]

۳- پژوهش‌های مرتبط

در این بخش به بررسی کارهای مرتبط با روش ارائه شده در این پژوهش می‌پردازیم که شامل دو بخش می‌باشد، که در بخش اول مقالات مرتبط با شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا را بررسی می‌کند و در بخش دوم مصرف انرژی در اینترنت اشیا را مورد بررسی قرار می‌دهد.

۳-۱- متمرکز سازی با استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا

در [۳]-[۵] مدل *CORAL-SDN* معرفی شده است که در این مدل تلاش می‌شود که با استفاده از یک معماری متمرکز مبتنی بر شبکه‌ی نرم‌افزار-محور با مشکلاتی از قبیل قابلیت همکاری، ناهمگونی، تحرک، کیفیت سرویس و امنیت مقابله شود. در این مقالات، اشاره شده است که در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم نرم‌افزار-محور، می‌توان از طریق انتقال بخش کنترل موجود در هر شیء اینترنت اشیا به یک مرکز و متمرکز کردن بخش کنترل از بار محاسباتی شبکه‌ی حسگر بی‌سیم ها کاسته و موجب کاهش مصرف انرژی و مدیریت هوشمند مصرف انرژی در سطح کلان شد.

ایده‌ی کلی این کار بدین صورت است که پروتکلی مثل *OpenFlow* به اسم *CORAL-SDN* ایجاد شده که پیچیدگی موجود در بخش پروتکل شبکه را از آن جدا کرده و به نرم‌افزار کنترل شبکه که به صورت ثابت در بخشی از زیرساخت شبکه قرار دارد، انتقال می‌دهد. *CORAL-SDN* از استقرار و پیاده‌سازی پویا و مکانیزم کنترل توپولوژی و جریان که به واسطه‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور امکان‌پذیر شده است، پشتیبانی می‌کند. که در این کار میزان اثر بخشی *CORAL-SDN* به وسیله‌ی آزمایشاهای عملی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار، از دو الگوریتم جدید و اختصاصی کنترل توپولوژی و دو روش برقراری و باز ارسال جریان استفاده شده است که با توجه به درخواست‌ها می‌تواند تنظیم و سازگار شود. شبکه‌ی نرم‌افزار-محور بیشتر در مراکز داده مورد استفاده قرار می‌گیرد و استفاده از آن تا سال‌های اخیر در اینترنت اشیا معمول نبوده است ولی در چند سال گذشته با توجه به امکاناتی که شبکه‌ی نرم‌افزار-محور ارائه می‌دهد، از آن برای حل مشکلات موجود در اینترنت اشیا از جمله ناهمگونی وکارایی استفاده شده است. در این پژوهش، مدلی مبتنی بر شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا ارائه شده و پیاده سازی‌شده است. ولی این مدل توانایی تخصیص پویای منابع و مدیریت مصرف

انرژی را به صورت مستقل ندارد.

در [۶]، تفاوت بین شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در شبکه‌ی مراکز داده‌ی سنتی و اینترنت اشیا بررسی شده است. همینطور مدل لایه‌ای برای کنترکننده شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا معرفی شده که بر چالش ناهگونی و کارایی پایین اینترنت اشیا تمرکز کرده و تلاش دارد با ایجاد لایه‌های انتزاعی مناسب این مشکل را حل کند. در این مدل، از یک الگوریتم ژنتیک اختصاصی برای مدیریت جریان کاربردهای ناهمگون استفاده شده است. هم چنین تلاش شده است تا با ایجاد لایه‌های مختلف و مناسب در شبکه‌ی نرم-افزارمحور، وظایفی که باید در سطح شبکه انجام شوند به صورت مناسب بین گره‌های مختلف شکسته شود تا بتوان از منابع موجود به بهترین نحو استفاده کرد. اگرچه راه حل‌های ارائه شده می‌توانند در مصرف انرژی تاثیرگذار باشند، ولی به صورت مستقیم مصرف انرژی را در اینترنت اشیا مورد توجه قرار نداده اند.

۳-۲- مصرف انرژی در اینترنت اشیا

در [۷] بیان شده که اطلاعات رد و بدل شده در اینترنت اشیا رو به فزونی است، در حالی که اطلاعات رد و بدل شده در اینترنت اشیا کم حجم بوده، بنابراین می‌توان اندازه‌ی بسته‌ها را کوچکتر کرد. یکی از مشکلات موجود در اینترنت اشیا تمام‌شدن ناهمگون باتری گره‌ها است که موجب اختلال و پرهزینه بودن جایگزین کردن باتری‌ها و کاهش سطح خدمات می‌شود. با توجه به این که اندازه‌ی بسته‌ها تأثیر بسزایی در میزان مصرف انرژی دارد، در این مقاله راه حل‌هایی برای کوچکتر کردن اندازه‌ی بسته‌ها ارائه شده تا به کمک آن میزان مصرف انرژی کاهش یافته و مشکل اتمام باتری‌ها در زمان‌های مختلف حل شود. در این پژوهش، اطلاعات جمع‌آوری شده از یک پارکینگ هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. در پارکینگ هوشمند مورد بررسی، دفعات استفاده از گره‌ها متفاوت بوده و در نتیجه زمان اتمام باتری گره‌های مختلف یکسان نیست. از این رو، تلاش شده با خوشه‌بندی و تنظیم اندازه‌ی بسته‌ها متناسب با تعداد دفعات استفاده از حسگرها و فشرده‌سازی مصرف انرژی گره‌های پر مصرف کاهش پیدا کند. در این روش، به گره‌های پرمصرف‌تر شناسه‌ی کوتاهتر و به گره‌هایی که مصرف کمتری دارند شناسه‌هایی با طول بلندتر اختصاص داده شده که این مورد موجب کاهش اندازه‌ی بسته‌ها می‌شود. هم‌چنین، اطلاعات ارسالی به روش کدگذاری هافمن فشرده شده تا حجم کمتری را اشغال کنند. راه حل ارائه شده در این پژوهش مصرف انرژی کلی را در شبکه کاهش داده است ولی در برابر تغییر شرایط محیطی بسیار آسیب‌پذیر است و درصورت تغییر شرایط حتی می‌تواند موجب افزایش مصرف انرژی در کل شبکه شود.

در [۸]، نحوه و میزان تأثیر اندازه‌ی بسته بر نرخ خرابی بسته و همچنین تأخیر بررسی و بیان شده که در اینترنت سنتی به صورت معمول اندازه‌ی بسته‌ها به صورت ایستا تعریف می‌شوند در حالی که اندازه‌ی بسته‌ها بر خرابی بسته تأثیرگذار است. بدین صورت که هرچقدر اندازه‌ی بسته‌ها بزرگتر باشد احتمال خرابی و از بین رفتن کل بسته بیشتر می‌شود. از این رو، بسته‌ها را کوچک‌تر می‌کنند تا با خرابی بسته‌ها اطلاعات کمتری از بین برود. این در حالی است که هرچقدر اندازه‌ی بسته‌ها کوچکتر شود، نسبت سرایند بسته‌ها به اطلاعات ارسالی بیشتر می‌شود و در نتیجه سربار بالا می‌رود. از این رو، باید با توجه به شرایط کانال یک حالت متعادل برقرار و اندازه‌ی بسته به صورت پویا مشخص شود. در پژوهش‌های اخیر، تعیین اندازه‌ی بسته در لایه‌های پایین انجام می‌گیرد، در حالی که این کار باید با توجه به کاربرد مورد انتظار تعیین شود. بنابراین، نیاز است تا در لایه‌های بالاتر اندازه‌ی بسته مشخص شود.

در [۹] بیان شده که محدودیت باتری در اینترنت اشیا به خصوص در حسگرهای بی‌سیم مشکلات و محدودیت‌هایی را به وجود آورده است و تلاش شده تا راه حلی برای کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا ارائه شود. مصرف انرژی غیر بهینه موجب اتلاف انرژی و اتمام سریع باتری می‌شود. دو مورد از پارامترهای مهم در مصرف انرژی اندازه‌ی بسته و توان ارسالی است. از این رو، این پژوهش به بررسی همزمان توان ارسالی و اندازه‌ی بسته پرداخته و تلاش کرده این دو پارامتر را به طور همزمان بهینه‌سازی کند. بدین منظور، یک مدل مناسب برای لایه‌ی لینک حسگرهای بی‌سیم ارائه شده و به بررسی تأثیر این دو پارامتر در میزان عمر باتری پرداخته شده است. بدین صورت که در ابتدا اندازه‌ی بسته ثابت نگه‌داشته شده است و تأثیر تغییر توان ارسالی بررسی شده و سپس توان ارسالی ثابت نگه‌داشته و تغییر در اندازه‌ی بسته بررسی شده است.

۳-۳- مقایسه‌ی پژوهش‌ها

در جدول ۱ مشاهده می‌شود که مراجع [۶-۳] تنها بر پیاده‌سازی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در اینترنت اشیا متمرکز شده‌اند و به مسئله‌ی مصرف انرژی در گره‌های اینترنت اشیا توجه نکرده‌اند. مرجع [۸] تنها تأثیر تغییر اندازه‌ی بسته‌ها را در خرابی بسته‌ها بررسی کرده و مراجع [۹-۷] تأثیر اندازه‌ی بسته‌ها در مصرف انرژی گره‌های اینتزنت اشیا را بررسی کرده‌اند. از این رو، یک

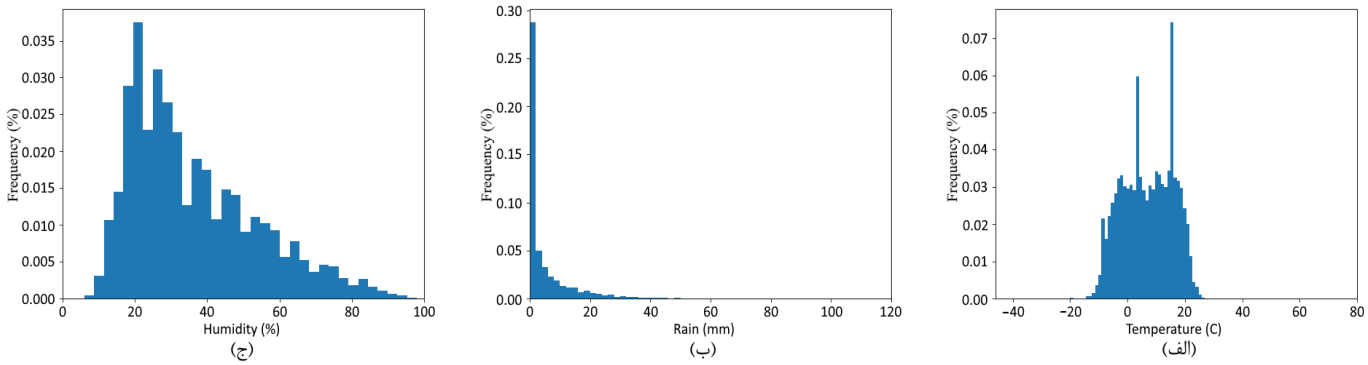
جدول ۱: مقایسه‌ی پژوهش‌های پیشین

	اندازه‌ی بسته	مصرف انرژی	اینترنت اشیاء	شبکه‌ی نرم افزار-محور
[۳]			✓	✓
[۴]			✓	✓
[۵]			✓	✓
[۶]			✓	✓
[۷]	✓	✓	✓	
[۹]	✓	✓	✓	
[۸]	✓			
روش پیشنهادی	✓	✓	✓	✓

دسته از پژوهش‌ها تنها به مسئله مصرف انرژی پرداخته‌اند و دسته‌ی دیگر، شبکه‌ی نرم‌افزار-محور را در اینترنت اشیا مورد بررسی قرار داده‌اند. مصرف انرژی در اینترنت اشیا نقطه‌ای گلوگاهی محسوب می‌شود و نیاز است به صورت کلی و در سطح بالا به آن پرداخته شود، در حالی که پژوهش‌های موجود مصرف انرژی در کل شبکه را مورد بررسی قرار نداده‌اند و توجه خود را تنها به یک گره معطوف کرده‌اند. در این پژوهش، با توجه به اهمیت مصرف انرژی در اینترنت اشیا و با در نظر گرفتن ویژگی‌های اینترنت اشیا، روشی ارائه می‌دهیم که با کوچکتر کردن اندازه‌ی بسته‌ها و کاهش حجم داده‌های رد و بدل شده در طول شبکه، مصرف *انرژی* را کاهش می‌دهد. در ادامه، با استفاده از ویژگی‌های شبکه‌ی نرم‌افزار-محور، روش ارائه شده را بهبود می‌بخشیم. به طوری که به صورت بی‌درنگ پیکربندی شبکه را متناسب با روشی که ارائه داده‌ایم تغییر می‌دهد. که نتیجه‌ی این تغییر پیکربندی به صورت بی‌درنگ کارایی روش ارائه شده افزایش پیدا می‌کند.

۴- روش پیشنهادی

ما در این پژوهش تلاش می‌کنیم که نه تنها مصرف انرژی را در سطح یک گره مورد بررسی قرار دهیم بلکه با استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور کل شبکه‌ها را رصد کرده و به صورت پویا مصرف انرژی گره‌ها را کنترل کنیم. در نهایت روشی ارائه می‌دهیم که می‌تواند مصرف انرژی کلی شبکه را کاهش و عمر گره‌ها را افزایش دهد. با بررسی داده‌های رد و بدل شده در اینترنت اشیا مشاهده می‌شود که این داده‌ها بازه‌ی محدودی داشته و تغییرات در آن‌ها کم است. به طور مثال، شکل ۵ (الف) نشان‌دهنده‌ی فراوانی داده‌های ارسال شده از طرف یک گره اینترنت اشیا است که وظیفه‌ی سنجش دما و ارسال آن را بر عهده دارد. این گره می‌تواند دمای بین ۴۰- تا ۸۰ درجه را سنجش کرده و ارسال کند. این شکل نشان می‌دهد که صددرصد دماهای سنجش شده در بازه‌ی ۲۰- تا ۲۷ درجه قرار دارند و بیش از ۹۰ درصد داده‌ها نیز در بازه‌ی ۱۱- تا ۲۴ درجه قرار دارند. همچنین شکل ۵ (ب) نتایج حاصل از سنجش میزان بارش باران که توسط یک حس‌گر



شکل ۵: فراوانی داده‌های الف) دما ب) میزان بارش ج) رطوبت

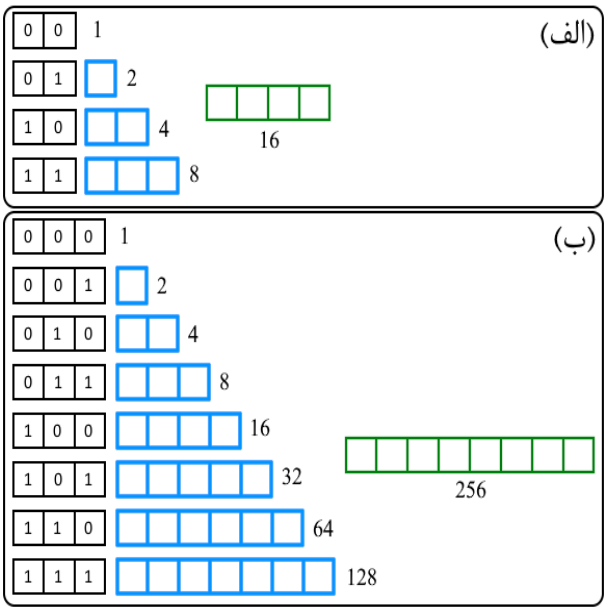
اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد. داده‌های اندازه‌گیری شده بین ۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر می‌توانند قرار گیرند. مطابق با شکل مشاهده می‌شود که حدود ۲۹ درصد داده‌ها تنها صفر میلی‌متر را نشان می‌دهند و ۹۰ درصد داده‌ها بین ۰ تا ۲۰ میلی‌متر قرار دارند. در شکل ۵ (ج) نیز داده‌های اندازه‌گیری شده توسط حس‌گر رطوبت نشان داده شده‌است. میزان رطوبت می‌تواند بین ۰ تا ۱۰۰ درصد متغیر باشد. شکل ۵ (ج) نشان می‌دهد که حدود ۶۰ درصد داده‌ها بین ۱۵ تا ۴۰ درصد قرار دارند و بیش از ۸۸ درصد داده‌ها بین بازه‌ی ۱۰ تا ۶۰ درصد قرار دارند.

با توجه به توضیحات فوق، مشاهده می‌شود که فراوانی داده‌ها از منظر محدوده‌ی داده‌ها در اینترنت اشیا به خصوص در حسگرهای بی‌سیم یکنواخت نبوده و قسمت بزرگی از داده‌ها در بازه‌ی بسیار کوچک و به خصوصی قرار دارند. از این رو، در این پژوهش روشی ارائه می‌دهیم که داده‌های پرتکرار را از داده‌های کمتر ارسال شده تفکیک می‌کند و با استفاده از روشی که در بخش ۱-۴ برای کدگذاری داده‌ها توضیح داده خواهد شد، داده‌های پر تکرار را به نحوی کد می‌کنیم که در قالب بسته‌های کوچکتری ارسال شوند. این کار سبب می‌شود که تعداد بسته‌ها، حجم بسته‌ها، ترافیک شبکه و در نتیجه انرژی مصرف شده به طور قابل توجهی کاهش پیدا کند.

روش پیشنهادی ما غیر از کدگذاری توضیح داده شده در بخش ۴-۱ بر روی کدگذاری‌های دیگر نیز قابل پیاده‌سازی است. در واقع در این مقاله تلاش کرده‌ایم مشکلات مربوط به کدگذاری داده‌ها را در گره‌های اینترنت اشیا برطرف کنیم زیرا که گره‌های اینترنت اشیا به دلیل محدودیت منابعی که در اختیار دارند مانند محدودت قدرت پردازشی و محدودیت حافظه، نمی‌توان از کدگذاری داده‌ها پشتیبانی کنند. که این مورد موجب افزایش حجم داده‌های ارسالی توسط گره‌های اینترنت اشیا و در نتیجه افزایش مصرف انرژی می‌شود. بنابراین ما روشی پیشنهاد داده ایم که با حذف یا انتقال قسمت زیادی از سربار کدگذاری به یک سیستم بالادستی مانند کنترل‌کننده‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور، امکان پیاده‌سازی کدگذاری‌های مختلف را در اینترنت اشیا فراهم کرده است.

۴-۱- کدگذاری پیشنهادی برای داده‌های ارسالی

در روش پیشنهادی، یک روش کدگذاری معرفی می‌شود که در آن تعداد بیت‌های تخصیص داده شده برای نمایش داده‌ها متناسب با فراوانی داده‌های ارسال شده متفاوت است. در نتیجه، داده‌هایی که فراوانی بیشتر دارند با تعداد بیت‌های کمتری نشان داده می‌شوند و داده‌هایی که فراوانی کمتری دارند، با تعداد بیت‌های بیشتری



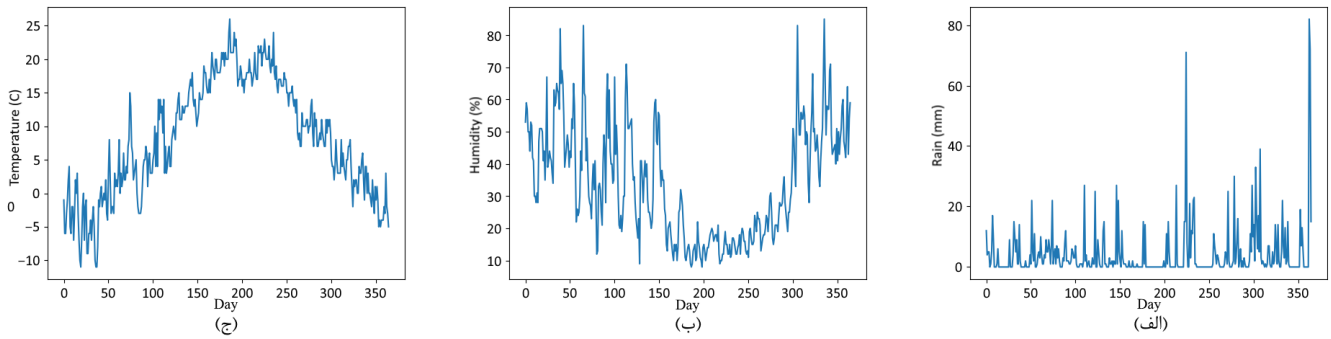
شکل ۶: نحوه‌ی تخصیص بیت‌ها به داده‌ها: الف) با دو بیت ابتدایی ب) با سه بیت ابتدایی

نشان داده می‌شوند.

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تعداد بیت‌های تخصیص داده شده به داده‌ها، با بیت‌های ابتدایی مشخص می‌شود و اندازه‌ی بیت‌های ابتدایی با توجه با محدوده‌ی داده‌هایی که باید ارسال شوند تعیین می‌شود. تعداد این بیت‌ها به کمک رابطه‌ی ۱ قابل استنتاج است.

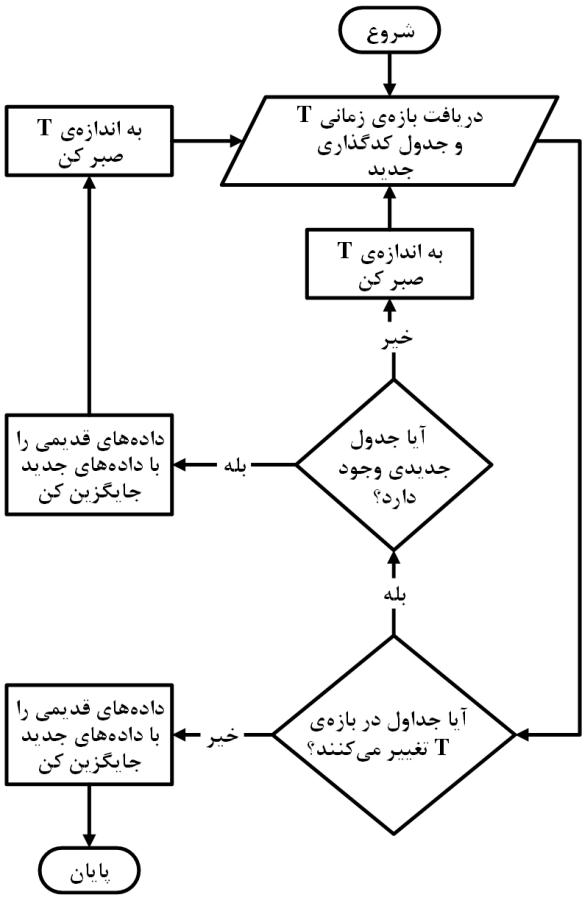
$$n = \lceil log_2 b \rceil \qquad (۱)$$

که در آن n نشان دهنده‌ی اندازه‌ی بیت‌های ابتدایی است و b حداکثر تعداد بیت‌های داده‌هایی که ارسال می‌شوند را نشان می‌دهد که با توجه به محدوده‌ی داده‌هایی که باید ارسال شوند مشخص می‌شود. مثلا برای نشان دادن ۱۶ حالت به ۴ بیت و ۲۵۶ حالت به ۸ بیت احتیاج داریم. در شکل ۶ (الف) و (ب) به ترتیب به بررسی داده‌های ابتدایی با اندازه‌ی دو بیت و سه بیت پرداخته‌ایم. با توجه به شکل ۶ (الف) اگر دو بیت به داده‌های ابتدایی تخصیص داده شود، داده‌های ارسالی در کل دو بیتی (۰+۲) تا پنج بیتی (۳+۲) می‌توانند باشند، یعنی اگر دو بیت ابتدایی ۰۰ باشد تنها یک حالت را می‌تواند نشان دهد که در روش پیشنهادی ما پرتکرارترین حالت را با ۰۰ نشان می‌دهیم. اگر دو بیت ابتدایی ۰۱ باشد دو حالت ۰۱۰ و ۰۱۱ قابل استنتاج است که تفاوت در بیت انتهایی می‌باشد. دومین و سومین پرتکرارترین حالات را با ۰۱۰ و ۰۱۱ نشان می‌دهیم. به همین ترتیب اگر دو بیت ابتدایی ۱۰ باشد ۴ حالت و اگر ۱۱ باشد ۸ حالت قابل نشان



شکل ۷: تغییرات الف) بارش ب) رطوبت و ج) دما در طول ۳۶۵ روز

دادن است که در نهایت ۱۵ حالت را می‌توان نشان داد. مطابق شکل ۶ (ب) برای کدگذاری داده‌های حداکثر ۸ بیتی مطابق رابطه ۱ به ۳ بیت ابتدایی نیاز داریم که ۸ حالت از ۰۰۰ تا ۱۱۱ را می‌توان نشان داد. بنابراین با ۰۰۰ پرتکرارترین حالت را نشان می‌دهیم و به همین ترتیب با ۰۰۱۰ و ۰۰۱۱ دومین و سومین پرتکرارترین حالات را نشان می‌دهیم و در نهایت با بیت‌های ابتدایی ۱۱۱، ۱۲۸ حالتی که کمتر تکرار می‌شوند را نشان می‌دهیم که این حالات ۱۰ بیتی هستند. بنابراین پرتکرارترین حالت را با ۳ بیت و دومین و سومن حالت پرتکرار را با ۴ بیت نشان می‌دهیم و با ادامه‌ی همین روند ۱۲۸ حالتی را که کمتر تکرار می‌شوند را با ۱۰ بیت نشان می‌دهیم.

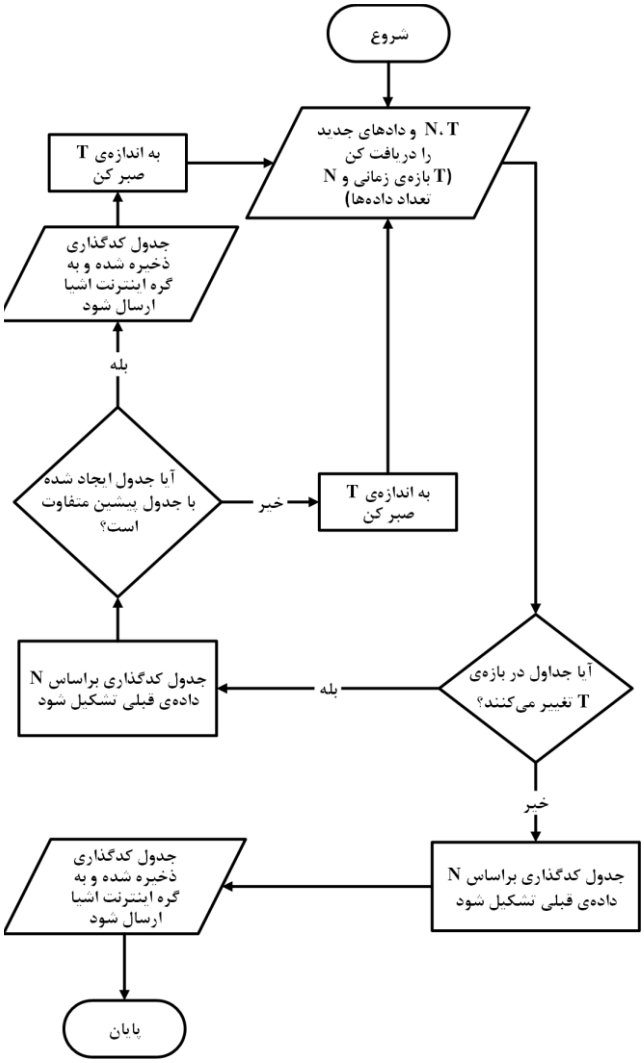


شکل ۸: فلوچارت نحوه‌ی عملکرد گره اینترنت اشیا

۴-۲- استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور

در اینترنت اشیا فراوانی داده‌های ارسالی بر حسب زمان و متناسب با شرایط محیطی تغییر می‌کند و این مورد سبب می‌شود که از کارایی روش پیشنهادی ما در طول زمان کاسته شود. به طور مثال، در شکل ۷ که نشان‌دهنده‌ی تغییرات دما، رطوبت و بارش باران در طول ۳۶۵ روز است، مشاهده می‌شود دما از ۱۰- تا ۲۵ درجه، رطوبت از ۱۰ تا ۸۰ درصد و میزان بارش از ۰ تا ۸۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. این مشاهدات سبب می‌شود که روش پیشنهاد شده در قسمت ۱-۴ به مرور زمان کارایی خود را از دست بدهد. چون در روش پیشنهادی، به داده‌هایی که تکرار بیشتری دارند طول بیتی کمتر و به داده‌هایی که فراوانی کمتری دارند طول بیتی بیشتری اختصاص داده می‌شود. این در حالی است که تغییرات فراوانی داده‌ها سبب می‌شود داده‌هایی که در حال حاضر بیشترین فراوانی را دارند در آینده فراوانی کمتری داشته باشند و داده‌هایی که فراوانی کمتری دارند در آینده فراوانی بیشتری داشته باشند. در نتیجه بیشتر داده‌ها با طول بیتی بزرگ ارسال می‌شوند که این مورد موجب می‌شوند که نه تنها طول داده‌های ارسال شده و در نتیجه مصرف انرژی کاهش نیابد بلکه در مواردی نیز طول داده‌ها و مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

برای حل مشکل تغییر فراوانی داده‌ها در طول زمان باید تخصیص بیت‌ها به داده‌ها را به صورت پویا انجام داده و برای این منظور گره‌ها باید اطلاعاتی را که سنجش و ارسال می‌کنند، ذخیره کرده و بر این داده‌ها پردازش انجام دهند که این مورد موجب افزایش هزینه‌ی ساخت گره‌ها و افزایش مصرف انرژی می‌شود. از این رو، برای حل این مشکل از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور استفاده کردیم که نه تنها بار پردازشی مورد نیاز برای تحلیل داده‌ها را از گره‌ها به



شکل ۹: فلوچارت نحوه‌ی عملکرد کنترل‌کننده‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور

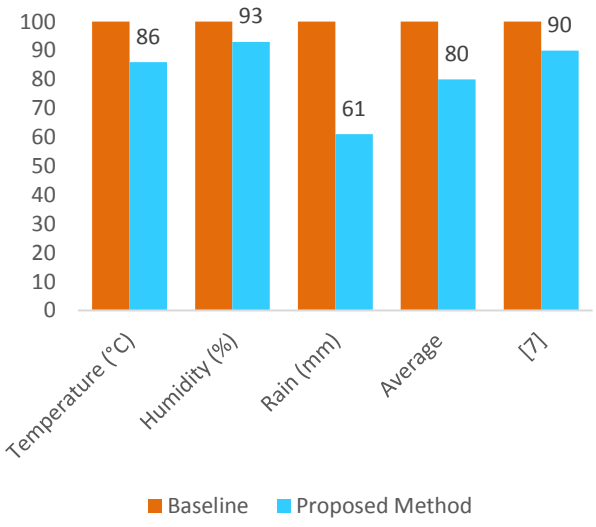
کنترل‌کننده انتقال می‌دهد بلکه می‌تواند کل شبکه را رصد کرده و متناسب با شرایط محیطی حاکم تصمیم‌گیری کند. در این روش، شبکه‌ی نرم‌افزار-محور داده‌های رد و بدل شده در طول شبکه را رصد می‌کند و هرگاه تغییرات زیاد و پایدار را تشخیص دهد جداول را بروزرسانی می‌کند و این تغییرات را با ارسال پیام‌هایی به گره‌ها خبر می‌دهد. گره‌ها نیز جداول خود را با دریافت پیام از سمت شبکه به‌روز می‌کنند. در نتیجه نه تنها کارایی روش پیشنهادی در قسمت قبل در طول زمان و با تغییر فراوانی داده‌ها حفظ می‌شود، بلکه به یک دید کلی از شرایط شبکه می‌رسیم و دیگر نیاز نیست تنظیمات گره‌ها را تک به تک تغییر دهیم. بلکه شبکه‌ی نرم‌افزار-محور می‌تواند گره‌ها را کنترل کرده و در صورت نیاز تغییرات را به آنها ابلاغ کند. به طور مثال کنترل‌کننده می‌تواند گره‌ها را در زمان‌های خاصی خاموش کند یا زمان ازسال اطلاعات توسط گره‌ها را تغییر دهد. همچنین این دید کلی باعث می‌شود که شبکه‌ی نرم‌افزار-محور بتواند گره‌ها را از نظر نوع داده‌هایی که تولید می‌کنند تقسیم‌بندی کرده و متناسب با هر گروه برای آنها جداول جداگانه‌ای تشکیل بدهد. کنترل‌کننده‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور داده‌های دریافتی از گره‌های اینترنت اشیا را رصد می‌کند. کنترل‌کننده زمانی کدگذاری را تغییر می‌دهد که شرایط محیطی به اندازه‌ی قابل توجه‌ی تغییر کرده باشد. فلوچارت‌های نحوه‌ی کارکرد گره اینترنت اشیا و کنترل‌کننده‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور به ترتیب در شکل ۸ و شکل ۹ آورده شده‌اند. مطابق با شکل ۸، گره اینترنت اشیا در بازه‌های زمانی مشخصی دریافت‌شدن کدگذاری جدید را از کنترل‌کننده بررسی می‌کند. در شکل ۹ نیز کنترل‌کننده‌ی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در بازه‌ی زمانی خاصی کدگذاری را تغییر می‌دهد. اگر این کدگذاری با کدگذاری پیشین متفاوت باشد، آن را برای گره اینترنت اشیا ارسال می‌کند. بروزرسانی جداول کدگذاری با توجه به محدودیت‌هایی که گره‌های اینترنت اشیا دارند می‌تواند به صورت متناوب صورت بپذیرد. به عبارت دیگر کدگذاری داده‌هایی با فراوانی بیشتر سریعتر بروزرسانی شوند.

۵- شبیه‌سازی و نتایج

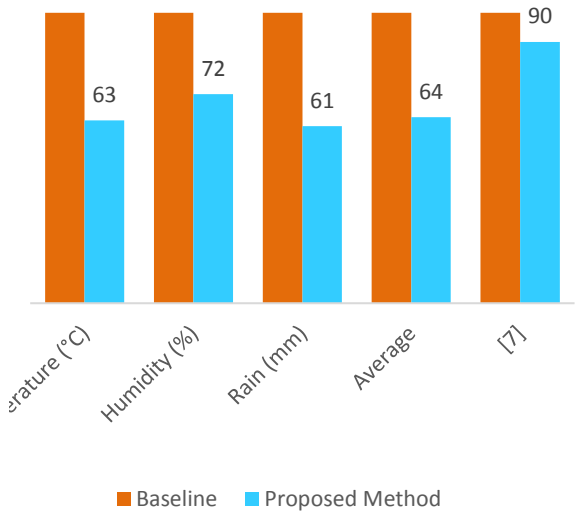
در این بخش به بررسی شرایط و فرضیات شبیه‌سازی و نتایج شبیه‌سازی در شرایط مختلف می‌پردازیم. همچنین نتایج بدست‌آمده را با نتایج مقاله‌ی [۷] مقایسه می‌کنیم تا میزان کاهش مصرف انرژی حاصل شده توسط روش پیشنهادی را مورد ارزیابی قرار دهیم.

۵-۱- فرضیات شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی هدف سنجش میزان مصرف انرژی ماژول فرستنده در حالتی که از روش پیشنهادی استفاده می‌شود نسبت به حالتی که از روش پیشنهادی استفاده نمی‌شود، است. میزان



شکل ۱۰: مصرف انرژی بدون شبکه‌ی نرم‌افزار-محور



شکل ۱۱ مصرف انرژی با استفاده ار شبکه‌ی نرم‌افزار-محور

مصرف انرژی ماژول فرستنده متناسب است با مدت زمانی که برای ارسال داده‌ها به حالت فعال در می‌آید. در حالت کلی، مدت زمان فعال بودن ماژول فرستنده به حجم داده‌هایی که باید ارسال شوند، بستگی دارد. هرچند شرایط محیطی و نحوه‌ی پیکربندی گره‌ها بر سرعت ارسال تاثیر می‌گذارد ولی این شرایط بر روی تمامی موارد آزمایشی تاثیر یکسانی می‌گذارد. بنابراین مانند ضریبی که هم در صورت و هم در مخرج می‌آید بی‌تاثیر است. از این رو، در این مقاله روشی برای کاهش حجم داده‌های ارسالی ارائه داده‌ایم تا بتوانیم میزان انرژی مصرفی برای ارسال داده‌ها را کاهش دهیم. تعداد بسته‌های که به سبب روش پیشنهادی دریافت می‌شوند بسیار ناچیز است. همچنین میزان انرژی مورد نیاز برای دریافت بسته‌ها بسیار کمتر از انرژی لازم برای ارسال بسته‌ها است. بنابراین از انرژی که برای دریافت بسته‌ها مصرف می‌شود، صرف‌نظر شده‌است. هرچند روش ارائه‌شده در این مقاله تنها انرژی مصرفی توسط بخش ارتباطات گره‌های اینترنت اشیا را درنظر گرفته است، روش پیشنهادی انرژی مصرف شده توسط پردازنده و حافظه را نیز با انتقال سرباری به سیستم‌های بالا دستی کاهش می‌دهد.

۵-۲- نتایج شبیه‌سازی

برای شبیه‌سازی روش ارائه شده در بخش ۴، الگوریتم پیشنهادی را با زبان پایتون توسعه دادیم که می‌تواند با درنظر گرفتن پارامترهای بسته‌های *LoRa*، بسته‌هایی را تولید کرده و ارسال آنها را شبیه‌سازی کند. همچنین نتایجی که از طریق شبیه‌سازی بدست آمده‌اند را با نتایج پژوهش [۷] که با توجه به شرایط درنظر گرفته شده در این پژوهش محاسبه شده است، مقایسه کرده‌ایم. در [۷] میزان مصرف انرژی از طریق کاهش حجم داده‌های موجود در سرایند بسته‌ها به کمک کدگذاری داده‌ها کاهش پیدا کرده است. چون این مقاله به روش پیشنهادی ما نزدیک است، نتایج بدست آمده در بخش شبیه‌سازی را با آن مقایسه کرده‌ایم. برای محاسبه‌ی میزان کاهش مصرف انرژی در روش [۷] بهترین حالت در نظر گرفته شده‌است. میانگین میزان کاهش مصرف انرژی که به واسطه‌ی پژوهش [۷] بدست آمده به مراتب پایین‌تر از میزان گزارش داده‌شده در آن پژوهش است. مطابق با شکل ۸ و شکل ۹ میزان کاهش مصرف انرژی با استفاده از روش مرجع [۷] حداکثر ۱۰ درصد است.

برای تولید بسته‌ها نیاز است که این شبیه‌ساز را با داده‌های اینترنت اشیا تغذیه کنیم که این داده‌ها را با سنجش به وسیله‌ی حسگرها بدست آورده و ارسال سه نوع داده را شبیه‌سازی کردیم که شامل داده‌های دما، رطوبت و میزان بارش است. با اجرا کردن این شبیه‌ساز و تغذیه‌ی آن به وسیله‌ی داده‌های اندازه‌گیری شده، شکل ۱۰ بدست آمده است. مطابق با شکل ۱۰، با اعمال روش پیشنهادی بر روی داده‌های دما، رطوبت و میزان بارش به ترتیب به ۱۴، ۷ و ۳۹ درصد کاهش مصرف انرژی نسبت به حالت مرجع رسیدیم. مقدار این کاهش در داده‌های میزان بارش بیشتر از دو نمونه‌ی دیگر است که دلیل آن تغییرات کم داده‌های اندازه‌گیری‌شده می‌باشد. دلیل کاهش کمتر مصرف انرژی در داده‌های مربوط به میزان رطوبت نیز تغییرات بسیار زیاد میزان رطوبت در طول زمان است. برای حل مشکل کارایی کمتر روش پیشنهادی مطابق با آنچه در قسمت ۲-۴ توضیح داده شد، شبکه‌ی نرم‌افزار-محور را به شبیه‌ساز اضافه کردیم که نتایج حاصله مطابق با شکل ۱۱ استخراج شد. شبکه‌ی نرم‌افزار-محور با تشخیص تغییر فراوانی داده‌ها جداول را با توجه به شرایط جدید از نو تشکیل می‌دهد. مطابق با آنچه در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، میزان کاهش مصرف انرژی برای دما، رطوبت و میزان بارش به ترتیب ۳۷، ۲۸ و۴۳ درصد است. میزان بهبود عملکرد روش پیشنهادی در این حالت نسبت به حالت بدون شبکه‌ی نرم‌افزار-محور برای دما رطوبت و میزان بارش به ترتیب ۲۳، ۲۱ و ۴ درصد است. این نتایج نشان‌دهنده‌ی بهبود چشمگیری در کاهش مصرف انرژی برای دما و رطوبت است. از طرفی دلیل تأثیر کم شبکه‌ی نرم‌افزار-محور بر روی داده‌های میزان بارش این است که به دلیل تغییرات کم این نوع داده، میزان کاهش مصرف آن در حالت بدون شبکه‌ی نرم‌افزار-محور نیز به بهترین حالت بسیار نزدیک بود و شبکه‌ی نرم‌افزار-محور بیش از این نمی‌توانست نتایج را بهبود بخشد. در حالت کلی، بدون استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور مصرف انرژی به طور میانگین ۲۰ درصد و بدون شبکه‌ی نرم‌افزار-

محور به طور میانگین ۳۶ درصد کاهش یافته است که حاکی از تأثیر مثبت ۱۶ درصدی شبکه‌ی نرم‌افزار-محور در مصرف انرژی است. مطابق با شکل ۱۰ و شکل ۱۱ میانگین کاهش میزان مصرف انرژی با استفاده از شبکه‌ی نزم‌افزار-محور و نیز بدون استفاده از شبکه‌ی نرم‌افزار-محور از روش ارائه شده در [۷] بهتر است. همچنین روش پیشنهادی با راهکار پیشنهاد شده در [۷] قابل ادغام است. بنابراین می‌توان از هر دو روش به صورت همزمان استفاده کرد.

۶- نتیجه‌گیری

مصرف انرژی برای اینترنت اشیا به علت وجود باتری نقطه‌ی گلوگاهی محسوب می‌شود. در این پژوهش با در نظر گرفتن ویژگی‌های اینترنت اشیا روشی را برای کاهش مصرف انرژی ارائه دادیم که موجب کاهش مصرف انرژی در اینترنت اشیا شد و این روش را به کمک شبکه‌ی نرم‌افزار-محور بهبود بخشیدیم. استفاده از این روش نه تنها مصرف انرژی را کاهش می‌دهد بلکه سبب کاهش ترافیک کلی شبکه نیز می‌شود و به اپراتورها این اجازه را می‌دهد که از تعداد گره‌های بیشتری پشتیبانی کنند. در نتیجه، استفاده از این روش نه تنها برای کابران مفید بوده بلکه برای اپراتورها نیز مفید است و موجب کاهش هزینه‌های آنها و نیز افزایش درآمدشان می‌شود.

مراجع

[1] Li, Shancang, Li Da Xu, and Shanshan Zhao. "5G Internet of Things: A survey." pp. 1-9, Journal of Industrial Information Integration 10 2018.

[2] Mahdavinejad, Mohammad Saeid, et al. "Machine learning for Internet of Things data analysis: A survey." Digital Communications and Networks 4.3, 161-175, 2018.

[3] Theodorou, Tryfon, and Lefteris Mamatas. "CORAL-SDN: A software-defined networking solution for the Internet of Things." IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). IEEE, pp. 1-2, 2017.

[4] Violettas, George, et al. "Demo abstract: An experimentation facility enabling flexible network control for the Internet of Things."IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). IEEE, pp. 2-4, 2017.

[5] Theodorou, Tryfon, and Lefteris Mamatas. "Software defined topology control strategies for the internet of things."IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). IEEE, pp. 236-241, 2017.

[6] Qin, Zhijing, et al. "A software defined networking architecture for the internet-of-things."IEEE network operations and management symposium (NOMS). IEEE, 2014: 1-9.

[7] Prieto, M. Domingo, et al. "Balancing power consumption in IoT devices by using variable packet size."Eighth International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems. IEEE, pp. 170-176, 2014.

[8] Korhonen, Jari, and Ye Wang. "Effect of packet size on loss rate and delay in wireless links." IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2005. Vol. 3. IEEE, pp. 1608-1613, 2005.

[9] Kurt, Sinan, et al. "Packet size optimization in wireless sensor networks for smart grid applications." IEEE Transactions on Industrial Electronics 64.3, 2392-240, 2016.

[10] Al-Fuqaha, Ala, et al. "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications." IEEE communications surveys & tutorials 17.4, pp. 2347-2376, (2015).

[11] Gantz, John, and David Reinsel. "The digital universe in 2020: Big data, bigger digital shadows, and biggest growth in the far east." IDC iView: IDC Analyze the future 1-16, 2012.

[12] Evans, Dave. "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything." CISCO white paper, pp. 1-11, 2011.

[13] Taylor, Stuart. "The next generation of the Internet revolutionizing the way we work, live, play, and learn." CISCO, San Francisco, CA, USA, CISCO Point of View, 12, pp. 6, 2013.

[14] Manyika, James, et al. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. Vol. 180. San Francisco, CA: McKinsey Global Institute, 2013.

[15] D. Floyer, "Defining and sizing the industrial Internet," *Wikibon, Marlborough, MA, USA*, 2013.

[16] Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. "The internet of things: A survey." Computer networks 54.15, pp. 2787-2805, 2010.

[17] Khan, Rafiullah, et al. "Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges."10th international conference on frontiers of information technology. IEEE, pp. 257-26, 2012.

[18] Yang, Zhihong, et al. "Study and application on the architecture and key technologies for IOT."International Conference on Multimedia Technology. IEEE, pp. 747-751, 2011.

[19] Wu, Miao, et al. "Research on the architecture of Internet of Things." 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE). Vol. 5. IEEE, pp. 484-487, 2010.

[20] Tan, Lu, and Neng Wang. "Future internet: The internet of things." 3rd international conference on advanced computer theory and engineering (ICACTE). Vol. 5. IEEE, pp. 376-380, 2010.

[21] Chaqfeh, Moumena A., and Nader Mohamed. "Challenges in middleware solutions for the internet of things." international conference on collaboration technologies and systems (CTS). IEEE, pp. 21-26, 2012.

[22] Kreutz, Diego, et al. "Software-defined networking: A comprehensive survey." Proceedings of the IEEE 103.1, pp. 14-76, 2014.

[23] Bizanis, Nikos, and Fernando A. Kuipers. "SDN and virtualization solutions for the Internet of Things: A survey." IEEE Access 4, pp. 5591-5606, 2016.

[24] Bera, Samaresh, Sudip Misra, and Athanasios V. Vasilakos. "Software-defined networking for internet of things: A survey."

IEEE Internet of Things Journal 4.6, pp. 1994-2008, 2017.

[25] de Carvalho Silva, Jonathan, et al. "LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities." 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech). IEEE, pp. 1-6, 2017.

[26] Mikhaylov, Konstantin, Juha Petäjäjärvi, and Janne Janhunen. "On LoRaWAN scalability: Empirical evaluation of susceptibility to inter-network interference." 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). IEEE, pp. 1-6, 2017.

[27] Bankov, Dmitry, Evgeny Khorov, and Andrey Lyakhov. "On the limits of LoRaWAN channel access." 2016 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT). IEEE, pp. 10-14, 2016.

[28] Van den Abeele, Floris, et al. "Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3." IEEE Internet of Things Journal 4.6, pp. 2186-2198, 2017.

[29] Alliance, LoRa. "LoRaWAN™ 1.1 Specification." LoRa Alliance 11, 2017.

پاورقی‌ها:

[1] Software-Defined Networking (SDN)
[2] Long Range WAN
[3] Machine to Machine (M2M)
[4] Return on Investment (ROI)
[5] SOA (Service-Oriented Architecture) Based
[6] Middle-Ware Based
[7] Objects
[8] Perception Layer
[9] Plug-and-Play
[10] Big Data
[11] Object Abstraction Layer
[12] Universal Mobile Telecommunications System
[13] Radio-Frequency Identification
[14] Service Management Layer
[15] Middleware Layer
[16] Application Layer
[17] Business Layer
[18] Control Plane
[19] Data Plane
[20] Low-Power Wide-Area Network
[21] Uplink
[22] Downlink