

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

چکیده

اینترنت اشیا چندرسانه‌ای^۱ توسعه‌ای برای اینترنت اشیا است که هدف آن ارائه جریان‌های چندرسانه‌ای به‌عنوان بخشی از تحقق اینترنت اشیا است. در اینترنت اشیا چندرسانه‌ای دستگاه‌های چندرسانه‌ای ناهمگن کم‌مصرف با منابع محدود می‌توانند با یکدیگر تعامل داشته باشند. حجم بالای داده، تعداد بسیار زیاد وسایل و اشیا متصل به اینترنت و نیازهای روبه‌رشد و در حال تحول کاربران باعث افزایش سریع ترافیک اینترنت شده که به‌نوبه خود چالش‌هایی مانند اضافه‌بار سرورها و کاهش کیفیت سرویس^۲ (QoS) را به دنبال دارد.

شبکه مبتنی بر نرم افزار^۳ (SDN) قابلیت برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیری را در شبکه IoT ارائه می‌دهد. با این وجود، پذیرش تعداد ابزارها تاخیر انتقال را افزایش می‌دهد و این شبکه را به بارگذاری سنگین سوق می‌دهد. برای غلبه بر این مسئله، یک تکنیک متعادل کننده بار کارآمد باید در شبکه SDN ارائه شود. با در نظر گرفتن این راه حل به عنوان یک هدف، الگوریتم بهینه سازی میمون عنکبوتی مبتنی بر تعادل بار^۴ (LB-SMOA) در این مقاله ارائه شده است. با استفاده از این تکنیک، کنترل کننده با حداقل بار انتخاب می‌شود و این کنترل کننده انتخاب شده، بار کنترل کننده با بار سنگین را متعادل می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عملکرد LB-SMOA پیشنهادی از تکنیک‌های متعادل کننده بار موجود از نظر میانگین زمان پاسخ، نرخ تلفات بسته و توان عملیاتی بهتر عمل می‌کند.

¹Internet of Multimedia Things(IoMT)

²Quality of Service (QoS)

³Software-Defined Network

⁴Spider monkey optimization algorithm based load balancing

فهرست مطالب

۳	۱ مقدمه
۴	۲ اینترنت اشیا (IOT): تعریف و معماری
۴	۱.۲ تعریف IOT
۴	۲.۲ معماری IOT
۶	۳.۲ پروتکل های IoT
۶	۳ WSN در محیط IOT
۶	۱.۳ تکنولوژی WSN
۹	۴ بیان مشکل و راه حل
۹	۱.۴ بیان کلیات
۱۰	۲.۴ مدل سیستم
۱۳	۳.۴ توضیحات تکمیلی
۱۴	۴.۴ تخمین بارکنترلر
۱۵	۵.۴ الگوریتم بهینه سازی Spider Monkey مبتنی بر تعادل بار
۱۸	۵ شبیه سازی
۱۹	۱.۵ عملکرد بر اساس تعداد متغیر کاربران
۲۱	۲.۵ عملکرد بر اساس زمان شبیه سازی
۲۴	۶ نتیجه گیری

در آینده، میلیاردها ابزار با اینترنت مرتبط خواهند شد. این برنامه‌ها به شما اجازه می‌دهند که از راه دور اشیایی را که اطلاعات را از محیطی که در آن مستقر هستند جمع‌آوری می‌کنند، نظارت، مدیریت و کنترل کنید و آن‌ها را در زمان واقعی به شبکه مرکز داده ارسال کنید. در بیشتر موارد، ابزارهای فیزیکی مجهز به برچسب‌های RFID، محرک‌ها، حسگرهای راه دور و همچنین ابزارهای ارتباطی از راه دور با اینترنت در ارتباط هستند تا اینترنت اشیا را شکل دهند. این ابزارها به صراحت در تنظیمات برنامه منتقل می‌شوند تا در ایجاد یک موقعیت هوشمند از سیستم‌های سلولی به مکاتبات ماشین به ماشین^۱ (M2M)، از سیستم‌های خودرو تا سیستم‌های حسگر از راه دور، و در چارچوب‌های تعبیه شده و غیره مشارکت کنند. دستگاه‌های IoT معمولاً سنسورهای بی‌سیم، تلفن‌های هوشمند، RFID، خانه‌های هوشمند هستند که از طریق ماژول اتصال متصل شونده در یک محیط هوشمند به اینترنت متصل می‌شوند. این دستگاه‌ها برای جمع‌آوری اطلاعات از محیط فیزیکی استفاده می‌شوند و آن را برای پردازش بیشتر به لبه شبکه می‌فرستند.

دروازه‌های اینترنت اشیا مهم‌ترین بخش اینترنت اشیا هستند و معمولاً از دروازه‌های کوچکی تشکیل می‌شوند که می‌توانند حسگرهای راه دور پراکنده را به هم متصل کرده و از طریق سیستم‌های حسگر بی‌سیم^۲ (WSN) به هم متصل شوند و به عنوان دروازه اینترنتی برای ابزارهای متصل به هم عمل کنند. SDN لازم است یک عامل توانمندسازی کلیدی برای شبکه‌های نسل آینده، مانند 5G باشد، که باید هر دو مزیت اینترنت اشیا را با خدمات متداول مبتنی بر انسان هماهنگ کند. کنترل کننده SDN صفحات داده و صفحات کنترل را در سیستم جدا می‌کند. به همین ترتیب، SDN مزایای برنامه‌ریزی، مکانیزه کردن و کنترل سیستم را ارائه می‌دهد و به مدیر این امکان را می‌دهد تا سیستم‌های بسیار سازگار و قابل برنامه‌ریزی را بسازد که به سرعت با شرایط متغیر سیستم سازگار شوند. OpenFlow برای ارتباط صفحه کنترل و داده ساخته شده است. اکثر مسیرهای شبکه توسط کنترل کننده در مدل کنترل متمرکز انتخاب می‌شوند، بنابراین بسته اولیه در هر جریان داده به کنترل کننده ارسال می‌شود. در آن نقطه، کنترل کننده مسیر مسیریابی را برای هر جریان داده پردازش می‌کند و جدول جریان را روی سوئیچ‌ها تنظیم می‌کند. در اینجا، بسته اصلی هر جریان داده معمولاً درخواست مقداردی اولیه داده است. علاوه بر این، محدودیت رسیدگی به درخواست یک کنترل کننده محدود است. در نتیجه، با افزایش اندازه

¹Machine-to-Machine

²Wireless sensor systems

استقرار، یک کنترل کننده ممکن است باعث اضافه بار یا تراکم کانال کنترل شود. پس، برای کاهش تراکم ترافیک در کنترل کننده، یک تکنیک متعادل سازی بار تولیدی باید معرفی شود.

در ادامه موارد زیر را خواهیم دید:

در بخش دوم: به تعریف اینترنت اشیا و مروری بر معماری آن می پردازیم.

در بخش سوم: در مورد شبکه های حسگر بی سیم در یک محیط اینترنت اشیا صحبت می کنیم.

بخش چهارم: به بیان مشکل و راه حل آن می پردازیم و به صورت کامل روش مورد نظر توضیح داده می شود.

در بخش پنجم: در این بخش عملکرد روش مورد نظر شبیه سازی می شود و ارزیابی ها را خواهیم دید.

در بخش ششم: به نتیجه گیری کلی روش می پردازیم.

۲ اینترنت اشیا (IOT): تعریف و معماری

۱.۲ تعریف IOT

ما در مورد اینترنت اشیا صحبت می کنیم وقتی که تعداد دستگاه ها از تعداد افراد متصل به اینترنت تجاوز می کند، هدف اینترنت اشیا تسهیل زندگی انسان با ساخت یک محیط هوشمند با استفاده از اشیا هوشمند است که توانایی تولید خودکار داده ها از محیطی که در آن مستقر شده اند و انتقال آن داده ها به اینترنت برای تصمیم گیری را دارند.

این دستگاه ها با یک معماری شبکه و یک برنامه پردازش داده جداگانه با توجه به وظیفه خاص در یک منطقه خاص مستقر شده اند، برای مثال استفاده از یک واحد سلامت هوشمند در بدن برای دانستن ضربان قلب، موقعیت بیمار، فشار خون، دما و غیره. مدیریت خانه هوشمند متصل، برای صرفه جویی در انرژی، تحرک را تسهیل می کند، آسایش را از طریق افزایش دسترسی به اجزای داخلی بهبود می بخشد.

۲.۲ معماری IOT

معماری IOT شامل لایه های زیر است:

(۱) لایه درک^۱:

این لایه از اشیا فیزیکی تشکیل شده است که توانایی ثبت مقادیر فیزیکی (گرما، رطوبت، ارتعاش، تابش و غیره) و تبدیل آن ها به مقادیر دیجیتال، پردازش این اطلاعات، ذخیره سازی و انتقال آن از طریق

¹ Perception layer

ماژول انتقال بی‌سیم به یک سینک یا دروازه شبکه را دارند. این لایه شامل سنسورهای بی‌سیم، RFID، تلفن‌های هوشمند، پوشیدنی‌ها، ماشین‌های هوشمند، خانه‌های هوشمند و غیره است.

(۲) لایه شبکه^۲:

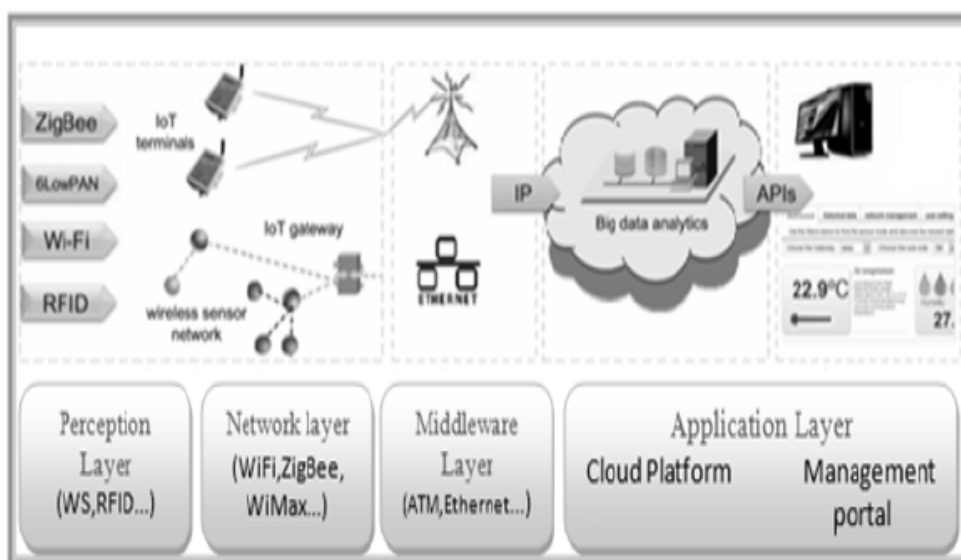
این لایه اطلاعات دیجیتالی جمع‌آوری‌شده از محیط فیزیکی در قالب آنالوگ را به یک سینک یا دروازه شبکه برای پردازش بیشتر بر روی این اطلاعات ارسال می‌کند. در این زمینه، ما تکنولوژی زیادی را در تکامل ثابت مانند: Low Energy Bluetooth [۲]، ZigBee، WiFi، Lorawan و غیره می‌یابیم.

(۲) لایه کاربرد^۳:

این لایه به عنوان یک رابط برای کاربر عمل می‌کند تا به اطلاعات جمع‌آوری‌شده از لایه درک دسترسی داشته باشد تا آن‌ها را با توجه به یک دامنه خاص دستکاری کند و آن‌ها را در یک سیستم پردازش پردازش کند.

(۲) لایه میانه افزار^۴:

چندین دستگاه IoT در یک دامنه با یک دستگاه سازگار ارتباط برقرار می‌کنند، این لایه امکان استخراج اطلاعات ارسالی از تجهیزات سخت‌افزاری مختلف را فراهم می‌کند، تا آن‌ها را به یک اطلاعات سرویس، برای آدرس دهی، نامگذاری خدمات درخواستی، و مدیریت خدمات تبدیل کند.



شکل ۱: معماری اینترنت اشیا.

²Network layer

³Application layer

⁴Middle-ware layer

۳.۲ پروتکل‌های IoT

برای شرکت‌هایی که IoT را آغاز می‌کنند، انتخاب مناسب‌ترین شبکه ارتباطی برای اتصال اشیاء آنها به نت می‌تواند دچار نقص شود.

دو دسته اصلی از شبکه‌ها در بازار وجود دارد:

- شبکه‌های با برد طولانی^۱ مانند WiMax [۱]، LoRa، Sigfox، یا cellular technologies [۳] (GSM، 2G، 3G، 4G...) قادر به انتقال داده‌ها از یک دستگاه به دستگاه دیگر در فواصل طولانی هستند. آنها توسط شرکت‌هایی استفاده می‌شوند که می‌خواهند کیلومترها زیرساخت را به اینترنت یا در پروژه‌های شهرهای هوشمند متصل کنند.

- شبکه‌های کوتاه برد^۲ مانند WiFi [۴]، ZigBee، Z-Wave، یا Bluetooth Low Energy [۲] [۵] به داده‌ها اجازه انتقال در مسافت‌های کوتاه را می‌دهند و به طور گسترده‌ای در اتوماسیون خانگی یا بازار پوشیدنی بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳ WSN در محیط IOT

اینترنت اشیاء را می‌توان به عنوان یک الگو تعریف کرد که در آن اشیاء می‌توانند با یکدیگر به منظور دستیابی به یک هدف معنادار ارتباط برقرار کنند، اکثر آن اشیاء به حسگرها و فعال‌کننده‌ها مجهز خواهند شد، و شبکه حسگر بی‌سیم را به یک عامل حیاتی در توسعه فن‌آوری IOT تبدیل می‌کنند، WSN متشکل از میکرو سنسورها، با توانایی جمع‌آوری و بازپخش اطلاعات محیطی به شیوه‌ای مستقل است. برخلاف راه‌حل‌های سیمی، WSN می‌تواند با انعطاف‌پذیری بهتر و هزینه معقول به کار گرفته شود. میکرو سنسورهای بی‌سیم ارزان، هوشمند و با منابع محدود هستند. با این حقیقت که IOT یک تکنولوژی ارتباطی صریح را به عهده نمی‌گیرد، ادغام آن میکرو سنسورهای بی‌سیم در شبکه‌های IOT یک عامل مهم در توسعه WSN‌ها خواهد بود.

۱.۳ تکنولوژی WSN

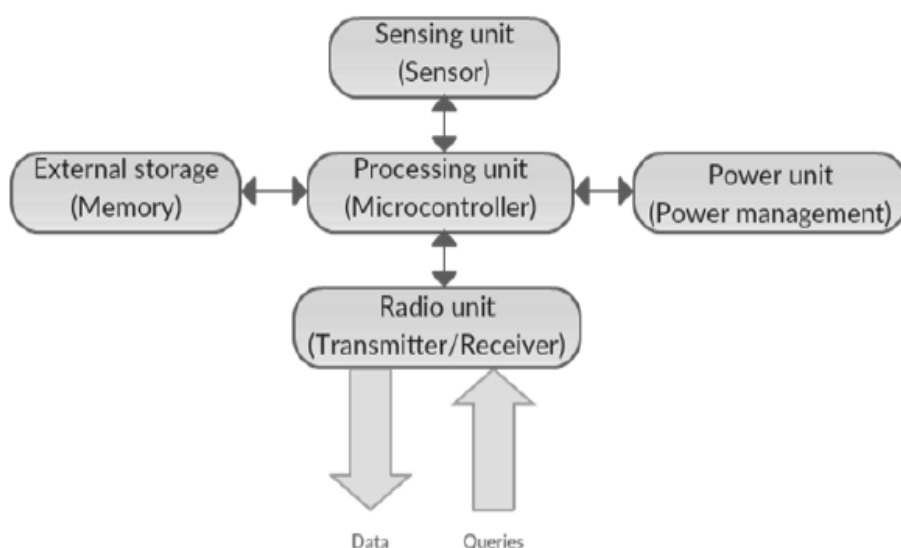
(۱) گره حسگر^۱:

WSN می‌تواند به عنوان شبکه‌ای از گره‌های حسگر تعریف شود.

¹Long-range networks

²Short-range networks

¹Sensor node



شکل ۲: معماری گره WSN

سخت‌افزار هر گره حسگر شامل پنج ماژول است:

۱. واحد اندازه‌گیری:

اطلاعات را در یک سیگنال آنالوگ از محیط مانند نور، گرما، حرکت و غیره جمع‌آوری می‌کند. و آن را به یک سیگنال دیجیتال تبدیل کنید.

۲. واحد توان:

انرژی را به دیگر بخش‌های گره ارائه می‌دهد.

۳. واحد پردازش:

داده‌ها را پردازش می‌کند، سیگنال دیجیتال، که توسط واحد سنجش ارسال می‌شود.

۴. ذخیره‌سازی خارجی:

دو تکنولوژی حافظه مورد استفاده در اینجا، یک حافظه برنامه که شامل نرم‌افزار سیستم (سیستم‌عامل، ماشین مجازی، میان‌افزار و الگوریتم‌های کاربردی) و یک حافظه غیر فرار کاربر مورد استفاده برای ذخیره‌سازی داده‌های شخصی است.

۵. واحد رادیویی:

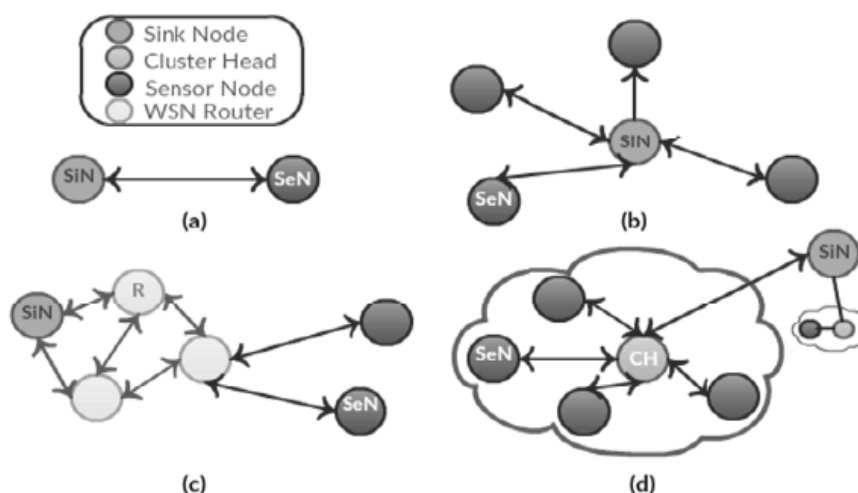
داده‌ها را از طریق یک رسانه بی‌سیم به مرکز کنترل منتقل می‌کند.

(۲) توپولوژی WSN:

توپولوژی‌های WSN توصیف می‌کنند که چگونه گره‌های منفرد در شبکه به یکدیگر متصل می‌شوند، که

عمدتاً از گره‌های حسگر و گره‌های سینک تشکیل شده‌اند، تمام داده‌های جمع‌آوری شده توسط گره‌های حسگر به گره سینک ارسال می‌شوند.

توپولوژی‌های مختلف در شکل ۳ وجود دارد.



شکل ۳: توپولوژی WSN: (a) نقطه به نقطه؛ (b) ستاره؛ (c) مش؛ (d) کلاستر

• نقطه به نقطه^۱:

این توپولوژی به هر سنسور یک اتصال سیمی به گره مقصد می‌دهد، قابلیت اطمینان می‌تواند جالب باشد اما این توپولوژی پیچیدگی سیم‌کشی را افزایش می‌دهد.

• ستاره:

از یک گره که به بیش از یک گره حسگر متصل است استفاده می‌کند.

• مش:

به ارتباطات نظیر به نظیر اجازه می‌دهد، بزرگ‌ترین مزیت این توپولوژی در دسترس بودن است، می‌تواند اطلاعات مسیریابی را در میان گره‌ها بدون دخالت انسان ایجاد و حفظ کند.

• کلاستر^۲:

که به خاطر ویژگی‌های مقیاس‌پذیری او شناخته شده است، یک توپولوژی خوشه‌ای برخی از گره‌ها را به عنوان سر خوشه طراحی می‌کند و ارتباط بین گره‌های حسگر و گره‌های مقصد را می‌توان از طریق گره‌های سر خوشه بایگانی کرد.

انتخاب توپولوژی با ماهیت کاربرد، خدمات، پیچیدگی، در دسترس بودن و غیره متفاوت است.

¹ Point to Point

² Cluster

جدول ۱ کاربردهای هر توپولوژی شبکه را توصیف می‌کند.

جدول ۱: برنامه‌های کاربردی توسط توپولوژی‌های شبکه

	PTP	Star	Custers	Mesh
Wireless field measurement	O	X	X	X
Home automation	O	X	X	X
Remote Control	X	X	O	O
Cable Replacement	X	O	O	O
Industrial WSN	O	X	X	X
Multimedia WSN	O	X	O	O
Automotive WSN	O	X	O	O

۴ بیان مشکل و راه حل

۱.۴ بیان کلیات

در شبکه اینترنت اشیا، تعداد دستگاه‌های فیزیکی مانند محرک‌ها، حسگرها، لوازم خانگی و دستگاه‌های الکترونیکی با اتصال به اینترنت فعال می‌شوند. با توجه به این اتصال، این دستگاه‌ها می‌توانند داده‌ها را با دستگاه‌های دیگر مبادله کنند و همچنین این شبکه فرصت‌هایی را برای ارتباط مستقیم‌تر دنیای فیزیکی در سیستم‌های مبتنی بر رایانه ایجاد می‌کند. در نقطه‌ای که چند تغییر مرتبط با یک کنترل‌کننده خاص وجود دارد، اندازه‌گیری پیام‌های Packet_in و وظایف کنترل‌کننده افزایش می‌یابد. این امر باعث ایجاد مشکلات اجرای ناقص می‌شود. زمان لازم برای پذیرش پیام کنترل و تنظیم جداول جریان ممکن است با مشکل روبرو شود. علاوه بر این، با افزایش تعداد کاربران در شبکه، بار کنترل‌کننده از نظر درخواست‌های کاربران افزایش می‌یابد. برای حل این مسئله، یک تکنیک متعادل کننده بار کارآمد ارائه می‌شود.

قبل از ارائه این تکنیک متعادل کننده بار، بار هر کنترل‌کننده در شبکه باید تخمین زده شود. اگر بار کنترلر از مقدار آستانه عبور کند، درخواست‌های کاربر از طریق سوئیچ‌های مربوطه به کنترل‌کننده بهینه ارسال می‌شود. این کنترل‌کننده بهینه باید دارای حداقل بار باشد. بنابراین، برای انتخاب کنترل‌کننده بهینه در شبکه، باید یک تکنیک کارآمد ارائه شود. در این کار، الگوریتم بهینه‌سازی میمون عنکبوتی (SMOA) برای انتخاب کنترل‌کننده بهینه ارائه شده است. در نهایت، کنترلر انتخاب شده جداول جریان را روی سوئیچ‌های کاربران مربوطه نصب می‌کند. این راه حل به طور مؤثر بار در شبکه را متعادل می‌کند.

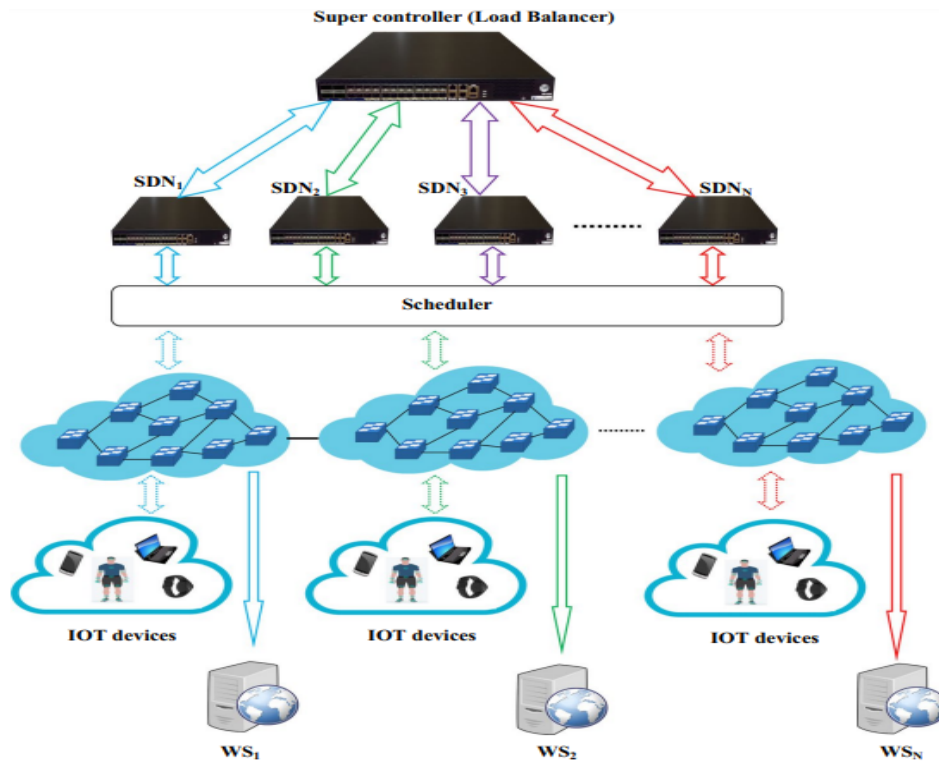
۲.۴ مدل سیستم

شکل زیر مدل سیستم شبکه اینترنت اشیا مبتنی بر SDN را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، مدل سیستم شامل کنترل‌کننده‌های SDN، کنترل‌کننده متعادل‌کننده بار، زمان‌بندی، خوشه‌ای^۱ با سوئیچ‌های SDN، سرورهای وب (WS) و دستگاه‌های IoT است. ایستگاه‌های پایه شبکه ناهمگن در هر سلول دارای سوئیچ‌های SDN جداگانه‌ای هستند که برای ارسال داده‌ها استفاده می‌شود. این سوئیچ‌های SDN در شبکه، شبکه هسته‌ای به هم پیوسته را تشکیل می‌دهند. هر CN دارای یک وب سرور جداگانه است که خدمات را بر اساس درخواست دستگاه‌های اینترنت اشیا ارائه می‌دهد.

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، CNها در شبکه توسط کنترل‌کننده SDN کنترل می‌شوند. سوپر کنترلر در مدل برای کنترل تمام کنترلرهای شبکه استفاده می‌شود و به عنوان متعادل‌کننده بار نیز شناخته می‌شود. این سوپر کنترلر دارای پایگاه اطلاعات شبکه (NIB) که شامل وضعیت بار کنترل‌کننده‌های SDN و وضعیت WSها می‌باشد. Scheduler از تبادل اطلاعات بین کنترلر و سوئیچ‌ها پشتیبانی می‌کند.

دستگاه‌های IoT درخواست‌های سرویس را به سوئیچ‌های SDN مربوطه ارسال می‌کند. پس از دریافت آن، سوئیچ برای اطلاعات مسیریابی به کنترلر SDN مربوطه از طریق زمان‌بند درخواست می‌کند. سپس جدول جریان به سوئیچ‌های مربوطه که در مسیر مسیریابی قرار می‌گیرند نصب می‌شود.

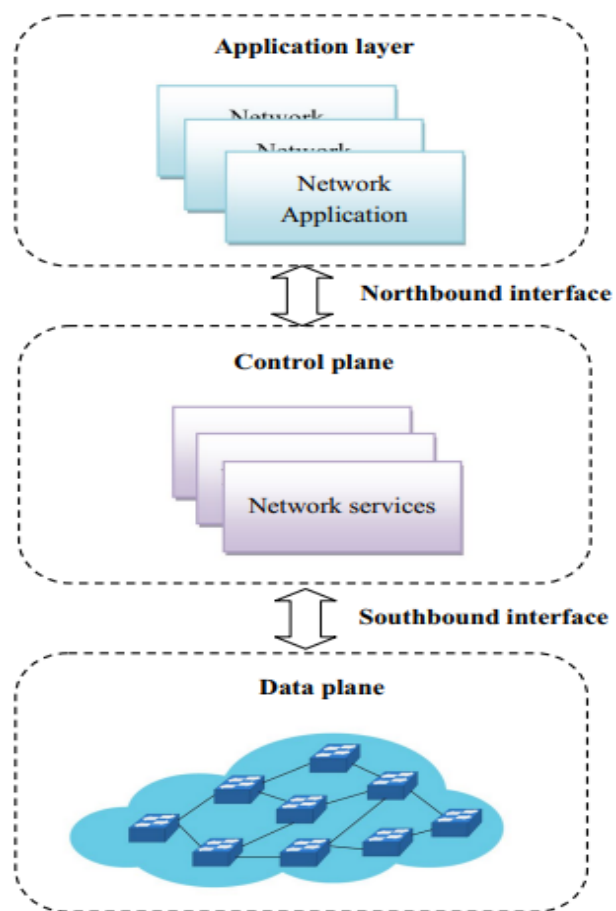
¹Cluster Network



شکل ۴: مدل سیستم

معماری کنترلر SDN در شکل ۵ نشان داده شده است. این معماری از سه لایه تشکیل شده است که عبارتند از لایه برنامه، صفحه کنترل و صفحه داده. عناصر ارسالی مانند سوئیچ‌های SDN را نشان می‌دهد و فقط برای ارسال داده‌ها تمرکز می‌کند. صفحه کنترل برای مدیریت عناصر ارسال در صفحه داده استفاده می‌شود، یعنی اطلاعات مسیریابی را ارائه می‌دهد و عملکرد شبکه به اطلاعات ارائه شده از سوئیچ‌های صفحه داده بستگی دارد. اغلب، کنترلر SDN از رابط‌های جنوب بر اساس پروتکل OpenFlow استفاده می‌کند که ارتباط بین کنترلرها و سوئیچ‌ها را تعریف می‌کند.

این کنترلر مبتنی بر OpenFlow ورودی‌های جدول جریان را در هر سوئیچ در پایین‌ترین لایه یا صفحه داده نصب می‌کند و بر اساس این ورودی‌ها ترافیک داده‌ها ارسال می‌شود. لایه برنامه شامل برنامه‌های کاربردی شبکه مانند طرح‌های حمل و نقل، مدیریت‌پذیری و امنیت است. این لایه شبکه اطلاعاتی مبتنی بر لایه کنترل دریافتی از لایه کنترل را هدایت می‌کند. رابط بین لایه کنترل و لایه کاربردی به عنوان رابط شمالی شناخته می‌شود.



شکل ۵: معماری کنترلر SDN

شکل ۶ ساختار جدول جریان را نشان می‌دهد.

Rule	Action	Statistics
------	--------	------------

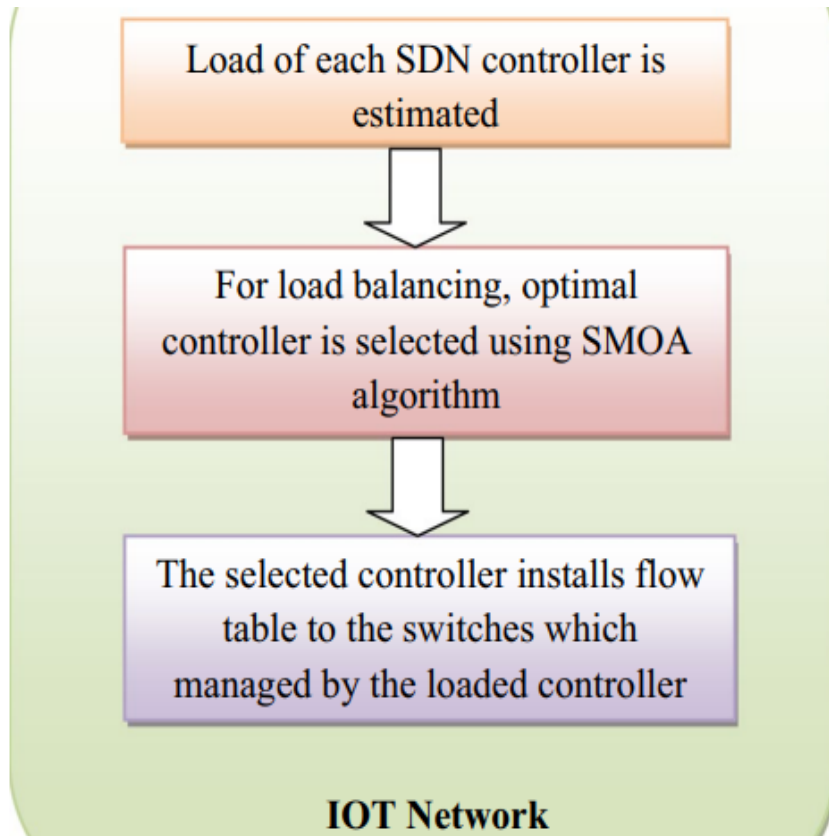
شکل ۶: ساختار جدول جریان

در این ساختار، فیلد قانون، فلدهایی را توصیف می‌کند که در آن بسته‌های ورودی با ورودی‌های جریان مطابقت دارند. اگر بسته‌ها با ورودی‌های جریان مطابقت نداشته باشند، بسته‌ها کپسوله شده و به کنترل کننده ارسال می‌شوند.

فیلد Action تصمیم می‌گیرد که بر اساس قانون چگونه با بسته رفتار شود. فیلد آماری برای جمع‌آوری آمار بسته‌ها استفاده می‌شود. سپس جریان به وب سروری که دارای بار قابل تحمل است هدایت می‌شود و سرور خدمات را به کاربران ارائه می‌دهد.

۳.۴ توضیحات تکمیلی

در ابتدا بار هر کنترل کننده در شبکه بر اساس درخواست‌های دریافتی از سوئیچ‌ها برآورد می‌شود. اگر بار آن از مقدار بار آستانه عبور کند، کنترلر قادر به ادامه خدمات برای درخواست سوئیچ‌ها نیست. وضعیت بار فعلی کنترلر توسط سوپر کنترلر یا متعادل کننده بار در شبکه نظارت می‌شود. این متعادل کننده بار با انتخاب کنترل کننده با حداقل بار، بارگذاری در شبکه را انجام می‌دهد. برای انتخاب بهینه کنترل کننده SDN، الگوریتم بهینه‌سازی میمون عنکبوتی (SMOA) ارائه شده است. سپس کنترل کننده انتخاب شده جداول جریان را روی سوئیچ درخواستی و سوئیچ‌ها را در مسیرهای جریان نصب می‌کند. در نهایت کاربرانی که در شبکه اینترنت اشیا هستند با ارائه خدمات درخواستی از وب سرورها رضایت دارند. شکل ۷ روند کار را نشان می‌دهد.



شکل ۷: روند کار کنترلر SDN

۴.۴ تخمین بارکنترلر

در زمان T ، سوییچ‌ها پیام‌های درخواستی شبکه را به کنترل کننده SDN می‌دهند. میانگین تعداد پیام‌های دریافتی m امین کنترلر از n امین سوییچ بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Avg(R_{mn}(T)) = \frac{\sum_{m=1}^M R_{mn}(T)}{T}$$

بسته به این پیام‌های دریافتی، حافظه و استفاده از منابع کنترلر، ضریب بار (LF) به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$LF_n = \frac{\eta_1 \times \sum_{m=1}^M Avg(R_{mn}(T))}{Max(R_n(T))} + RU \times \eta_2$$

که در آن $Max(R_n(T))$ بیانگر حداکثر مقدار پیام‌های دریافتی پردازش شده در کنترلر n در زمان T و RU نشان دهنده استفاده از منابع در کنترلر است. η_1 و η_2 نشان دهنده مقادیر وزن در محدوده $[0, 1]$ است.

سپس ضریب بار n امین کنترلر با مقدار بار آستانه (L_{Th}) مقایسه می‌شود. این مقدار آستانه بر اساس

میانگین تعداد پیام‌های درخواستی تولید شده در شبکه محاسبه می‌شود. این مقدار آستانه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$L_{Th} = (1 + \beta) \times Avg(R_{Total})$$

که در آن β یک پارامتر ثابت است و $Avg(R_{Total})$ نشان دهنده میانگین تعداد کل پیام‌های درخواستی تولید شده در شبکه است.

اگر ضریب بار n (L_{Th}) باشد، کنترل کننده وضعیت بار آن را به سوپر کنترلر اطلاع می‌دهد. متعادل کننده بار کنترل کننده را با حداقل انحراف (σ) انتخاب می‌کند. این انحراف کنترلر به عنوان تابع هدف برای انتخاب بهترین کنترلر SDN در نظر گرفته شده و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma_n = LF_n - Avg(R_{Total})$$

الگوریتم کلی کار به صورت زیر است.

Algorithm 1: Estimation of load factor

1. In each controller, the average number of received messages from the switches is calculated using equation
 2. The load factor (LF) of the controller is calculated using equation
 3. The threshold load value (L_{Th}) is calculated using the average of the total number of request messages generated in the network.
 4. **If**
 $LF_n > L_{Th}$
 5. **Then**
The n^{th} controller forwards the request message to the load balancer
 6. **End**
-

۵.۴ الگوریتم بهینه‌سازی Spider Monkey مبتنی بر تعادل بار

یک Super controller یا Load Balancer بر ضریب بار تمامی کنترلرهای SDN در شبکه نظارت می‌کند. اگر یک کنترلر با دریافت تعداد پیام‌های درخواستی از سویچ‌ها در زمان T به وضعیت عدم تعادل برسد، نمی‌تواند جداول را روی سویچ‌ها در صفحه داده نصب کند. بنابراین کنترلر پیام‌های دریافتی را به متعادل کننده بار ارسال می‌کند. بار کنترلر را می‌توان با تحویل پیام‌ها به کنترل کننده با

حداقل بار متعادل کرد تا متعادل کننده بار با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Spider Monkey، بهینه یا بهترین کنترلر SDN را انتخاب کند.

مراحل زیر عملکرد این الگوریتم را برای انتخاب کنترل کننده بهینه توصیف می‌کند.

۱- مقداردهی اولیه:

ابتدا باید مقادیر پارامترهای زیر در نظر گرفته شود. آستانه رهبر محلی در محدوده $[Z/2, 2 \times Z]$ در نظر گرفته می‌شود، جایی که Z نشان دهنده اندازه ازدحام است. حد رهبر جهانی به صورت $d \times W$ در نظر گرفته می‌شود، d نشان دهنده فضای ابعادی است. سپس، موقعیت راه‌حل‌های کاندید یا میمون‌های عنکبوتی (M_i) در فضای بعد d مقداردهی اولیه می‌شود. در این رویکرد، نگاشت بین درخواست سوئیچ n و کنترلر m به عنوان راه حل کاندید در جامعه در نظر گرفته می‌شود. جمعیت این راه حل‌ها به صورت زیر مقداردهی اولیه می‌شود.

$$P_d = \{M(R_n C_1), M(R_n C_2), \dots, M(R_n C_m)\}_d$$

که در آن $M(R_n C_m)$ ، موقعیت نگاشت بین پیام درخواستی سوئیچ n و کنترل کننده m را در فضای بعدی d نشان می‌دهد.

۲- تناسب:

بهترین راه حل با فرمول زیر انتخاب می‌شود.

$$Fit_m = Min(\sigma_n(t))$$

راه حل با حداقل تناسب به عنوان یک راه حل بهینه یا نقشه‌برداری بهینه در نظر گرفته می‌شود. از راه حل نگاشت بهینه، کنترل کننده‌ای که با پیام درخواست از سوئیچ n نگاشت شده است، به عنوان کنترل کننده بهینه در نظر گرفته می‌شود.

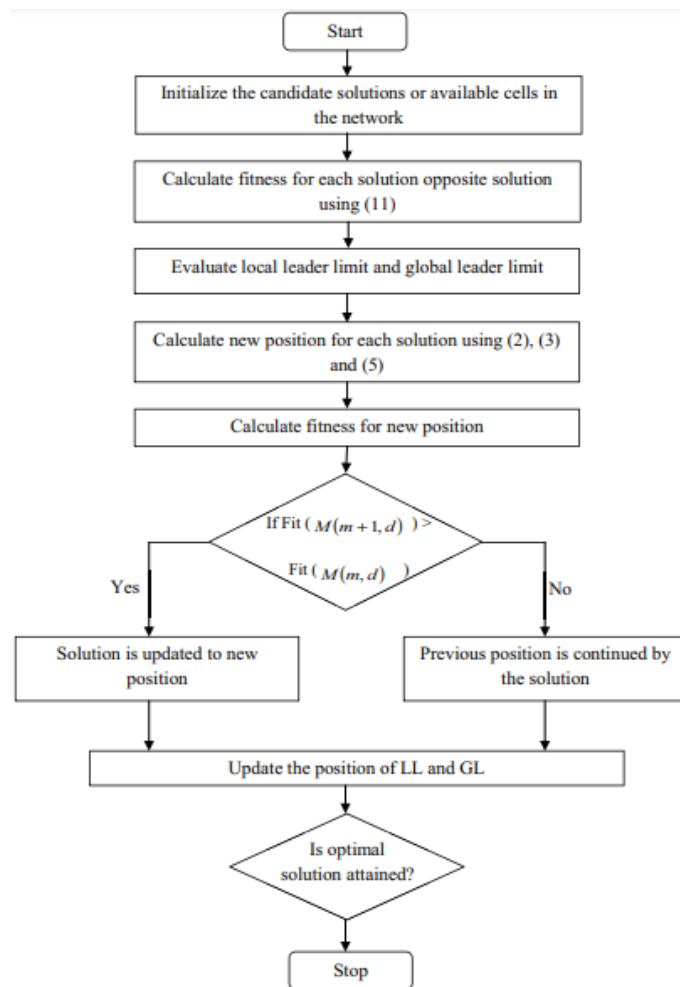
۳- بروزرسانی:

اگر راه حل بهینه به دست نیامد، راه حل‌ها تا یافتن راه حل بهینه به روز می‌شوند.

۴- خاتمه:

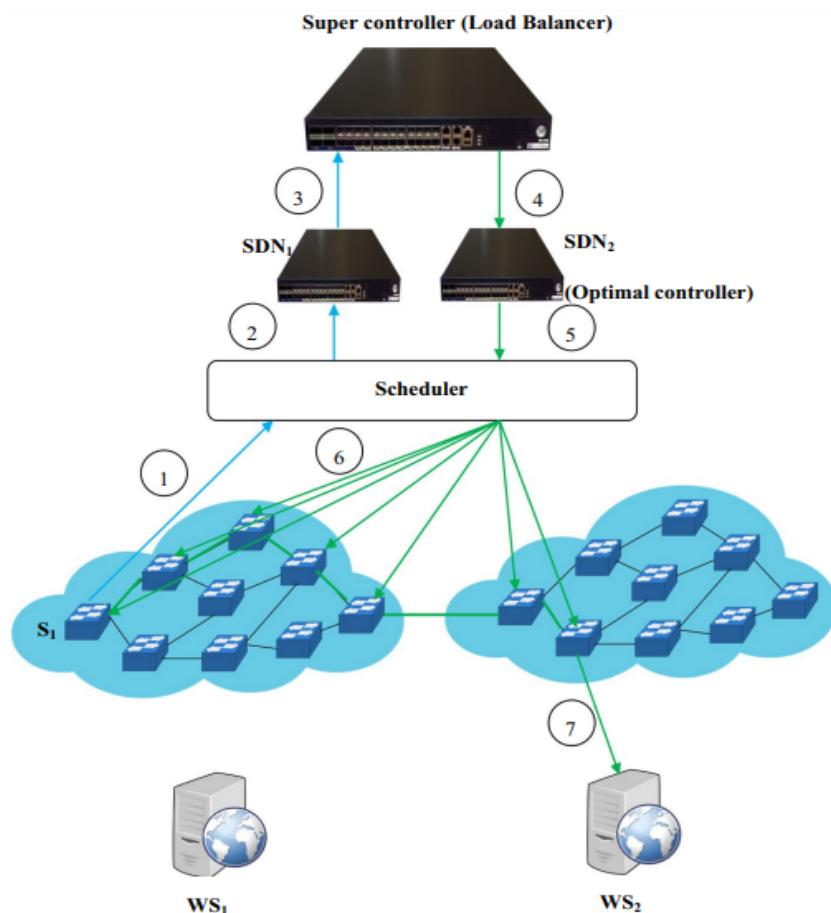
مراحل فوق تا یافتن راه حل بهینه ادامه می‌یابد. هنگامی که راه حل بهینه یا کنترل کننده بهینه ($C_{optimal}$) به دست آمد، الگوریتم خاتمه می‌یابد.

شکل ۸ نمودار اصلی این الگوریتم را نشان می‌دهد.



شکل ۸: الگوریتم بهینه‌سازی Spider Monkey

به عنوان مثال، همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، سوئیچ S_1 پیام درخواست سرویس را از طریق زمانبندی به SDN_1 ارسال می‌کند. با توجه به تعداد درخواست‌های سرویس دریافتی، SDN_1 بیش از حد بارگذاری می‌شود، بنابراین پیام درخواست را به متعادل کننده بار ارسال می‌کند. سپس متعادل کننده بار پیام‌ها را به کنترل کننده بهینه ارسال می‌کند (به عنوان مثال، SDN_2 به عنوان کنترل کننده بهینه در نظر گرفته می‌شود). پس از دریافت پیام، SDN_2 جدول مسیریابی را به S_1 و سوئیچ‌های مربوطه را در مسیر مسیریابی نصب می‌کند. سپس S_1 پیام را برای دسترسی به خدمات به WS مربوطه به SDN_2 ارسال می‌کند.



شکل ۹: مثالی از اجرای الگوریتم

۵ شبیه‌سازی

رویکرد پیشنهادی متعادل‌سازی بار (LB-SMOA) در شبکه SDN در شبیه‌ساز شبکه (NS2) شبیه‌سازی شده است. در این قسمت از ۲ کنترلر SDN مبتنی بر OpenFlow به همراه ۳۵ سوئیچ SDN استفاده می‌شود. تعادل بار در شبکه SDN با افزایش تعداد کاربران مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این شبیه‌سازی کاربران، متن، صدا و VOIP را به سوئیچ‌های SDN ارسال می‌کنند. پهنای باند کاربران در محدوده ۱-۱۰۰ مگابیت بر ثانیه متغیر است.

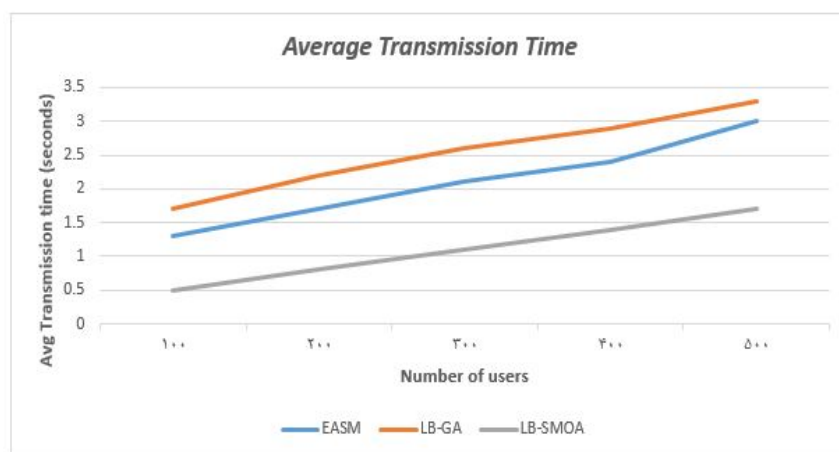
مراحل شبیه‌سازی این رویکرد پیشنهادی به شرح زیر است:

کاربرانی که در شبیه‌سازی قرار داده‌اند درخواست سرویس را به سوئیچ SDN مربوطه ارسال می‌کنند، پس از دریافت درخواست، به کنترلر SDN مربوطه ارسال می‌شود. حال اگر کنترل‌کننده نتواند یک جدول جریان را روی سوئیچ درخواستی نصب کند، آنگاه سوپر کنترلر با استفاده از الگوریتم SMOA، کنترل‌کننده بهینه را از شبکه انتخاب می‌کند. در نهایت، کنترل‌کننده بهینه، جدول جریان را روی سوئیچ

نصب می‌کند و کاربر از وب سروری که در کنترل کنترل کننده بهینه است، بهره می‌برد. این فرآیندها در زمان شبیه‌سازی ۱۰۰ ثانیه تکمیل خواهند شد.

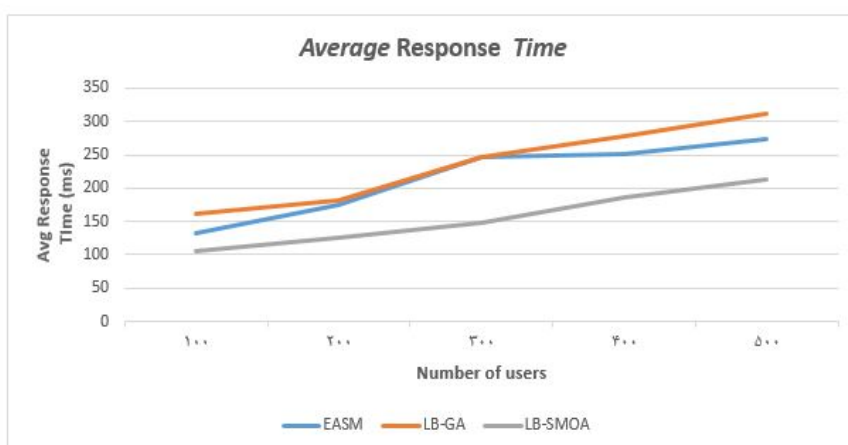
۱.۵ عملکرد بر اساس تعداد متغیر کاربران

در نمودار ۱۰ مقایسه میانگین زمان انتقال را بین روش‌های مختلف متعادل‌سازی بار برای تعداد مختلف کاربر نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، میانگین زمان انتقال با افزایش تعداد کاربران افزایش می‌یابد. با این حال، به دلیل کنترل‌کننده‌های متعدد با تکنیک‌های متعادل‌سازی بار مبتنی بر SMOA، کاربر می‌تواند با کاهش میانگین زمان پاسخ به مزایایی دست یابد.



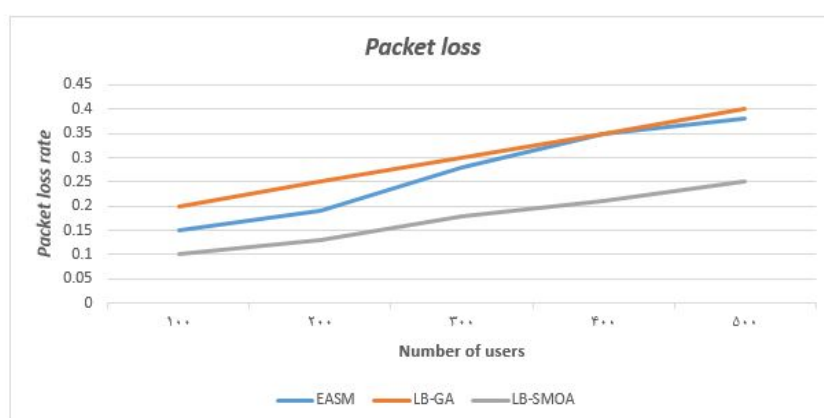
شکل ۱۰: مقایسه میانگین زمان انتقال بین روش‌های مختلف متعادل‌سازی بار برای تعداد مختلف کاربر

مقایسه میانگین زمان پاسخ بین رویکردهای مختلف تعادل بار برای تعداد کاربران مختلف در نمودار زیر نشان داده شده است. به جای مهاجرت سوئیچ‌ها، با انتخاب کنترل کننده با حداقل بار با استفاده از الگوریتم SMOA، میانگین زمان پاسخ LB-SMOA نسبت به EASM کاهش می‌یابد. به همین ترتیب، از آنجایی که استحکام الگوریتم SMOA بهتر از الگوریتم LB-GA است، بهترین راه حل‌های بهینه را می‌توان با استفاده از SMOA به دست آورد. بنابراین، در مقایسه با LB-GA، میانگین زمان پاسخ کاهش می‌یابد.



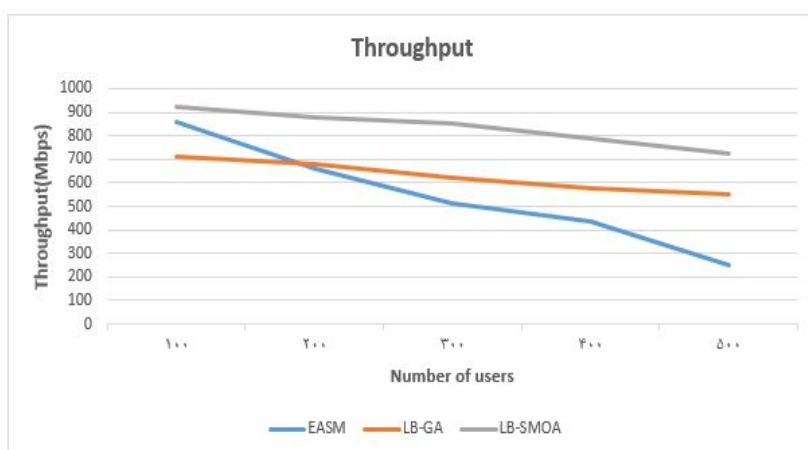
شکل ۱۱: مقایسه میانگین زمان انتقال بین روش‌های مختلف متعادل‌سازی بار برای تعداد مختلف کاربر

نمودار ۱۲ مبادله بین تعداد کاربران و نرخ از دست دادن بسته را برای تکنیک‌های مختلف متعادل‌سازی بار نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، با افزایش تعداد کاربران، نرخ از دست دادن بسته افزایش می‌یابد. از آنجایی که بار در شبکه با انتخاب کنترل کننده بهینه از شبکه SDN متعادل می‌شود، نرخ تلفات بسته LB-SMOA کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲: مبادله بین تعداد کاربران و نرخ از دست دادن بسته برای تکنیک‌های مختلف متعادل‌سازی بار

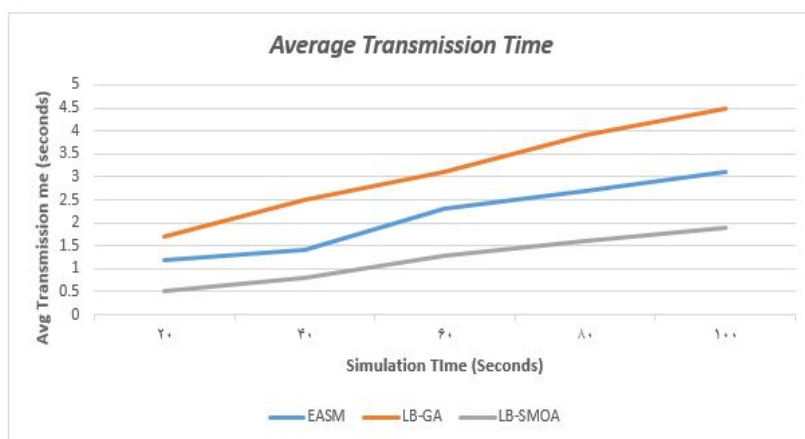
مقایسه توان عملیاتی بین رویکردهای متعادل کننده بار مختلف برای تعداد کاربران مختلف در نمودار ۱۳ نشان داده شده است. توان عملیاتی LB-SMOA پیشنهادی نسبت به رویکردهای موجود EASM و LB-GA افزایش یافته است.



شکل ۱۳: مقایسه توان عملیاتی بین رویکردهای متعادل کننده بار مختلف برای تعداد کاربران مختلف

۲.۵ عملکرد بر اساس زمان شبیه سازی

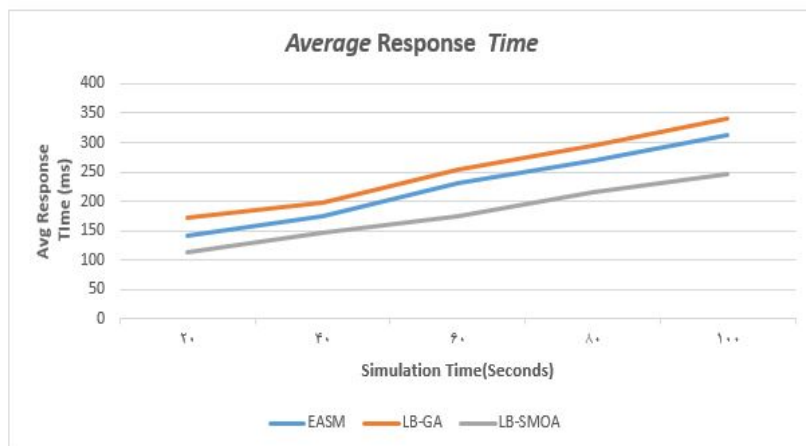
مقایسه میانگین زمان انتقال بین روش های مختلف متعادل سازی بار برای زمان شبیه سازی متغیر در نمودار زیر نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است، میانگین زمان انتقال با افزایش زمان شبیه سازی افزایش می یابد اما میانگین زمان انتقال LB-SMOA نسبت به دو روش دیگر بهتر است.



شکل ۱۴: مقایسه میانگین زمان انتقال بین روش های مختلف متعادل سازی بار برای زمان شبیه سازی متغیر

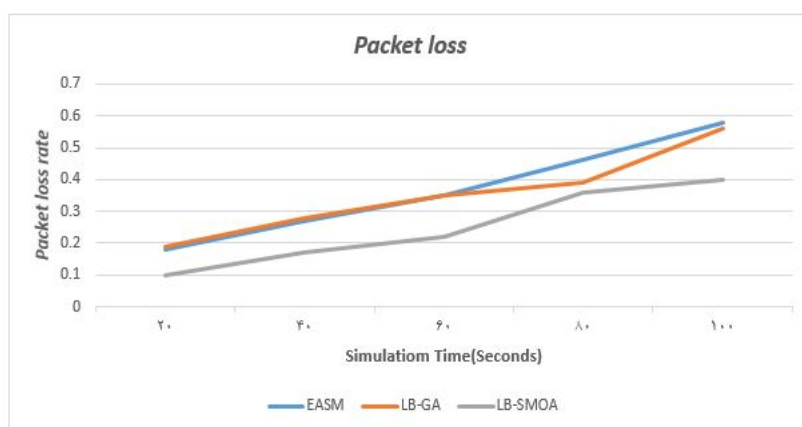
نمودار ۱۵ مبادله بین زمان شبیه سازی و میانگین زمان پاسخ را برای تکنیک های مختلف متعادل سازی بار نشان می دهد. در مقایسه با EASM و LB-GAL، روش LB-SMOA میانگین زمان پاسخ را کاهش

می دهد.



شکل ۱۵: مبادله بین زمان شبیه سازی و میانگین زمان پاسخ برای تکنیک های مختلف متعادل سازی بار

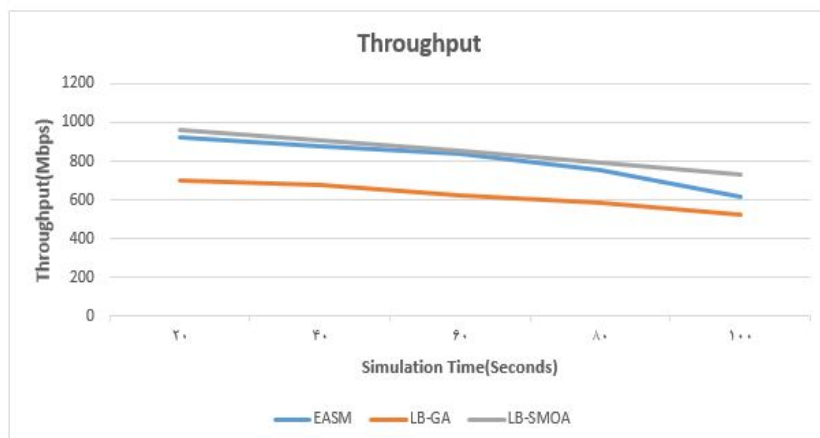
نمودار ۱۶ مبادله بین زمان شبیه سازی و نرخ از دست دادن بسته را برای تکنیک های مختلف متعادل سازی بار نشان می دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، با افزایش زمان شبیه سازی، نرخ از دست دادن بسته افزایش می یابد ولی از آنجایی که بار در شبکه با انتخاب کنترل کننده بهینه از شبکه SDN متعادل می شود، نرخ تلفات بسته LB-SMOA کمتر است.



شکل ۱۶: مبادله بین زمان شبیه سازی و نرخ از دست دادن بسته برای تکنیک های مختلف متعادل سازی بار

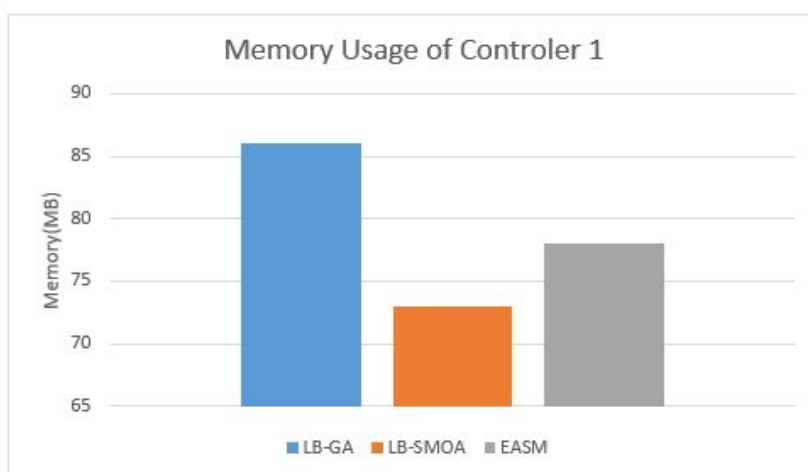
مقایسه توان عملیاتی بین رویکردهای متعادل کننده بار مختلف برای زمان شبیه سازی در نمودار زیر نشان داده شده است. توان عملیاتی LB-SMOA پیشنهادی نسبت به رویکردهای موجود EASM و

LB-GA افزایش یافته است.



شکل ۱۷: مقایسه توان عملیاتی بین رویکردهای متعادل کننده بار مختلف برای زمان شبیه سازی

در نمودار ۱۸ مصرف حافظه برای کنترلر شماره ۱ هر روش نشان داده شده است. با توجه به نمودار مصرف حافظه روش پیشنهادی کمتر است به این دلیل که بهترین کنترلر برای مدیریت انتخاب می شود.



شکل ۱۸: مصرف حافظه برای کنترلر شماره ۱ در هر روش

در نمودار ۱۹ زمان پردازش برای کنترلر شماره ۱ هر روش نشان داده شده است. با توجه به انتخاب بهترین کنترلر میزان پردازش روش پیشنهادی کمی بهتر از دیگر روش ها است.



شکل ۱۹: زمان پردازش برای کنترلر شماره ۱ در هر روش

۶ نتیجه‌گیری

با ارائه یک الگوریتم بهینه‌سازی میمون عنکبوتی، بار کنترل‌کننده‌های SDN در برنامه اینترنت اشیا متعادل شده است. با استفاده از این الگوریتم کنترل‌کننده با حداقل بار به عنوان کنترل‌کننده بهینه انتخاب شده است. این کنترل‌کننده بهینه بار را در کنترل‌کننده با بار سنگین متعادل می‌کند و جدول جریان را روی سوئیچ‌های زیر کنترل‌کننده بار سنگین نصب می‌کند. عملکرد LB-SMOA پیشنهادی از نظر میانگین زمان انتقال، میانگین زمان پاسخ، نرخ تلفات بسته و توان عملیاتی برای تعداد کاربران مختلف و زمان شبیه‌سازی ارزیابی شده است. عملکرد LB-SMOA با رویکردهای موجود EASM و LB-GA مقایسه شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که LB-SMOA پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود باعث کاهش میانگین زمان پاسخ و افزایش توان عملیاتی شده است.

مراجع

- [1] Mayilsamy, J., & Rangasamy, D. P. (2021). Load balancing in software-defined networks using spider monkey optimization algorithm for the internet of things. *Wireless Personal Communications*, 116, 23-43.
- [2] Kang, S., & Kwon, G. (2016). Load balancing of software-defined network controller using genetic algorithm. *Contemporary Engineering Sciences*, 9, 881-888.
- [3] Hu, T., Lan, J., Zhang, J., & Zhao, W. (2018). EASM: Efficiency-aware switch migration for balancing controller loads in software-defined networking. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 12(2), 452-464.