



دانشگاه مهندسی کامپیوتر

باسمه تعالی

فرم تعریف پروژه فارغ التحصیلی دوره کارشناسی



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

تاریخ:

شماره:

عنوان پروژه: ارائه یک طرح تطبیقی نرخ داده در شبکه دوربرد با توان پایین با در نظر گرفتن کره انتهایی متحرک	
امضاء:	استاد راهنمای پروژه: دکتر مهدی راستی
مشخصات دانشجو:	
نام و نام خانوادگی: کیمیا زرگری	شماره دانشجویی: ۹۵۳۱۹۰۶
گرایش: ترم ثبت نام پروژه: پاییز	۱۳۹۹
دوران پروژه:	
۱. امضاء داور:	
۲. امضاء داور:	
شرح پروژه (در صورت مشترک بودن بخشی از کار که به عهده دانشجو می باشد مشخص شود): شبکه‌های گسترده کم‌توان شبکه‌های بی‌سیم هستند که برای ایجاد ارتباطات گسترده با نرخ داده و مصرف انرژی پایین بین گره‌های متصل به هم استفاده می‌شوند. یک نمونه از شبکه‌های گسترده کم‌توان که اخیراً محبوبیت قابل توجهی کسب کرده‌است شبکه LoRaWAN است. در برخی کاربردهای شبکه‌های LoRaWAN، مانند شبکه‌ای از پهبادها، ممکن است گره‌های انتهایی تحرک داشته باشند. کانال‌های ارتباطی این گره‌ها به دلیل حرکتشان پیوسته در حال تغییرند. برای افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان در شبکه LoRaWAN طرح تطبیق نرخ داده پیشنهاد شده‌است. در این طرح، پارامترهای انتقال گره‌های انتهایی بر اساس کیفیت کانال به صورت پویا تنظیم می‌شوند. الگوریتم تطبیق نرخ داده این شبکه‌ها باید هنگام تعیین پارامترهای انتقال هر گره، تحرک آن و به تبع نحوه تغییر کیفیت کانال ارتباطی را در نظر بگیرد. در کارهای پیشین، تعیین پارامترهای انتقال بر اساس نسبت سیگنال به نویز یا شاخص قدرت سیگنال دریافتی آخرین بیست بسته انجام می‌شد. اما در این پروژه هدف این است که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نحوی حرکت گره و تغییر کیفیت کانال ارتباطی را بتوان آموخت و پیش‌بینی کرد. تا کنون الگوریتم‌های نرخ داده متفاوتی ارائه شده‌اند، اما در آنها از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده نشده‌است. هدف این پروژه ارائه یک الگوریتم نرخ داده نوین است که بتواند پارامترهای انتقال گره‌ها را طوری تنظیم کند تا نسبت بسته‌های دریافتی افزایش، و مصرف انرژی به ازای هر دریافت موفقیت‌آمیز کاهش یابد. در نتیجه قابلیت اطمینان شبکه و مقیاس‌پذیری آن، به خصوص در شبکه‌هایی با گره‌های انتهایی متحرک، افزایش می‌یابد. برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده، از شبیه‌سازی استفاده می‌شود. همچنین از دو پارامتر نسبت بسته‌های دریافتی و مصرف انرژی به ازای هر دریافت موفقیت‌آمیز برای مقایسه این الگوریتم با دیگر الگوریتم‌های مشابه استفاده می‌شود. شبیه‌سازی به ازای تعداد گره‌های متفاوت انجام می‌شود تا مقیاس‌پذیری شبکه نیز ارزیابی شود.	
وسائل مورد نیاز: —	
محل انجام پروژه:	تاریخ شروع:

تاریخ تحویل به آموزش دانشکده:

تاریخ تصویب در گروه:

تاریخ تصویب در دانشکده:

اصلاحات لازم در تعریف پروژه:

اسم و امضاء:

اسم و امضاء:

توجه: در صورت عدم رعایت حداقل فاصله (3 ماه کامل) از تاریخ تصویب پروژه تا تاریخ دفاع، دانشجو 6 نمره مربوط به رعایت زمانبندی را اخذ نمی نماید.



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پروپوزال پروژه کارشناسی

نام دانشجو
کیمیا زرگری

استاد پروژه کارشناسی
دکتر مهدی راستی

موضوع پروژه کارشناسی
ارائه یک طرح تطبیقی نرخ داده در شبکه دوربرد با توان پایین با در نظر
گرفتن گره انتهایی متحرک

پاییز ۱۳۹۹

۱. چکیده

اینترنت اشیاء (IoT)^۱ به سیستمی از اشیاء گفته می‌شود که از طریق یک شبکه بی‌سیم به هم متصل هستند. این اشیاء عبارتند از: گره‌های انتهایی از نوع حسگرها^۲ و عملگرها^۳ که با یکدیگر و یا یک سرور در ارتباط هستند. برای برقراری ارتباط بین گره‌های انتهایی، شبکه‌های متنوعی وجود دارند که بر اساس کاربرد مورد نظر استفاده می‌شوند. در برخی کاربردهای اینترنت اشیاء، مانند پارکینگ هوشمند^۴، کنترل سطح آلودگی در دریا^۵ و کشاورزی هوشمند^۶، علاوه بر دامنه ارتباطی گسترده، نیاز است انرژی کمی نیز توسط گره‌ها مصرف شود. از این رو شبکه‌های گسترده کم‌توان (LPWAN)^۷ طراحی شده‌اند تا علاوه بر افزایش دامنه ارتباطی، مصرف انرژی را نیز کاهش دهند. شبکه‌های گسترده کم‌توان شبکه‌های بی‌سیم هستند که برای ایجاد ارتباطات گسترده با نرخ داده و مصرف انرژی پایین بین گره‌های متصل به هم استفاده می‌شوند. یک نمونه از شبکه‌های گسترده کم‌توان که اخیراً محبوبیت قابل توجهی کسب کرده‌است شبکه LoRaWAN^۸ است. شبکه LoRaWAN شامل گره‌های انتهایی، دروازه‌ها و سرورهای شبکه است. گره‌های انتهایی بسته‌های خود را برای دروازه‌ها فرستاده و دروازه‌ها نیز آن‌ها را برای سرورها ارسال می‌کنند. سرورها بر اساس بسته‌های دریافتی عملیات مناسب را انجام داده و در صورت نیاز به گره‌های انتهایی پاسخ می‌دهند. شبکه LoRaWAN در کاربردهایی استفاده می‌شود که مشخصات ذیل را دارند: بسته‌های داده کوچک، نرخ داده پایین، مسافت طولانی بین گره‌ها و دروازه‌ها، حساسیت کم بر روی زمان دریافت بسته‌ها و فاصله زمانی زیاد بین هر دو بسته ارسال یا دریافت‌شده توسط هر گره.

برای افزایش مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان در شبکه LoRaWAN طرح تطبیق نرخ داده (ADR)^۹ پیشنهاد شده است. در این طرح، پارامترهای انتقال گره‌های انتهایی بر اساس کیفیت کانال به صورت پویا تنظیم می‌شوند. در برخی کاربردهای اینترنت اشیاء گره‌های انتهایی متحرک هستند، مانند روبات‌های نظافتچی و پهبادها. اما حرکت این گره‌ها موجب تغییر مداوم کیفیت کانال ارتباطی آن‌ها می‌شود. به این جهت نیاز به یک الگوریتم تطبیق نرخ داده است که تحرک گره‌های انتهایی را در نظر گرفته و پارامترهای انتقال آن‌ها را با توجه به حرکتشان تنظیم نماید. در این پروژه یک الگوریتم تطبیق نرخ داده جدید ارائه می‌شود که این پارامترها را با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین^{۱۰} برای شبکه‌های دارای گره‌های انتهایی متحرک سازگار می‌سازد. تا کنون الگوریتم‌های نرخ داده متفاوتی ارائه شده‌اند، اما در آنها از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده نشده‌است. هدف این پروژه ارائه یک الگوریتم نرخ داده نوین است که بتواند پارامترهای انتقال گره‌ها را طوری تنظیم کند تا نسبت بسته‌های دریافتی^{۱۱} افزایش، و مصرف انرژی به ازای هر دریافت موفقیت‌آمیز^{۱۲} کاهش یابد.

۲. مقدمه

شبکه‌های گسترده کم‌توان طراحی شده‌اند تا گره‌های موجود در شبکه ضمن صرفه‌جویی در مقدار قابل توجهی انرژی، بتوانند بسته‌هایشان را در فواصل طولانی بفرستند. یک نمونه از شبکه‌های گسترده کم‌توان، شبکه LoRaWAN^{۱۳} است. از دلایل محبوبیت LoRaWAN می‌توان به استفاده آن از باندهای صنعتی، علمی و پزشکی بدون مجوز (ISM)^{۱۴} اشاره کرد که موجب کم‌هزینه شدن آن شده‌است. با این وجود، مدیریت شبکه‌های LoRaWAN چندین چالش دارد که می‌تواند بر مقیاس‌پذیری و قابلیت اطمینان شبکه تأثیرگذار باشد. از جمله این چالش‌ها می‌توان تعداد زیاد و متغیر گره‌های انتهایی، سناریوهای گوناگون شبکه برگرفته از عوامل محیطی و تداخل با دیگر شبکه‌هایی که از باندهای فرکانسی یکسان استفاده می‌کنند را نام برد [۴]. یک روش مقابله با این چالش‌ها تغییر پویای پارامترهای انتقال داده هر گره جهت انطباق آن‌ها با شرایط شبکه است. به این منظور طرح تطبیق نرخ داده پویا ارائه شده است. در این طرح، پارامترهای انتقال هر گره به صورت پویا تغییر می‌کنند تا داده‌ها با نرخ داده مناسب با شرایط کانال ارسال شوند. تاکنون، چندین الگوریتم تطبیق نرخ داده پیشنهاد شده، اما تأثیر استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تعیین پارامترهای انتقال بررسی نشده‌است. علاوه بر این، در بیشتر الگوریتم‌های تطبیق نرخ داده فعلی، تحرک دستگاه‌های انتهایی در نظر گرفته نشده‌است.

در دو زیر بخش بعدی مروری بر شبکه LoRaWAN و طرح تطبیق نرخ داده ارائه می‌شود. سپس، کارهای مرتبط بیان و شرح داده می‌شوند. در آخر نیز مسئله مورد بحث این پروژه تشریح داده می‌شود.

۱.۲ مروری بر LoRaWAN

1 Internet of Things

2 Sensors

3 Actuators

4 Smart parking

5 Pollution levels control in the sea

6 Smart farming

7 Low Power Wide Area Network

8 Long Range Wide Area Network

9 Adaptive Data Rate

10 Machine Learning

11 Packet delivery ratio

12 Energy consumption per successful transmission

13 Unlicensed Industrial Scientific and Medical frequency bands

شبکه LoRaWAN از دو جز تشکیل شده است: LoRa، که یک لایه فیزیکی اختصاصی شرکت سمکت ۱۴ است، و LoRaWAN، که شامل لایه‌های پیوند داده ۱۵ و شبکه ۱۶ می‌باشد. LoRaWAN، برخلاف LoRa، متن‌باز است و توسط اتحاد LoRa ۱۷ مستند شده است [۲].

لایه فیزیکی LoRa از جهتی گسترده‌تری شبکه، و از جهت دیگر کم مصرف بودن آن را تأمین کرده است. همچنین، به دلیل استفاده از باندهای فرکانسی بدون مجوز زیر یک گیگاهرتز ۱۸، هزینه استفاده از شبکه LoRaWAN را به میزان چشمگیری کاهش داده است. در این لایه، از طیف گسترده جاروب (CSS) ۱۹ برای مودلاسیون ۲۰ استفاده شده است که حساسیت بالای این روش، امکان پوشش فیزیکی گسترده را برای شبکه‌های LoRaWAN فراهم کرده است. در LoRa، هر انتقال داده به پارامترهای انتقال ذیل بستگی دارد: فاکتور گسترش (SF) ۲۱ که مقداری بین ۷ تا ۱۲ دارد، قدرت انتقال (Tp) ۲۲ که می‌تواند مقادیر (۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴) دسی بل میلی وات (dBm) ۲۳ را داشته باشد، پهنای باند که می‌تواند مقادیر (۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰) کیلوهرتز را داشته باشد و نرخ کدگذاری که می‌تواند مقادیر (۴/۵، ۴/۶، ۴/۷، ۴/۸) را داشته باشد [۵]. این پارامترها بر روی دامنه ارتباطی، مقاومت در برابر تداخل و نویز، نرخ ارسال داده، مصرف انرژی و قدرت گیرنده در رمزگشایی سیگنال‌ها تأثیرگذار هستند [۴].

یک شبکه LoRaWAN شامل گره‌های انتهایی، دروازه‌ها و سرورهای شبکه است. شبکه LoRaWAN از توپولوژی ستاره‌ای پیروی می‌کند؛ به این معنی که گره‌های انتهایی با یک گام به دروازه‌ها متصلند و دروازه‌ها نیز از طریق یک شبکه پشتی با یک گام با سرورهای شبکه در ارتباطند. برخلاف اکثر شبکه‌ها، در LoRaWAN گره‌های انتهایی به دروازه خاصی متصل نیستند؛ به این معنی که آن‌ها بسته‌های خود را پخش می‌کنند. به بیان دیگر، پیام هر گره توسط هر دروازه‌ای که در محدوده ارتباطی آن گره قرار داشته باشد دریافت می‌شود. پس از آن، دروازه‌ها بسته‌ها را به سرور شبکه ارسال می‌کنند. از آنجایی که ممکن است سرور شبکه یک بسته را چندین بار و از دروازه‌های مختلف دریافت کند، بسته‌ای که با قوی‌ترین سیگنال دریافت شده است را نگه می‌دارد و بقیه را حذف می‌کند.

۲.۲ طرح تطبیق نرخ داده در LoRaWAN

در شبکه‌های LoRaWAN، طرح تطبیق نرخ داده ارائه شده است تا نرخ ارسال داده هر گره با شرایط کانال ارتباطی‌اش تطبیق یابد. تطبیق نرخ داده به منظور افزایش قابلیت اطمینان و مقیاس‌پذیری شبکه و کاهش مصرف انرژی گره‌ها انجام می‌شود. همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، با تنظیم پویای پارامترهای انتقال می‌توان نرخ داده را برای هر گره تنظیم کرد. در این پروژه تمرکز بر روی تنظیم فاکتور گسترش و قدرت انتقال گره‌هاست. افزایش هر یک از این دو پارامترها نرخ داده را کاهش داده و مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. فاکتور گسترش برای هر گره با دو هدف اصلی تنظیم می‌شود. هدف اول این است که امکان برخورد بسته‌ها کاهش یابد؛ زیرا بسته‌هایی که هم‌زمان در یک کانال با فاکتورهای گسترش متفاوت ارسال شوند با هم برخورد نمی‌کنند. هدف دوم این است که برای هر گره، فاکتور گسترش متناسب با فاصله‌ی آن گره از دروازه‌ها و شرایط کانال ارتباطی تنظیم شود؛ زیرا با افزایش فاکتور گسترش، نرخ داده کاهش می‌یابد، اما تضعیف سیگنال کمتر می‌شود. به بیان دیگر، می‌توان از فاکتورهای گسترش بیشتر برای گره‌هایی استفاده کرد که از دروازه‌ها دورتر و از فاکتورهای گسترش کمتر برای گره‌هایی استفاده کرد که به دروازه‌ها نزدیک‌تر هستند. قدرت انتقال هر گره نیز باید طبق شرایط کانال طوری تنظیم شود که تعادل بین مصرف انرژی گره و قدرت سیگنال برای ترجمه در گیرنده برقرار شود.

تنظیم پارامترهای ذکر شده توسط الگوریتم تطبیق نرخ داده انجام می‌گیرد که قسمتی از آن در سرور شبکه و قسمت دیگر داخل هر گره اجرا می‌شود. الگوریتم تطبیق نرخ داده‌ای که در داخل هر گره اجرا می‌شود توسط اتحاد LoRa مشخص شده است [۳]. این قسمت از الگوریتم نسبت به الگوریتمی که در سرور شبکه اجرا می‌شود بسیار ساده‌تر است تا مصرف انرژی گره‌ها تا حد امکان کاهش یابد. در صورتی که بسته‌های ارسال شده یک گره در انتقال فراسو ۲۴ توسط هیچ دروازه‌ای دریافت نشوند، این قسمت از الگوریتم با کاهش نرخ داده، دامنه ارتباطی را افزایش می‌دهد. به بیان دقیق‌تر، اگر یک گره هیچ بسته‌ای در اتصال فرسوسو ۲۵ خود تا مدت قابل تنظیمی دریافت نکند، فاکتور گسترش انتقال‌های بعدی گره افزایش یافته تا دامنه ارتباطی، و به تبع امکان دریافت بسته توسط دروازه‌ها، افزایش یابد.

سرور شبکه وظایف متعددی دارد، از جمله تطبیق نرخ داده هر گره با توجه به بسته‌های دریافت شده. آن قسمت از الگوریتم تطبیق نرخ داده که در سرور شبکه اجرا می‌شود، برای هر گره، یک لیست نگه می‌دارد که شامل شمارنده فریم ۲۶، نسبت سیگنال به نویز (SNR) ۲۷ و نوع دروازه ۲۸ آخرین بیست بسته منحصر بفرد دریافت شده از آن گره است. شمارنده فریم شناسه بسته است و برای هر بسته مقداری منحصر بفرد دارد. سرور شبکه با استفاده از این متغیر بسته‌های تکراری را شناسایی و حذف می‌کند. نسبت سیگنال به نویز برای هر بسته محاسبه می‌شود و اگر سرور بسته‌ای تکراری دریافت کند، آن بسته‌ای که نسبت سیگنال به نویز بیشتری دارد را نگه می‌دارد. و در آخر تنوع دروازه تعداد دروازه‌هایی است که آن بسته را دریافت کرده‌اند. الگوریتم تطبیق نرخ داده‌ای که در سرور شبکه اجرا می‌شود با استفاده از این اطلاعات دستورات مناسب برای تغییر فاکتور گسترش و قدرت انتقال را برای گره‌ها ارسال می‌کند.

-
- 14 Semtech
 - 15 Data link layer
 - 16 Network layer
 - 17 LoRa Alliance
 - 18 Unlicensed sub-gigahertz frequency bands
 - 19 Chirp Spread Spectrum
 - 20 Modulation
 - 21 Spreading Factor
 - 22 Transmission power
 - 23 Decibel-milliwatts
 - 24 uplink transmission
 - 25 downlink transmission
 - 26 Frame counter
 - 27 Signal to Noise Ratio
 - 28 Gateway diversity

۳. کارهای مرتبط

الگوریتم تطبیق نرخ داده اصلی در [۳] ارائه شده است. در [۴] نشان داده شده است که [۳] در شبکه‌هایی که تغییرات کیفیت کانال‌ها نزدیک به صفر باشد عملکرد بسیار خوبی دارد، اما در شبکه‌هایی که واریانس کیفیت کانال‌ها زیاد باشد عملکردش به شدت افت می‌کند. به همین دلیل [۴] الگوریتمی ارائه داده‌است که واریانس بالای کانال‌های ارتباطی را در نظر بگیرد و از این جهت الگوریتم تطبیق نرخ داده اصلی را بهبود دهد. هدف از الگوریتم ارائه شده در [۵] بهبود [۴] بوده که با استفاده از شبیه‌سازی نشان داده‌است که الگوریتم ارائه شده‌اش از [۴]، به خصوص در شبکه‌هایی که واریانس کیفیت کانال‌ها بیشتر باشد، بهتر عمل می‌کند. در [۶] نشان داده شده‌است که الگوریتم تطبیق نرخ داده اصلی در شبکه‌هایی که گره‌های انتهایی متحرک هستند بسیار ضعیف عمل می‌کند و به همین جهت الگوریتمی ارائه داده‌است که تحرک گره‌های انتهایی را در نظر بگیرد. در ادامه هر یک از این الگوریتم‌ها به طور مختصر شرح داده می‌شوند.

در [۳]، فرض بر این است که مکانیزم اصلی از دست رفتن بسته‌ها تداخل با سایر گره‌های شبکه و همچنین سایر شبکه‌هایی است که از باند‌های فرکانسی یکسان استفاده می‌کنند. به بیان دیگر، در این الگوریتم واریانس کیفیت کانال‌ها در نظر گرفته نشده‌است. از این رو، سرور شبکه برای تخمین کیفیت کانال‌ها از حداکثر مقادیر نسبت سیگنال به نویز آخرین بیست بسته دریافت‌شده استفاده می‌کند. این الگوریتم برای کانال‌های بدون واریانس بهترین عملکرد را دارد اما هنگامی که واریانس کیفیت کانال‌ها افزایش یابد، کارایی و قابلیت اطمینان آن به طور قابل توجهی افت می‌کند. علاوه بر این، این الگوریتم گره‌های انتهایی متحرک را در نظر نگرفته‌است.

الگوریتم ارائه شده در [۴]، به جای استفاده از حداکثر مقادیر نسبت سیگنال به نویز، از میانگین آن‌ها برای تخمین کیفیت کانال‌ها استفاده می‌کند. از این رو، این الگوریتم در شبکه‌هایی که واریانس کیفیت کانال‌ها زیاد باشد، بهتر از [۳] عمل می‌کند. با کمک شبیه‌سازی نشان داده شده‌است که بهینه‌سازی‌های پیشنهادی این الگوریتم در مقایسه با [۳] باعث قابل اطمینان‌تر شدن و کاهش مصرف انرژی شبکه‌هایی شده‌است که واریانس کیفیت کانال بالایی دارند. اما این الگوریتم نیز تحرک گره‌های انتهایی را در نظر نگرفته‌است.

الگوریتم پیشنهاد شده در [۵]، قابلیت اطمینان شبکه را حتی بیش از [۴] افزایش می‌دهد. در این الگوریتم، از میانگین وزنی منظم^{۲۹} به عنوان یک روش تصمیم‌گیری در تعیین فاکتور گسترش و قدرت انتقال هر گره استفاده می‌شود. این الگوریتم ابتدا لیست نسبت سیگنال به نویزها را به ترتیب نزولی مرتب می‌کند. سپس برای هر المان لیست وزنی را با استفاده از نرخ از دست رفتن بسته‌ها^{۳۰} محاسبه می‌کند. این وزن محاسبه می‌شود تا کیفیت و واریانس کانال در تعیین پارامترهای انتقال در نظر گرفته شود. بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام شده، این الگوریتم نسبت به الگوریتم ارائه شده در [۴] در شرایطی که کیفیت کانال‌ها تغییرات زیادی داشته باشد عملکرد بهتری دارد؛ زیرا رویکرد بدبینانه‌تری را در پیش می‌گیرد. اما این الگوریتم نیز، مانند دو الگوریتم قبلی، تحرک گره‌های انتهایی را در نظر نگرفته‌است.

الگوریتم ارائه شده در [۶]، برخلاف الگوریتم‌هایی که در پیش ذکر شد، دو الگوی تحرک زیگزاگ و مربع را برای گره‌ها در نظر گرفته‌است. این الگوریتم محل گره‌ها را با توجه به تکنیک تریلاتیراسیون^{۳۱} تخمین می‌زند. استفاده از این تکنیک ملزم آن است که بسته‌ها توسط حداقل سه دروازه دریافت شوند. همچنین جابجایی گره‌ها را بر اساس جابجایی‌های قبلی آن‌ها تخمین می‌زند. علاوه بر این، ده حالت انتقال مختلف با فاکتورهای گسترش و پهنای باندهای مختلف را در نظر گرفته و حالت‌ها را بر اساس شاخص قدرت سیگنال دریافتی^{۳۲} آن‌ها به گره‌ها اختصاص می‌دهد. بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده، عملکرد این الگوریتم، به ویژه در شبکه‌های دارای گره‌های متحرک، بهتر از [۳] است.

۴. بیان مسأله

در برخی کاربردهای شبکه‌های LoRaWAN، مانند شبکه‌ای از پهبادها، ممکن است گره‌های انتهایی تحرک داشته باشند. کانال‌های ارتباطی این گره‌ها به دلیل حرکتشان پیوسته در حال تغییرند. الگوریتم تطبیق نرخ داده این شبکه‌ها باید هنگام تعیین پارامترهای انتقال هر گره، تحرک آن و به تبع نحوه تغییر کیفیت کانال ارتباطیش را در نظر بگیرد.

در کارهای پیشین، تعیین پارامترهای انتقال بر اساس نسبت سیگنال به نویز یا شاخص قدرت سیگنال دریافتی آخرین بیست بسته انجام می‌شد. اما در این پروژه هدف این است که با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نحوی حرکت گره و تغییر کیفیت کانال ارتباطیش را بتوان آموخت و پیش‌بینی کرد. این به این معناست که الگوریتم تطبیق نرخ داده در سرور شبکه بتواند برای هر گره در زمان‌های متفاوت فاکتور گسترش و قدرت انتقال را **طوری تنظیم کند تا نسبت بسته‌های دریافتی افزایش، و مصرف انرژی به ازای هر دریافت موفقیت‌آمیز کاهش یابد.** این باعث می‌شود که دقت سرور شبکه در تعیین این پارامترها بالاتر رود. در نتیجه قابلیت اطمینان شبکه و مقیاس‌پذیری آن، به خصوص در شبکه‌هایی با گره‌های انتهایی متحرک، افزایش می‌یابد. برای ارزیابی الگوریتم ارائه شده از شبیه‌سازی استفاده می‌شود. همچنین از دو پارامتر نسبت بسته‌های دریافتی و مصرف انرژی به ازای هر دریافت موفقیت‌آمیز برای مقایسه این الگوریتم با دیگر الگوریتم‌های مشابه استفاده می‌شود. شبیه‌سازی به ازای تعداد گره‌های متفاوت انجام می‌شود تا مقیاس‌پذیری شبکه نیز ارزیابی شود.

29 Ordered Weighted Averaging

30 Packet Loss Ratio

28 The trilateration technique

32 Received Signal Strength Indicator (RSSI)

- [١] Adelantado, Ferran, et al. "Understanding the limits of LoRaWAN." IEEE Communications magazine ٥٥.٩ (٢٠١٧): ٣٤-٤٠.
- [٢] LoRa Alliance, "LoRaWAN specification (V١.١)," Jul. ٢٠١٧.
- [٣] The Things Network, "The Thing Network Wiki: Adaptive Data Rate," <https://www.thethingsnetwork.org/wiki/LoRaWAN/ADR>, ٢٠١٧, [Online; accessed ٨th November ٢٠٢٠].
- [٤] Slabicki, Mariusz, Gopika Premsankar, and Mario Di Francesco. "Adaptive configuration of LoRa networks for dense IoT deployments." NOMS ٢٠١٨-٢٠١٨ IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE, ٢٠١٨.
- [٥] Babaki, Jaber, Mehdi Rasti, and Rojin Aslani. "Dynamic Spreading Factor and Power Allocation of LoRa Networks for Dense IoT Deployments." ٢٠٢٠ IEEE ٣١st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. IEEE.
- [٦] Benkahla, Norhane, et al. "Enhanced ADR for LoRaWAN networks with mobility." ٢٠١٩ ١٥th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC). IEEE, ٢٠١٩.