



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

گزارش اول درس تخصیص منابع

عنوان پروژه
کنترل توان و فاکتور گسترش در شبکه LoRaWAN

نگارش
جابر بابکی

استاد راهنما
دکتر مهدی راستی

خرداد ۱۳۹۸

۱ مقدمه

چندین فناوری شبکه‌های دوربرد با توان پایین (LPWAN) در سال‌های اخیر ارائه شده است که امکان اتصال دستگاه‌ها در محدوده‌ای وسیع، با مصرف توان (باتری) کم و نرخ داده کم را فراهم می‌کند. این ویژگی‌ها فرصت عالی را ویژه راهکارهای اینترنت اشیا (IoT) بوجود آورده است [1]. شبکه LoRaWAN در سال‌های گذشته به دلیل مصرف انرژی کمتر، هزینه کمتر و متن باز بودن و استفاده از باند فرکانسی آزاد مورد توجه صنعت و دانشگاه قرار گرفته است [2]. شبکه LoRaWAN به عنوان شبکه ارتباطی IoT می‌تواند هزاران اشیاء را به دلیل Long Range بودن تحت پوشش قرار دهد. تحت پوشش قرار دادن تعداد زیادی اشیاء هر چند می‌تواند به عنوان مزیتی برای شبکه LoRaWAN عنوان شود اما افزایش تعداد دستگاه‌های انتهایی در شبکه LoRaWAN می‌تواند به عنوان تهدیدی بر روی قابلیت اطمینان شبکه باشد و افزایش نرخ تداخل بسته را به دنبال داشته باشد که در نتیجه باعث تلف شدن انرژی شود [3]. یک راهکار برای جلوگیری از این چالش تنظیم دینامیک پارامترهای تاثیر گذار در شبکه LoRaWAN است. اگرچه در مقالات منتشر شده اخیر عملکرد شبکه LoRaWAN را مورد بررسی قرار دادند اما تاثیر پارامترها تاثیر گذار در شبکه LoRaWAN را در شرایط کانالی متفاوت بررسی نشده است در واقع هدف این پروژه ارائه الگوریتمی جهت تنظیم پارامترهای تاثیر گذار در شبکه LoRaWAN است به گونه ای که در تمام شرایط کانالی با نویز متفاوت، تنظیم درستی از پارامترها را انجام دهند.

۱.۱ مروری بر شبکه LoRaWAN

شبکه LoRaWAN از دو بخش کلی LoRa و LoRaWAN تشکیل شده است که در واقع هر یک از این بخش‌ها اشاره به لایه ای در پشته پروتکل دارد. LoRa در واقع مدولاسیون لایه فیزیکی است که توسط شرکت Semtech توسعه داده شده است در لایه بالاتر LoRaWAN قرار دارد که مشخصات این لایه توسط LoRa Alliance مستند شده است [4]. و پروتکل دسترسی به کانال را شرح داده است.

لایه فیزیکی شبکه LoRaWAN از تکنیک طیف گسترده جاروب (CSS) برای کد کردن سیگنال‌های ورودی استفاده می‌کند استفاد از این تکنیک قابلیت دوربرد با توان پایین در طیف فرکانسی زیر یک گیگا هرتز را فراهم می‌کند. در هر انتقال LoRa پارامترهای مهم و تاثیر گذار فاکتور گسترش، نرخ کد گذاری، توان ارسالی، و پهنای باند وجود دارند. ترکیب این پارامترها در برد ارتباطی و نرخ ارسالی و مقاومت در برابر

نویز تاثیر گذار است. شبکه LoRaWAN برای دسترسی به کانال ارتباطی از پروتکل ALOHA استفاده می کند. که استفاده از این پروتکل باعث کم مصرف شدن شبکه LoRaWAN شده است [4]. در شبکه LoRaWAN یک نود به دروازه خاصی متصل نیست بلکه پیامی که توسط نود ارسال می شود توسط همه دروازه های در دسترس دریافت می شود سپس دروازه ها پیام دریافت شده را از طریق پروتکل IP به سمت سرور ارسال می کند [4].

۲ الگوریتم تطبیق لینک در شبکه LoRaWAN

شبکه LoRaWAN بر بستر لایه فیزیکی LoRa هزاران نود را تحت پوشش قرار می دهد. تنظیم پارامترهای ارسال در شبکه LoRaWAN بر مقیاس پذیری و قابلیت اطمینان شبکه LoRaWAN تاثیر گذار است. در حالت کلی طراحی ADR (Adaptive Data Rate) تنظیمی است از توان و فاکتور گسترش که به هدف دو هدف اصلی انجام می شود ۱- افزایش ظرفیت شبکه ۲- ماکزیمم کردن عمر باتری نودها [5]. در واقع در یک الگوریتم تطبیق لینک، link budget که مجموع gain و loss بین نود و دروازه است تخمین زده می شود و سپس بر اساس این تخمین فاصله نود با دروازه را محاسبه و بر اساس این فاصله توان و فاکتور گسترش را برای نود تعیین و در پیام فروسو برای نود ارسال می شود [5].

Algorithm 2 ADR-NET

```

1:  $SNR_m \leftarrow \max(\text{SNR of last 20 frames})$ 
2:  $SNR_{req} \leftarrow \text{demodulation floor}(\text{current data rate})$ 
3:  $deviceMargin \leftarrow 10$ 
4:  $SNR_{margin} \leftarrow (SNR_m - SNR_{req} - deviceMargin)$ 
5:  $steps \leftarrow \text{floor}(SNR_{margin}/3)$ 
6: while  $steps > 0$  and  $SF > SF_{min}$  do
7:    $SF \leftarrow SF - 1$ 
8:    $steps \leftarrow steps - 1$ 
9: while  $steps > 0$  and  $TP > TP_{min}$  do
10:   $TP \leftarrow TP - 3$ 
11:   $steps \leftarrow steps - 1$ 
12: while  $steps < 0$  and  $TP < TP_{max}$  do
13:   $TP \leftarrow TP + 3$ 
14:   $steps \leftarrow steps + 1$ 
15: end
```

شکل ۱: الگوریتم ADR [6]

در مقاله [6] که توسط شرکت Semtech منتشر شده است الگوریتم ADR که در شکل ۱ نشان داده شده را شرح داده. بر اساس این الگوریتم ADR که در سرور شبکه LoRaWAN اجرا می‌شود به ازای هر نود ۲۰ مقدار بزرگترین SNR اخیراً دریافت شده از دروازه به همراه تعداد دروازه‌های دریافت شده بسته و همچنین شماره بسته را در جدولی با id مربوط به همان کاربر قرار می‌دهد. سپس بزرگترین مقدار این جدول در متغیر SNRm قرار می‌گیرد، مقدار حداقل SNR مورد نیاز برای آخرین بسته دریافتی که بر اساس فاکتور گسترش تعیین می‌شود هم در متغیر SNRreq قرار می‌گیرد حاصل تفریق مقدار بزرگترین SNR در بین ۲۰ بسته اخیر از SNRreq و margin که در واقع مقداری جهت تنظیم نرخ ارسال کل شبکه است را در متغیر SNRmargin قرار می‌دهیم. SNRmargin را بر ۳ تقسیم کرده تا تعداد گام‌ها برای افزایش یا کاهش توان و فاکتور گسترش را بدست آوریم اگر گام‌های بدست آمده عددی بزرگتر از صفر باشد نشان دهنده این است که نود به دروازه نزدیک است و ابتدا فاکتور گسترش و سپس توان را کاهش می‌دهد اگر حاصل تفریق عددی کوچکتر از صفر باشد نشان دهنده این است که دستگاه دور از دروازه است و به همین جهت توان دستگاه را افزایش می‌دهیم.

۳ راهکارهای ارائه شده برای کنترل توان و فاکتور گسترش

راهکارهایی که برای کنترل توان و فاکتور گسترش در شبکه LoRaWAN وجود دارد به دو دسته راهکارهای Link-based و راهکار Network-aware تقسیم می‌شود. در روش Link-based پارامترهای ارتباطی بین نود و دروازه به ازای هر نود تنظیم می‌شود. و در روش Network-aware هر گره بر اساس الگوریتمی که در نود تعبیه شده است اقدام به تنظیم توان و فاکتور گسترش می‌کند [7].

در مقاله [8] یک راهکار Network-aware برای کنترل توان و فاکتور گسترش ارائه داده است. مقاله یک مسئله بهینه سازی برای بدست آوردن توزیعی از فاکتور گسترش با هدف بهینه کردن میزان خطای بسته به صورت منصفانه را ارائه کرده است. به همین منظور تابع هدف مسئله را برابر با احتمال اینکه حداقل یک تداخل با فاکتور گسترش یکسان برابر رخ دهد، قرار داده است و با استفاده از روش Min-Max مقدار بهینه فاکتور گسترش با هدف بهینه کردن میزان خطای بسته به صورت منصفانه بدست آمده است:

$$\text{Min Max}_s P_{\text{Coll},s}$$

$$\sum_{s=7}^{12} P_s = 1$$

P_{coll} برابر است احتمال اینکه حداقل یک تداخل با فاکتور گسترش یکسان رخ دهد و P_s برابر است با کسری از دستگاه‌های انتهایی که از فاکتور گسترش S در حال استفاده و در حال ارسال هستند. با حل مسئله بالا مقدار متغیر تصمیم گیری P_s برابر است با:

$$p_s = \frac{S}{2^S} / \sum_{i=7}^{12} \frac{i}{2^i}$$

با توجه به حل مسئله بالا در یک شبکه LoRaWAN با یک دروازه و N نود، بهترین توزیع فاکتور گسترش با هدف بهینه کردن نرخ خطا بر اساس جدول زیر است:

	7	8	9	10	11	12
%	45.6	25.5	14.6	7.4	4.6	2.3

جدول ۱: توزیع فاکتور گسترش

در مقاله [8] با توجه به حل مسئله و مقدار فاکتور گسترش‌های بدست آمده الگوریتم کنترل توان و فاکتور گسترش ارائه شده است که ابتدا نودها را بر اساس فاصله با دروازه مرتب می‌کند سپس فاکتور گسترش را بر اساس توزیع بالا به نودها تخصیص می‌دهد و نودهایی که نزدیک دروازه هستند فاکتور گسترش پایین و نودهایی که دور از دروازه هستند فاکتور گسترش بالا می‌گیرند.

در مقاله [9] به مانند مقاله [8] یک راهکار Network-aware ارائه داده است با این تفاوت که در مقاله [8] پهنای باند کاربران را ثابت فرض کرده است اما در این مقاله پهنای باند به عنوان یک درجه آزادی و یک انتخاب توسط نودها می‌تواند صورت بگیرد. با توجه به حل مسئله ای که در مقاله انجام شده است توزیع فاکتور گسترش به صورت زیر است:

$$P_{sf,bw} = \frac{P_{sf} * bw}{\sum_{i \in BWS} i} \quad \forall sf \in SF \ \& \ bw \in BWS$$

الگوریتمی که در این مقاله ارائه شده است به این صورت است ابتدا محیط تحت پوشش دروازه را به ناحیه‌هایی بر اساس RSSI تقسیم می‌کند. سپس در هر ناحیه بر اساس رابطه بالا فاکتور گسترش را به نود تخصیص می‌دهد.

در مقاله [7] یک راهکار Link-based برای کنترل توان و فاکتور گسترش ارائه شده است، این مقاله ابتدا بررسی از الگوریتم ارائه شده در مقاله [6] انجام داد و عملکرد این الگوریتم را در وضعیت کانالی مختلف بررسی کرده است و نشان داده شده است که در صورتی که وضعیت کانال دارای نویز زیاد باشد ماکزیمم SNR بیست اخیر یک تخمین خوشبینانه است به همین جهت الگوریتم $ADR+$ را ارائه کرده است که میانگین بیست بسته اخیر را بدست می‌آورد و نتایج بدست آمده نشان داده است که در وضعیتی که کانال کیفیتی بد داشته باشد نرخ دریافت بسته نسبت به الگوریتم ADR عدد بالاتری بدست می‌آید.

در مقاله [10] تغییراتی را در الگوریتم ADR ایجاد کرده است و موقعه ای که تعداد گام‌ها کوچکتر از صفر باشد ابتدا توان را کاهش می‌دهد و در صورتی توان ماکزیمم شده باشد و تعداد گام‌ها صفر نشده باشد در مرحله بعد فاکتور گسترش را افزایش می‌دهد. این مقاله همچنین نتایج تغییرات را در متلب شبیه سازی کرده است.

۴ سیستم مدل و بیان مسئله

سیستم ارائه شده در پروژه در حالت‌های مختلف ارزیابی شده است ابتدا سیستم را با یک دروازه و با سایز سل به ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر به طوری که همه نودها در پوشش باشند فرض شده است و نودها از ۱۰۰ تا ۷۰۰ افزایش می‌باید و سیستم با الگوریتم ADR و $ADR+$ و ADR-Best (الگوریتمی که در پروژه ما ارائه می‌شود) تست می‌کنیم و نتایج را در حالت‌هایی که وضعیت کانال متفاوت باشد برای نرخ دریافت بسته و انرژی مصرفی نمایش می‌دهیم. در ارزیابی دیگری که انجام خواهیم داد سیستم را با تعداد ۲۰۰ نود و با سایز ۶۰۰ متر در ۶۰۰ متر در حالتی که تعداد دروازه از ۱ تا ۳ افزایش می‌باید را با الگوریتم‌های ADR و $ADR+$ و ADR-Best تست می‌کنیم و نتایج را در حالت‌هایی که وضعیت کانال متفاوت باشد برای نرخ دریافت بسته و انرژی مصرفی نمایش می‌دهیم. برای تمام شبیه سازی‌ها زمان تولید بسته و طول بسته ثابت فرض شده است همچنین از log-normal برای path loss استفاده شده است.

۵ بیان چالش‌های موجود و ارائه راهکاری جهت بهبود ADR

با توجه به بررسی‌های مقالات [8-11] ارائه یک الگوریتم Link-based طرحی قابل پیاده سازی در سرور می‌باشد اما چالش اساسی که در روش Link-based وجود دارد محاسبه توان و فاکتور گسترش هر نود و ارسال این پارامترها به ازای هر نود می‌باشد این ارسال‌ها با توجه به محدودیت‌هایی که در فروسو برای نودهای شبکه‌های LoRaWAN وجود دارد، سربار زیادی ایجاد میکند. چالش دیگر این الگوریتم تخمینی است که الگوریتم ADR محاسبه می‌کند به این صورت است که ماکزیمم مقدار SNR بیست بسته اخیر را بدست می‌آورد، این حالت یک حالت خوشبینانه است به دلیل اینکه در این حالت وضعیت کانال همیشه با نویز بسیار کم فرض کرده است این در حالی است که نود ممکن است در حال حرکت باشد و یا در وضعیت کانالی متفاوتی قرار بگیرد به همین جهت ماکزیمم مقدار SNR بیست بسته، یک مقدار خوشبینانه و در بعضی مواقع غیر دقیق است. یکی دیگر از چالش‌هایی که در این روش وجود دارد این است که در موقع که تعداد گام‌ها کمتر از صفر شود فقط توان افزایش می‌یابد این شرایط می‌تواند به این صورت تغییر کند که ابتدا توان افزایش یابد و سپس برای گام‌های باقی مانده فاکتور گسترش افزایش یابد. دیگر چالشی که می‌توان برای این الگوریتم ذکر کرد این است که SNRmargin بدست آمده را تقسیم بر ۳ می‌شود تا تعداد گام‌های کاهش یا افزایش توان و فاکتور گسترش بدست بیاید این شرایط در حالی هست که تعداد دروازه‌های در دسترس نود یکی باشد اما اگر تعداد دروازه در دسترس بیشتر باشد باید بر عدد بزرگتری تقسیم شود به این دلیل که افزایش تعداد دروازه‌ها قابلیت اطمینان را افزایش می‌دهد.

بررسی‌ها در مقالات [7-10] نشان می‌دهد استفاده از ماکزیمم یا میانگین SNR بیست بسته اخیر نمی‌تواند در همه شرایط کانالی عملکرد مناسبی داشته باشد به همین جهت استفاده از یک میانگین گیری وزنی می‌تواند عملکرد مناسبی در همه شرایط کانالی داشته باشد این مورد می‌تواند با افزایش نویز در کانال و شبیه سازی نشان داده شود. مورد دیگری که در مقالات [7-10] بررسی نشده است وجود چندین دروازه در محدوده دسترسی نود است در حالتی که چندین دروازه در دسترس نود است باید الگوریتم ADR برای بدست آوردن تعداد گام تقسیم بر عدد بزرگتری شود تا تعداد گام‌ها کمتر شود و در نتیجه افزایش و یا کاهش توان و فاکتور گسترش با سرعت کمتری انجام شود. نتیجه تغییرات اعمال شده در الگوریتم ADR را ADR-Best نام گذاری کردیم.

۶ مراحل تکمیل پروژه

جهت تکمیل پروژه مراحل زیر باید انجام شود:

۱- نصب شبیه ساز ++Omnet به دلیل فراهم آوردن سیستم آزمایشی با چند صد نود و سرعت بالا شبیه سازی.

۲- نصب و راه اندازی فریمورک Flora که در مقاله [10] ارائه شده به دلیل ارائه شبکه LoRaWAN همراه با سرور شبکه LoRaWAN.

۳- شبیه سازی الگوریتم‌های ارائه شده ADR و ADR+ در فریمورک Flora

۴- بدست آوردن تابعی جهت وزن دادن به بیست SNR اخیر

۵- اثبات تابع وزن دهی بدست آمده برای بهتر بودن در شرایط کانالی متفاوت و عملکرد مشابه با ماکزیمم و میانگین در حالت خاص.

۶- انجام شبیه سازی و ارزیابی‌های مختلف و مقایسه با دیگر الگوریتم‌های Link-based

۷ منابع و مراجع

[1] Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara, “Low Power Wide Area Networks: An Overview”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Secondquarter 2017 Vol 19

[2] LoRa Alliance, “LoRaWAN What is it? A technical overview of LoRa and LoRaWAN,” Nov. 2015. [Online]. Available: <https://www.lora-alliance.org/portals/0/documents/whitepapers/LoRaWAN101.pdf>

[3] M. C. Bor, U. Roedig, T. Voigt, and J. M. Alonso, “Do LoRa Low-Power Wide-Area Networks Scale?” in Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, ser. MSWiM '16. New York, NY, USA: ACM, 2016, pp. 59–67. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/2988287.2989163>

[4] Ferran Adelantado, Xavier Vilajosana, Pere Tuset-Peiro, Borja Martinez, and Joan Melia, “Understanding the limits of LoRaWAN”, *IEEE Communications Magazine*, 8 September 2017

[5] LoRa Alliance, “LoRaWAN Specification (V1.0.2),” Jul. 2016.

- [6] Semtech, “*LoRaWAN – simple rate adaptation recommended algorithm*”, Semtech WIRELESS & SENSING PRODUCTS, Oct 2016
- [7] Mariusz Slabicki, Gopika Premankar, Mario Di Francesco, “*Adaptive Configuration of LoRa Networks for Dense IoT Deployments*” NOMS 2018 - 2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, Taipei, Taiwan, April 2018.
- [8] B. Reynders, W. Meert, and S. Pollin, “Power and Spreading Factor Control in Low Power Wide Area Networks,” in Proceedings of the IEEE ICC, 2017.
- [9] Khaled Q. Abdelfadeel, Victor Cionca, Dirk Pesch, “*Fair Adaptive Data Rate Allocation and Power Control in LoRaWAN*”, IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), 2018.
- [10] Vojtěch Hauser, Tomáš Hégr, “*Proposal of Adaptive Data Rate Algorithm for LoRaWAN-based Infrastructure*”, IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud, 2017.