



دانشکده مهندسی کامپیوتر
و فناوری اطلاعات



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

فرم تعریف پروژه فارغ التحصیلی دوره کارشناسی

تاریخ:

شماره:

عنوان پروژه: پیاده سازی و ارزیابی مصرف انرژی و نرخ داده شبکه ارتباطی LoRaWAN در سناریوهای ثابت و متحرک در محیط-های شهری	
استاد راهنمای پروژه: دکتر مهدی راستی	امضاء:
مشخصات دانشجو:	
نام و نام خانوادگی: امیررضا غفوری	گرایش: مهندسی کامپیوتر (شبکه، هوش مصنوعی)
شماره دانشجویی: ۹۵۳۱۸۰۵	ترم ثبت نام پروژه: پاییز ۹۹
داوران پروژه:	
۱-	امضاء داور:
۲-	امضاء داور:
<p>شرح پروژه (در صورت مشترک بودن بخشی از کار که بعهد دانشجو می باشد مشخص شود):</p> <p>شبکه ارتباطی LoRaWAN یکی از مطرح ترین شبکه های دور برد با مصرف انرژی پایین (LPWAN) در کاربرد های اینترنت اشیا می باشد. این فناوری دارای ۴ جزء اصلی شامل دستگاه انتهایی (end-device)، دروازه (gateway)، سرور شبکه (network server) و سرور کاربرد (application server) می باشد. از ویژگی های این فناوری می توان به برد بسیار بالا (بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر)، مقاومت بالا در برابر نویزهای محیطی (به دلیل استفاده از مدولاسیون CSS) و پشتیبانی از تعداد بسیار بالای گره های انتهایی (هزاران گره انتهایی) اشاره کرد که به محبوبیت این شبکه ارتباطی می افزاید. در این پروژه هدف پیاده سازی یک سیستم اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه ارتباطی LoRaWAN و ارزیابی مصرف انرژی و نرخ داده آن در سناریوهای ثابت (stationary) و متحرک (mobile) در محیط شهری (محیط نامطلوب برای ارتباطات بی سیم).</p>	
<p>وسایل مورد نیاز: برد آردوینو میکرو، مینی کامپیوتر رسپبری پای، ماژول رادیویی لورا (RF95)، ماژول متمرکز کننده iC880a، سنسور رطوبت و دما، آنتن، سیم جامپر، بردبرد</p>	
محل انجام پروژه: مرکز رشد، سطح شهر تهران	تاریخ شروع:

این قسمت توسط دانشکده تکمیل میگردد:

تاریخ تصویب در گروه:	اسم و امضاء:
تاریخ تصویب در دانشکده:	اسم و امضاء:
اصلاحات لازم در تعریف پروژه:	

توجه: پروژه حداکثر یکماه و نیم پس از شروع ترمی که در آن در درس پروژه ثبت نام بعمل آمده است باید به تصویب برسد.

نسخه ۱- دانشکده	نسخه ۲- استاد راهنما	نسخه ۳- دانشجو
-----------------	----------------------	----------------

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۱-۱- شبکه ارتباطی LoRaWAN	۲
۲- مروری بر کارهای پیشین	۴
۳- بیان مسئله	۵
۳-۱- دستگاه انتهایی	۵
۳-۲- دروازه	۶
۳-۳- سرور شبکه	۷
لیست مراجع	۸

۱- مقدمه

اینترنت اشیاء^۱ شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی (چیزها) که شامل سنسورها، نرم‌افزار و سایر فناوری‌ها می‌شود، می‌باشد و هدف آن ایجاد ارتباط بین این اشیاء و تبادل داده میان آن‌ها است. کاربردهایی مانند شهر هوشمند، کشاورزی هوشمند و یا حمل و نقل هوشمند، کاربرد هایی از اینترنت اشیاء هستند که نیازمندی هایی چون پوشش وسیع^۲، مصرف انرژی پایین و مقیاس پذیری^۳ بالا دارند. برای این منظور شبکه هایی مخصوص به این چنین کاربرد های اینترنت اشیاء با نام شبکه های دوربرد با توان پایین (LPWAN)^۴ ابداع شده که از معروف ترین آنها میتوان به SigFox، NB-IoT و LoRaWAN اشاره کرد. هر کدام از این فناوری‌ها مزایا و معایب خود را دارند و بسته به نوع کاربرد و میزان سرمایه و نیازمندی های شبکه میتوان یکی از آنها را انتخاب نمود. شبکه ارتباطی LoRaWAN دارای ویژگی هایی چون برد بسیار بالا (بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر)، مقاومت بالا در برابر نویز (به دلیل استفاده از مدولاسیون^۵ خاص CSS) و مقیاس‌پذیری بسیار بالا (قابلیت پشتیبانی از هزاران گره انتهایی) است. در این پروژه هدف پیاده سازی و ارزیابی مصرف انرژی و نرخ داده این شبکه ارتباطی در سناریوهای ثابت (starionary) و متحرک (mobile) در سطح کلان‌شهر تهران (محیط نویزی و نامطلوب برای ارتباطات بی‌سیم) می‌باشد.

¹ Internet of Things

² Wide coverage

³ Scalability

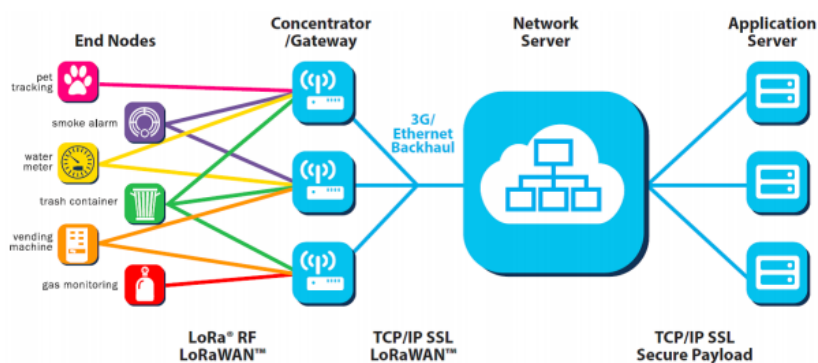
⁴ Low Power Wide Area Network

⁵ Modulation

۱-۱- شبکه ارتباطی LoRaWAN

شبکه ارتباطی که در این پروژه با آن کار خواهیم کرد LoRaWAN می‌باشد. شبکه ارتباطی LoRaWAN یک فناوری ارتباطی دوربرد با توان پایین می‌باشد. حق ساخت لایه فیزیکی ماژول ارتباطی LoRa در اختیار شرکت Semtech می‌باشد، اما برخلاف SigFox، این فناوری متن باز^۶ بوده و می‌توان هر تغییری در لایه‌های بالایی آن ایجاد کرد. از این رو پیاده‌سازی و استفاده از آن بر عهده خود فرد می‌باشد که این امر پیچیدگی کار را زیاد می‌کند اما انعطاف پذیری بالایی را در اختیارمان قرار می‌دهد. از ویژگی‌های این فناوری می‌توان به برد بسیار بالا (به طور میانگین بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر) به دلیل استفاده از مدلاسیون خاص CSS^۷، پشتیبانی از تعداد زیاد دستگاه‌های انتهایی (هزاران دستگاه) به دلیل ساختار معماری ستاره‌ای، نرخ ارسال داده ۲۷ کیلوبیت بر ثانیه در صورت استفاده از مدلاسیون CSS و ۵۰ کیلوبیت بر ثانیه در صورت استفاده از FSK، مقاومت در برابر نویز و مصرف انرژی پایین آن اشاره کرد. همچنین این فناوری نیز از فرکانس‌های بدون پروانه^۸ استفاده می‌کند که محدودیت‌هایی در حجم و تناوب ارسال داده را به دنبال دارد اما برای کاربردهای خاص مطرح شده در ابتدا، با توجه به اینکه حجم و فرکانس ارسال داده پایین می‌باشد، این محدودیت‌ها مشکلی برای سیستم ایجاد نمی‌کند.

فاکتور گسترش^۹ (پارامتر قابل تنظیم در مدلاسیون CSS)، توان ارسالی^{۱۰} و پهنای باند^{۱۱} از پارامترهای قابل تنظیم برای تغییر نرخ داده و برد شبکه ارتباطی LoRaWAN می‌باشند. در شکل ۱ معماری این فناوری را مشاهده می‌کنیم.



شکل ۱- معماری شبکه ارتباطی LoRaWAN

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، شبکه ارتباطی LoRaWAN از چهار جزء شامل دستگاه انتهایی، دروازه، سرور شبکه و سرور کاربرد تشکیل شده‌است. دستگاه‌های انتهایی اطلاعات را از طریق سیگنال رادیویی با پروتکل LoRa ارسال

^۶ Open source

^۷ Chirp Spread Spectrum

^۸ Unlicensed

^۹ Spreading factor

^{۱۰} Transmission power

^{۱۱} Bandwidth

کرده و دروازه ها این اطلاعات را دریافت کرده و توسط یک شبکه ارتباطی قابل اطمینان^{۱۲} مانند 3G/4G یا Ethernet به سرور شبکه ارسال می کنند. سرور شبکه نیز داده ها را جمع آوری کرده و آن ها را به سرور کاربرد ارسال می کند.

¹² Reliable

۲- مروری بر کارهای پیشین

اگرچه از ظهور فناوری LoRaWAN زمان زیادی نمی‌گذرد، تعدادی مقاله روی تحلیل و ارزیابی این فناوری در سناریوهای مختلف و یا پیشنهاد ارتقاء نمونه‌های موجود در بازار دستگاه‌های LoRaWAN کار کرده‌اند [1-11]. در موارد تئوری، کارهای [2-4] ظرفیت فناوری LoRaWAN را از نظر مقیاس‌پذیری و گذردهی گره^{۱۳} بررسی کرده‌اند. در تمام این کارها نتیجه‌گیری شده که برای پشتیبانی از تعداد بالای دستگاه انتهایی باید سیستم LoRaWAN را با دقت پیکربندی کرد. به طور دقیق، در [2]، آثار منفی شبکه‌های چگال^{۱۴} (دارای جمعیت بالای گره انتهایی) LoRaWAN بررسی شده است. از طرفی در [3] بیان شده که در شبکه‌هایی که نیازمندی‌هایی چون تاخیر پایین یا اطمینان دریافت داده اهمیت کمتری دارد، می‌توان شبکه‌های چگال LoRaWAN را پیاده‌سازی کرد. همچنین در [11] یک نمونه پیاده سازی برای تعداد بالای گره انتهایی انجام شده است. در نتیجه برای تضمین مقیاس پذیری شبکه و پشتیبانی از تعداد بالای گره انتهایی دو ملاحظه باید در نظر گرفته شود: ۱- کاهش تعداد بسته های دریافتی به ازای هر گره در روز. ۲- افزایش تعداد دروازه ها [4].

در کارهای [7-10] نتایج به دست آمده از آزمایش‌های عملی در سناریوها و راه‌حل‌های مختلف ارائه شده است. تمرکز این کارها روی ارزیابی کارکرد شبکه LoRaWAN تحت شرایط مختلف محیطی می‌باشد. برای مثال در [7]، پیاده‌سازی واقعی LoRaWAN انجام شده و نتیجه گیری شده که محل و ارتفاع آنتن دروازه نقش بسیار مهمی در عملکرد شبکه دارد. ارزیابی‌ها با به کارگیری سه دروازه مختلف انجام شده است. در [8] نیز یک مطالعه عملی مشابه [7] انجام شده است. در این مورد، نویسنده روی تنظیم و تغییر مشخضه های لایه فیزیکی LoRa و پارامترهای پیکربندی تمرکز کرده که در نتیجه‌ی آن، فاکتور گسترش و نرخ ارسال داده به عنوان فاکتورهای کلیدی که روی پوشش شبکه تاثیر دارند، شناسایی شده اند. یک کار دیگر که روی پوشش LoRa تمرکز کرده است [9] می‌باشد که در سناریوهای داخلی (Indoor) بررسی شده است. نتایج این کار مقاومت LoRa در محیط‌های صنعتی نامطلوب (برای سیگنال های بیسیم) حتی با نرخ ارسال بالا را نشان می‌دهد. از طرفی در [10] پوشش شبکه LoRaWAN را در محیط‌های مختلف و با قرار دادن گره انتهایی روی یک ماشین و یک قایق (سناریو های متحرک) بررسی کرده است.

در این پروژه ما مصرف انرژی و نرخ داده شبکه ارتباطی LoRaWAN را در چند سناریو مختلف در سطح شهر تهران ارزیابی می‌کنیم. در این سناریوها دستگاه‌های انتهایی به صورت ثابت و متحرک در نظر گرفته خواهند شد.

¹³ Node throughput

¹⁴ Dense networks

۳- بیان مسئله

پیاده‌سازی و ارزیابی شبکه LoRaWAN در سطح شهر تهران در سناریوهای مختلف متحرک و ثابت از مواردی است که در کارهای گذشته انجام نشده‌است و ارزیابی دقیقی در این زمینه وجود ندارد. لذا در این پروژه قصد داریم شبکه LoRaWAN را ابته پیاده‌سازی کرده و سپس آن را در سطح شهر تهران آزمایش و ارزیابی کنیم.

برای پیاده‌سازی شبکه ارتباطی LoRaWAN به سه جزء اصلی احتیاج داریم:

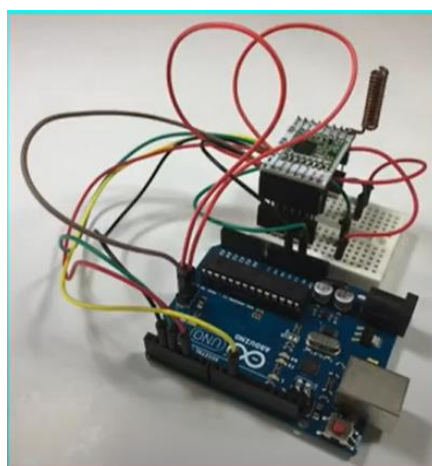
۱- دستگاه انتهایی

۲- دروازه تک کاناله^{۱۵} و دروازه چند کاناله^{۱۶}

۳- سرور شبکه^{۱۷}

۳-۱- دستگاه انتهایی

دستگاه انتهایی یک سخت افزار مجهز به حس گر^{۱۸}، عملگر^{۱۹} و ماژول شبکه ارتباطی^{۲۰} می‌باشد. جمع‌آوری داده‌ها توسط سنسورهای تعبیه شده روی سخت افزار طراحی شده (مبتنی بر Arduino mini) انجام می‌شود. همچنین گره انتهایی مجهز به ماژول ارتباطی LoRa RF95 می‌باشد که یک ارتباط تک کاناله مبتنی بر LoRa را میسر می‌سازد. در شکل ۲ یک دستگاه انتهایی مجهز به ماژول ارتباطی ذکر شده قابل مشاهده است.



شکل ۲- دستگاه انتهایی شبکه LoRaWAN

¹⁵ Single-channel gateway

¹⁶ Multi-channel gateway

¹⁷ Network server

¹⁸ Sensor

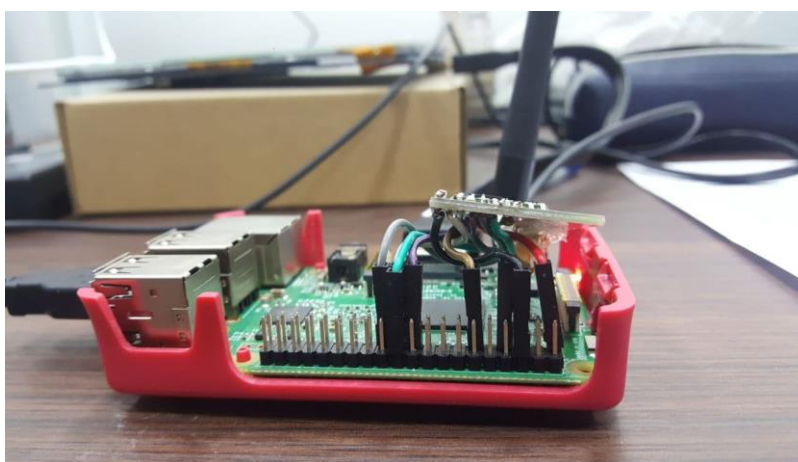
¹⁹ Actuator

²⁰ Communication network module

۳-۲- دروازه تک کاناله و هشت کاناله

در معماری شبکه LoRaWAN یکی از اجزاء دروازه می باشد که نقش آن دریافت داده های ارسال شده از گره های انتهایی و انتقال آن به سرور شبکه است. در این پروژه دو نوع دروازه پیاده سازی می شود:

۱. دروازه تک کاناله: که فقط در یک باند فرکانسی خاص داده ها را دریافت می کند.
 ۲. دروازه هشت کاناله: که می تواند در هشت باند فرکانسی مختلف به طور همزمان داده دریافت کند.
- هر دو این دروازه ها مبتنی مینی کامپیوتر Raspberry pi می باشند. شکل ۳ دروازه تک کاناله و شکل ۴ دروازه هشت کاناله را نمایش می دهند.



شکل ۳- دروازه تک کاناله



شکل ۴- دروازه هشت کاناله

۳-۳- سرور شبکه

یکی از اجزاء یک سیستم اینترنت اشیا پلتفرم آن است که نقش آن جمع‌آوری و مصورسازی و تحلیل داده‌های ارسالی توسط گره‌های انتهایی می‌باشد. معروف‌ترین پلتفرم برای شبکه ارتباطی LoRaWAN که نقش سرور شبکه را در معماری این شبکه ایفا می‌کند پلتفرم The thing network یا به اختصار TTN است [12]. برای راه‌اندازی یک سیستم مبتنی بر LoRaWAN باید ابتدا دروازه را در این پلتفرم ثبت کنیم و پس از آن داده‌های دریافت شده توسط دروازه به این پلتفرم ارسال شده و در آن نمایش داده می‌شوند.

ليست مراجع

1. Herrera-Tapia, J.; Hernandez-Orallo, E.; Tomas, A.; Calafate, C.; Cano, J.-C.; Zennaro, M.; Manzoni, P. Evaluating the use of sub-gigahertz wireless technologies to improve message delivery in opportunistic networks. In Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, (ICNSC 2017), Calabria, Italy, 16–18 May 2017.
2. Georgiou, O.; Raza, U. Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale? *IEEE Wirel. Commun. Lett.* **2017**, *6*, 162–165. [[CrossRef](#)]
3. Mikhaylov, K.; Petäjäjärvi, J.; Hänninen, T. Analysis of the capacity and scalability of the LoRa wide area network technology. In Proceedings of the 22th European Wireless Conference, Oulu, Finland, 18–20 May 2016; pp. 1–6.
4. Bankov, D.; Khorov, E.; Lyakhov, A. On the limits of LoRaWAN channel access. In Proceedings of the International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT), Moscow, Russia, 29–30 November 2016; pp. 10–14.
5. Naoui, S.; Elhdhili, M.E.; Saidane, L.A. Enhancing the security of the IoT LoRaWAN architecture. In Proceedings of the International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wired and Wireless Networks (PEMWN), Paris, France, 22–25 November 2016; pp. 1–7.
6. Weber, P.; Jackle, D.; Rahusen, D.; Sikora, A. IPv6 over LoRaWAN. In Proceedings of the 3rd International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), Offenburg, Germany, 26–27 September 2016; pp. 75–79.
7. Petric, T.; Goessens, M.; Nuaymi, L.; Toutain, L.; Pelov, A. Measurements, performance and analysis of LoRa FABIAN, a real-world implementation of LPWAN. In Proceedings of the IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Valencia, Spain, 4–8 September 2016; pp. 1–7.
8. Augustin, A.; Yi, J.; Clausen, T.; Townsley, W.M. A study of LoRa: Long Range & low power networks for the Internet of Things. *Sensors* **2016**, *16*, 1466.
9. Haxhibeqiri, J.; Karaagac, A.; Van den Abeele, F.; Joseph, W.; Moerman, I.; Hoebeke, J. LoRa indoor coverage and performance in an industrial environment: Case study. In Proceedings of the 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, Cyprus, 12–15 September 2017; pp. 1–8.
10. Petäjäjärvi, J.; Mikhaylov, K.; Roivainen, A.; Hanninen, T.; Pettissalo, M. On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. In Proceedings of the 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, Denmark, 2–4 December 2015; pp. 55–59.
11. Gilson, R.; Grudky, M. LoRaWAN capacity trial in dense urban environment
12. "The things network," [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/>.