

انجام این تمرین به صورت انفرادی امکان پذیر است

شرح تمرین

هدف از این تمرین، آشنایی بیشتر و بررسی شبکه‌های ارتباطی LoRa، NB-IoT و Sigfox است. شبکه LoRa به عنوان یکی از شبکه‌های دوربرد با مصرف توان پایین (Low Power Wide Area Network) در اینترنت اشیاء می‌باشد. در قسمت اول تمرین برای پیاده‌سازی شبکه ارتباطی LoRa و بررسی برخی پارامترهای آن از شبیه‌ساز OMNET++ استفاده خواهیم کرد. سپس در دو قسمت بعدی به صورت تئوری به بررسی ۲ شبکه‌ی ارتباطی دیگر خواهیم پرداخت.

شبیه ساز OMNET++ یک شبیه ساز برای شبکه‌های بی‌سیم و سیمی می‌باشد که با زبان برنامه‌نویسی C++ پیاده‌سازی شده‌است. برای آشنایی بیشتر با این شبیه‌ساز آموزش‌های زیادی در اینترنت موجود می‌باشد که می‌توانید از آنها بهره ببرید. برای مثال، برای آشنایی مقدماتی با این شبیه ساز می‌توانید [این](#) [ویدیو](#) را مشاهده کنید و یا به توضیحات خود سایت [omnetpp](http://omnetpp.com) مراجعه کنید.

برای انجام این تمرین از چارچوب FLoRa که شبکه ارتباطی LoRaWAN را به صورت انتها به انتها شبیه‌سازی کرده است استفاده خواهیم کرد. جزییات مربوط به این چارچوب را می‌توانید در [اینجا](#) مشاهده کنید.

تمارین قسمت LoRa

۱. در ابتدا باید نرم افزار شبیه ساز OMNET++ و چارچوب FLoRa و دیگر چارچوب های مورد نیاز را نصب کنید. برای نصب OMNET++ به سایت آن مراجعه کرده و بر اساس سیستم عامل خود نسخه مناسب را نصب نمایید. (نحوه نصب شبیه ساز OMNET++ و راه اندازی چارچوب FLoRa در آن برای سیستم عامل ها در کانال اطلاع رسانی درس توضیح داده خواهد شد).

یادآوری می شود که تنها نسخه های ذکر شده را دانلود و اقدام به نصب نمایید. به دلیل عدم وجود ماژول **version control** در شبیه ساز OMNET++ در صورت نصب هرگونه نسخه ی نرم افزاری و چارچوب دیگر (به جز نسخه های ذکر شده در فایل راهنمای نصب) با مشکل مواجه خواهید شد و نمی توانید پروژه FloRa را **build** نمایید.

- نسخه 5.2.1 شبیه ساز OMNET++ ([لینک دانلود](#))
- نسخه 3.6.3 فریمورک INET ([لینک دانلود](#))
- نسخه 0.8 فریمورک FloRa ([لینک دانلود](#))

۲. در دایرکتوری چارچوب FLoRa سناریو پیش فرض با نام loRaNetworkTest.ini قرار دارد که شبکه ارتباطی LoRaWAN را با ۱۰ گره (Node)، یک دروازه (Gateway) و یک سرور شبکه شبیه سازی کرده است. در این فایل مقدار پیش فرض پارامترهای شبیه سازی قابل مشاهده است. هر کدام از این پارامترها را به اختصار توضیح دهید.

۳. سناریو پیش فرض را اجرا کنید. با اجرای شبیه سازی، نتایج آن در دایرکتوری simulations/results با نام پیش فرض General-avg-#0 قرار می گیرد. با انتخاب این فایل، آمار هر یک از موارد زیر را در جدولی توضیح دهید:

- آخرین توان ارسال شده توسط هر گره (finalTP)
- آخرین فاکتور گسترش ارسال شده توسط هر گره (finalSP)
- تعداد بسته های ارسالی هر گره (sentPackets)
- انرژی مصرفی هر گره (totalEnergyConsumed)
- مجموع تعداد بسته های دریافت شده در دروازه (LoRa_GWPacketReceived:count)
- مجموع تعداد بسته های دریافت شده در سرور شبکه (totalReceivedPackets)

۴. با ارجاع به [مقاله](#) پارامترهایی که برای تمییز دادن بین محیط شهری و محیط غیرشهری مطرح شده است را توضیح دهید.

۵. همانطور که در درس مطرح شده است، در پروتکل لورا پارامترهای ارسال متعددی وجود دارد که بسته به ترکیب این پارامترها با یکدیگر کارایی شبکه‌ی لورا می‌تواند دستخوش تغییر شود. این پارامترها شامل فاکتور گسترش، توان ارسالی، پهنای باند مورد استفاده و نرخ کدینگ گره می‌باشد. پارامترهای ذکر شده در سناریو پیش‌فرض به ترتیب با نام‌های initialLoRaSF، initialLoRaTP، initialLoRaBW و initialLoRaCR قابل مشاهده هستند. علاوه بر پارامترهای ارسال نودهای لورا، پارامتر تعداد گره‌های موجود در شبکه که با numberOfNodes نشان داده می‌شود، می‌تواند به صورت مستقیم بر کارایی کلی شبکه تاثیرگذار باشد. در این تمرین هدف آن است تا با تغییر ۳ متغیر تعداد گره‌های شبکه، فاکتور گسترش و نوع محیط شبیه‌سازی تاثیر هر یک از این پارامترها را ذخیره و بر اساس این نتایج نمودارهای خواسته شده در قسمت (الف) را رسم کنید.

توجه داشته باشید که به‌ازای هر تغییر، شبیه‌سازی باید اجرا و نتایج آن ذخیره شود. در هر شبیه‌سازی مقدار دیگر پارامترها (به جز فاکتور گسترش، توان ارسالی، تعداد گره و پهنای باند) همان مقدار پیش‌فرض فایل تست باشد. در مجموع باید ۱۲ شبیه‌سازی انجام شود (۳ حالت برای تعداد گره‌ها، ۲ حالت برای فاکتور گسترش و ۲ حالت برای نوع محیط شبیه‌سازی). پارامترهای ذکر شده را طبق مقادیر زیر تغییر دهید:

numberOfNodes {10, 25, 50} ➤

InitialLoRaSF {7, 12} ➤

Simulation Environment {Urban, Suburban} ➤

الف) بر اساس معیارهای زیر و نتایج شبیه‌سازی، نمودارهای خواسته شده را ترسیم کنید.

- نرخ بسته‌های دریافتی (Received packets ratio): عبارت است از تعداد کل بسته‌های دریافتی در **سرور** شبکه (totalReceivedPackets) تقسیم بر تعداد کل بسته‌های ارسال شده توسط همه‌ی گره‌ها (sentPackets).

$$\text{Received Packets Ratio} = \frac{\text{totalReceivedPackets}}{\sum_{n=1}^{\text{number of nodes}} \text{sentPackets}(n)}$$

- میزان مصرف انرژی (mJ): مجموع انرژی مصرفی تمام گره‌ها تقسیم بر تعداد کل بسته‌های ارسال شده توسط همه‌ی گره‌ها (sentPackets).

$$\text{Energy Consumption} = \frac{\sum_{n=1}^{\text{number of nodes}} \text{totalEnergyConsumed}(n)}{\sum_{n=1}^{\text{number of nodes}} \text{sentPackets}(n)} \quad \bullet$$

نمودارهای موردنظر:

✓ نمودار تعداد گره‌ها (محور X) و نرخ بسته‌های دریافتی (محور Y)

✓ نمودار تعداد گره‌ها (محور X) و میزان مصرف انرژی (محور Y)

در کل ۸ نمودار با احتساب ۴ نمودار برای معیار اول و ۴ نمودار برای معیار دوم باید رسم شود. برای راحتی کار می‌توانید نمودارهای خواسته شده را با کد پایتون رسم کنید. (توضیح: به عنوان نمونه در نمودار اول (از ۸ نمودار) که هدف نمایش "نرخ بسته‌های دریافتی" می‌باشد، در محور X تعداد گره‌ها با ۳ مقدار ۱۰، ۲۵ و ۵۰ قرار دارد. نموداری که در این شکل رسم می‌شود، خروجی سناریویی شبیه‌سازی‌ای است که در محیط شهری و به ازای SF=7 انجام شده است. به طور مشابه، نمودار دوم (از ۸ نمودار) خروجی سناریویی شبیه‌سازی‌ای است که در محیط شهری و به ازای SF=12 انجام شده است.)

۶. با بررسی نتایج شبیه‌سازی و نمودارهای به دست آمده به سوالات زیر پاسخ دهید:

الف) در مورد تاثیر افزایش یا کاهش هریک از پارامترها (فاکتور گسترش، تعداد گره‌ها و نوع محیط شبیه‌سازی) بر روی نرخ بسته‌های دریافتی و انرژی مصرفی توضیح دهید.

۷. در مورد ویژگی نرخ داده انطباقی (Adaptive data rate) در شبکه ارتباطی LoRaWAN تحقیق کنید. توضیح دهید که این ویژگی کدام پارامترها را تغییر می‌دهد و این تغییر چگونه اعمال می‌شود.

۸. (نمره اضافی) تحقیق کنید که در چه حالتی در شبکه LoRaWAN بین دو بسته برخورد (collision) رخ میدهد. آیا در این شبکه امکان این وجود دارد که با وجود برخورد بتوان دماژولاسیون انجام داد؟ (می‌توانید از [مقاله](#)، بخش CSS Performance Analysis و زیر بخش interference sensitivity برای پاسخگویی به این سوال راهنمایی بگیرید.)

تمارین قسمت SigFox

۹. مزایا و معایب شبکه Sigfox را نام برده و هریک را توضیح دهید. (حداقل سه مزیت و سه عیب)

۱۰. امنیت دستگاه‌های Sigfox یکی از موضوعات مهم در حوزه اینترنت اشیا است. چند نمونه از روش‌هایی که امروزه برای بهبود امنیت این شبکه استفاده می‌شود را شرح دهید. (حداقل دو مورد)

۱۱. پشته پروتکل Sigfox^۱ را تشریح کنید و قسمت‌های مختلف آن را به اختصار توضیح دهید.

۱۲. (نمره اضافی) در شبکه Sigfox از فناوری رادیویی UNB (Ultra Narrow Band) استفاده می‌شود. این فناوری و مزایای آن را شرح دهید.

^۱ Sigfox protocol stack

تمارین قسمت NB-IoT

۱۳. چرا شبکه‌های LoRaWAN و Sigfox برای دوچرخه‌های هوشمند مناسب نیستند؟

۱۴. اصطلاح paging cycle را توضیح دهید و دلایل استفاده از آن را در شبکه‌های سلولی^۲ شرح دهید.

۱۵. روشهای دسترسی single-carrier و multi-carrier در شبکه‌های NB-IoT را با یکدیگر مقایسه کنید.

۱۶. (نمره اضافی)

الف) درباره ساختار downlink/uplink frame در شبکه NB-IoT تحقیق کنید .

ب) در درس، سه حالت با توجه به نوع فرکانس استفاده شده در شبکه‌های NB-IoT معرفی شده است. نحوه پیاده‌سازی این سه حالت را در ساختار frame شبکه NB-IoT به اختصار توضیح دهید.

ج) مفهوم subcarrier در ساختار این شبکه چیست؟

د) subcarrier spacing چیست؟ و در downlink و uplink چگونه استفاده شده است؟

² Cellular Networks

نحوه تحویل تمرین

۱. تحویل تمرین در قالب یک گزارش انجام می‌شود. دانشجویان محترم می‌توانند قالب گزارش را از سامانه دریافت کنند.

۲. نحوه نام‌گذاری فایل گزارش باید به‌صورت زیر باشد:

HW3_studentNumber.pdf که در آن StudentNumber شماره دانشجویی می‌باشد. (مثال: HW3_9531701)

۳. تمرین را به‌صورت انفرادی انجام دهید.

۴. مهلت تحویل تمرین ۹ خرداد ۱۴۰۱ است. برای اطلاع از سیاست‌های تاخیر به شیوه‌نامه مراجعه نمایید.

۵. در صورت عدم رعایت موارد ذکر شده، نمره مربوط به بخش خوانایی کسر خواهد شد.

۶. بارم هر یک از سوالات به صورت زیر است:

- | | | |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| • سوال ۱: بدون نمره | سوال ۲: ۸ امتیاز | سوال ۳: ۸ امتیاز |
| • سوال ۴: ۸ امتیاز | سوال ۵: ۱۶ امتیاز | سوال ۶: ۸ امتیاز |
| • سوال ۷: ۶ امتیاز | سوال ۸: (نمره اضافی) | سوال ۹: ۶ امتیاز |
| • سوال ۱۰: ۶ امتیاز | سوال ۱۱: ۸ امتیاز | سوال ۱۲: (نمره اضافی) |
| • سوال ۱۳: ۶ امتیاز | سوال ۱۴: ۸ امتیاز | سوال ۱۵: ۱۲ امتیاز |
| • سوال ۱۶: (نمره اضافی) | | |

پیروز و پایدار باشید