



Department of
Computer Engineering

به نام خدا



Amirkabir University of Technology
(Tehran Polytechnic)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی کامپیوتر
مبانی اینترنت اشیا

گزارش بخش‌های تئوری تمرین سری سوم

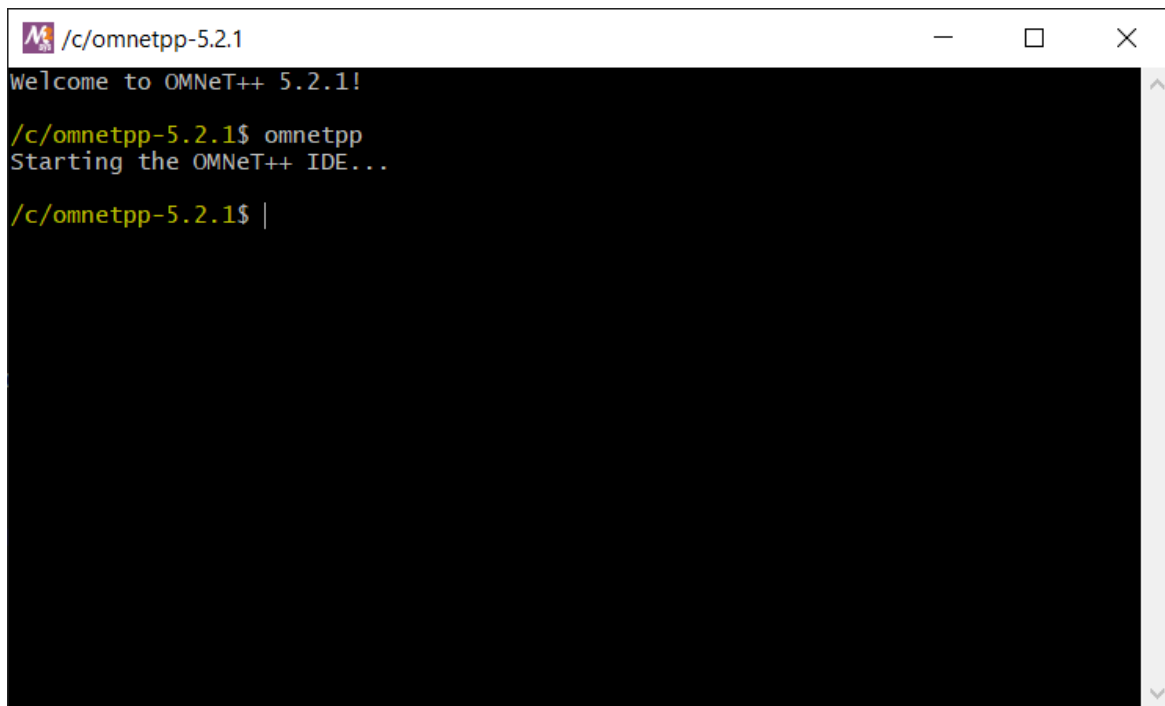
نام و نام خانوادگی	محمد توکلی
شماره دانشجویی	۹۷۳۱۰۱۴

فهرست گزارش سوالات (لطفاً پس از تکمیل گزارش، این فهرست را به‌روز کنید.)


- سوال ۱ - عنوان سوال ۳
- سوال ۲ - عنوان سوال ۵
- سوال ۳ - عنوان سوال ۹
- سوال ۴ - عنوان سوال ۱۲
- سوال ۵ - عنوان سوال ۱۳
- سوال ۶ - عنوان سوال ۱۷
- سوال ۷ - عنوان سوال ۱۸
- سوال ۸ - عنوان سوال ۱۹
- سوال ۹ - عنوان سوال ۲۰
- سوال ۱۰ - عنوان سوال ۲۲
- سوال ۱۱ - عنوان سوال ۲۳
- سوال ۱۲ - عنوان سوال ۲۵
- سوال ۱۳ - عنوان سوال ۲۶
- سوال ۱۴ - عنوان سوال ۲۸
- سوال ۱۵ - عنوان سوال ۲۹
- سوال ۱۶ - عنوان سوال ۳۰

سوال ۱ - عنوان سوال

نرم افزار های ذکر شده با موفقیت نصب شدند که تصاویر آنها به صورت زیر است:



```
/c/omnetpp-5.2.1
Welcome to OMNeT++ 5.2.1!
/c/omnetpp-5.2.1$ omnetpp
Starting the OMNeT++ IDE...
/c/omnetpp-5.2.1$ |
```

 Eclipse Launcher



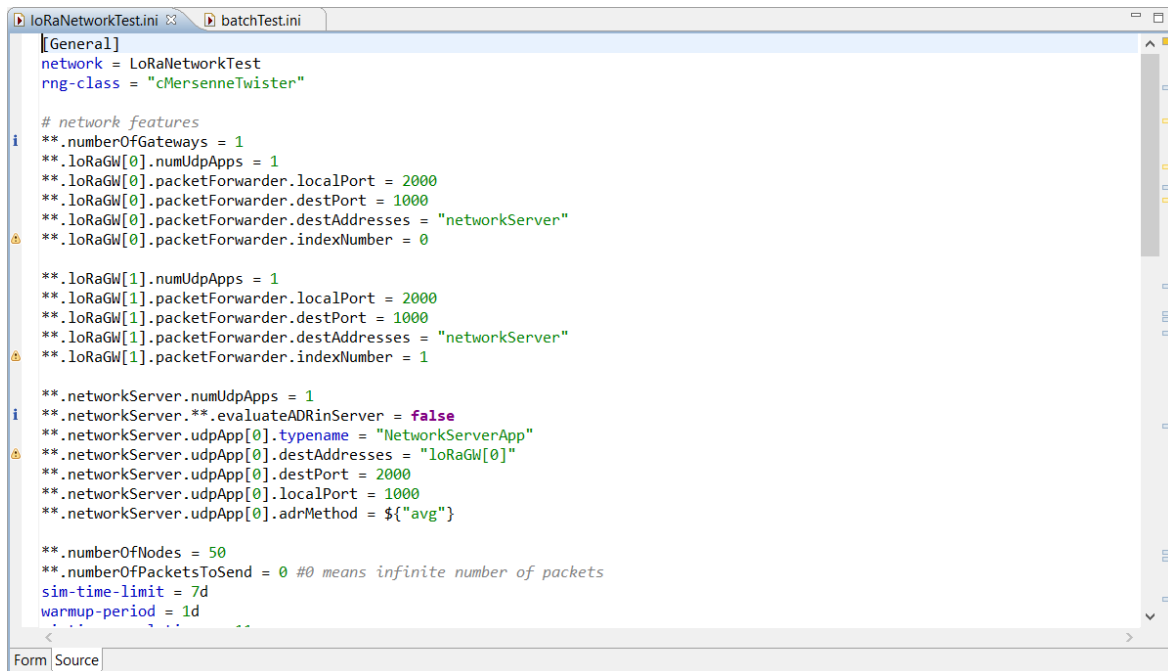
Select a directory as workspace

OMNeT++ IDE uses the workspace directory to store its preferences and development artifacts.

Workspace:

☐ Use this as the default and do not ask again

Recent Workspaces



```
[General]
network = LoRaNetworkTest
rng-class = "cMersenneTwister"

# network features
i **.numberOfGateways = 1
  **.loRaGW[0].numUdpApps = 1
  **.loRaGW[0].packetForwarder.localPort = 2000
  **.loRaGW[0].packetForwarder.destPort = 1000
  **.loRaGW[0].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
  **.loRaGW[0].packetForwarder.indexNumber = 0

  **.loRaGW[1].numUdpApps = 1
  **.loRaGW[1].packetForwarder.localPort = 2000
  **.loRaGW[1].packetForwarder.destPort = 1000
  **.loRaGW[1].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
  **.loRaGW[1].packetForwarder.indexNumber = 1

  **.networkServer.numUdpApps = 1
  **.networkServer.**.evaluateADrinServer = false
  **.networkServer.udpApp[0].typename = "NetworkServerApp"
  **.networkServer.udpApp[0].destAddresses = "loRaGW[0]"
  **.networkServer.udpApp[0].destPort = 2000
  **.networkServer.udpApp[0].localPort = 1000
  **.networkServer.udpApp[0].adrMethod = ${"avg"}

  **.numberOfNodes = 50
  **.numberOfPacketsToSend = 0 #0 means infinite number of packets
  sim-time-limit = 7d
  warmup-period = 1d
```

سوال ۲ - عنوان سوال

مشخص کننده نوع و نام شبکه است که LoRaNetworkTest برای آن وارد شده.

```
[General]
network = LoRaNetworkTest
rng-class = "cMersenneTwister"
```

در این قسمت ویژگی های شبکه مشخص میشوند که برای gateway های شماره ۱ و ۲ و network server آنها را مشخص میکنیم.

که به ترتیب نشان دهنده تعداد gateway ها،

تعداد اپلیکیشن های udp،

شماره پورت محلی،

شماره پورت مقصد،

آدرس مقصد،

شماره gateway

```
# network features
**.numberOfGateways = 1
**.loRaGW[0].numUdpApps = 1
**.loRaGW[0].packetForwarder.localPort = 2000
**.loRaGW[0].packetForwarder.destPort = 1000
**.loRaGW[0].packetForwarder.destAddresses = "networkServer"
**.loRaGW[0].packetForwarder.indexNumber = 0
```

مشخص کننده فعال سازی یا غیر فعال سازی مکانیزم ADR(Adaptive Data Rate) در network server است

```
**networkServer.**evaluateADRinServer = false
```

به ترتیب نشان دهنده تعداد نود های استفاده شده در شبکه،

تعداد پکت های ارسالی که اگر صفر باشد نشان دهنده بی نهایت بودن آن است که با پایان زمان شبیه سازی، شبیه سازی تمام میشود،

مدت زمان شبیه سازی که بعد از آن، شبیه سازی تمام میشود،

مدت زمان اولیه برای warm-up که در آن مدت نتایج شبیه سازی در نظر گرفته نمیشوند و در خروجی در قسمت scalar نیز حساب نمیشوند،

رزولوشن زمانی برای مدت شبیه سازی

```
**.numberOfNodes = 50
**.numberOfPacketsToSend = 0 #0 means infinite number of packets
sim-time-limit = 7d
warmup-period = 1d
simtime-resolution = -11
```

به ترتیب نشان دهنده مدت زمان گذشته شده برای ارسال اولین پکت،

مدت زمان برای ارسال پکت بعدی،

فعال سازی روش دسترسی به کانال (Media Access) که از نوع aloha باشد یا نه

```
**.timeToFirstPacket = exponential(100s)
**.timeToNextPacket = exponential(100s)
**.alohaChannelModel = false
```

ویژگی های نود هارا در این قسمت مشخص میکنیم که به ترتیب بیانگر:

فعال کردن مکانیزم ADR در نودها،

مقدار SF(Spreading Factor) که باید بین ۷ تا ۱۲ باشد،

پهنای باند کانال،

مشخص کننده coding rate،

مشخص کننده transmission power یا همان توان ارسالی

```
#nodes features
**.loRaNodes[*]**.initFromDisplayString = false
**.loRaNodes[*]**.evaluateADRinNode = false
**.loRaNodes[*]**.initialLoRaSF = 12
**.loRaNodes[*]**.initialLoRaBW = 125 kHz
**.loRaNodes[*]**.initialLoRaCR = 4
**.loRaNodes[*]**.initialLoRaTP = (2dBm + 3dBm*intuniform(0, 4))
```

به ترتیب مشخص کننده:

محل x و y های نود ها در محیط مشخص شده

```
# random deployment of nodes in a square square area
**.loRaNodes[*]**.initialX = uniform(0m, 9800m)
**.loRaNodes[*]**.initialY = uniform(0m, 9800m)
```

به ترتیب مشخص کننده:

فعال سازی gateway،

مختصات x برای gateway

مختصات y برای gateway

```
#gateway features
**.LoRaGNic.radio.iAmGateway = true
**.loRaGW[0]**.initialX = 4900m#uniform(0m, 50m)
**.loRaGW[0]**.initialY = 4900m
```

این قسمت ویژگی های مصرف توان شبکه لوراوان را مشخص میکند که ترتیب نمایانگر:

نوع مصرف انرژی،

ماژول تامین کننده انرژی،

آدرس فایل کانفیگ و پارامتر های مشخص کننده مصرف انرژی

```
#power consumption features
**.loRaNodes[*].LoRaNic.radio.energyConsumerType = "LoRaEnergyConsumer"
**.loRaNodes[*]**.energySourceModule = "IdealEpEnergyStorage"
**.loRaNodes[*].LoRaNic.radio.energyConsumer.configFile =
xmldoc("energyConsumptionParameters.xml")
```

این قسمت ویژگی های عمومی را مشخص میکند که به ترتیب بیانگر:

حداقل مقدار x برای محاسبه مساحت محیط،

حداقل مقدار y برای محاسبه مساحت محیط

حداقل مقدار z برای محاسبه مساحت محیط

حداکثر مقدار x برای محاسبه مساحت محیط

حداکثر مقدار y برای محاسبه مساحت محیط

حداکثر مقدار z برای محاسبه مساحت محیط

```
#general features
**.sigma = 0
**.constraintAreaMinX = 0m
**.constraintAreaMinY = 0m
**.constraintAreaMinZ = 0m
**.constraintAreaMaxX = 9800m
**.constraintAreaMaxY = 9800m
**.constraintAreaMaxZ = 0m
```

این بخش نمایانگر این است که بخش های انتقال و دریافت از هم متمایز شده اند یا خیر

```
LoRaNetworkTest.**.radio.separateTransmissionParts = false
LoRaNetworkTest.**.radio.separateReceptionParts = false
```

این بخش به ترتیب بیانگر:

آدرس فایل کانفیگ برای delayer.

نوع رسانه رادیویی،

نوع pathloss که برای محیط شهری و غیر شهری متفاوت است،

حداقل زمان تداخل،

نشان دادن آدرس IP بر روی لینک ها

```
**delayer.config = xmldoc("cloudDelays.xml")
**.radio.radioMediumModule = "LoRaMedium"
**.LoRaMedium.pathLossType = "LoRaPathLossOulu"
**.minInterferenceTime = 0s
**.displayAddresses = false
```


سوال ۳ - عنوان سوال

- آخرین توان ارسال شده توسط هر گره به صورت زیر می‌باشد:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[0].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[1].SimpleLoRaApp	finalTP	5.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[2].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[3].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[4].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[5].SimpleLoRaApp	finalTP	11.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[6].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[7].SimpleLoRaApp	finalTP	11.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[8].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[9].SimpleLoRaApp	finalTP	2.0

۱

که به ترتیب گره اول مقدار ۲، گره دوم مقدار ۵، گره سوم و چهار و پنج مقدار ۲، گره ششم مقدار ۱۱، گره هفتم مقدار ۲، گره هشتم مقدار ۱۱، گره نهم و دهم نیز مقدار ۲ اتخاذ میکنند.

- آخرین فاکتور گسترش (Spreading Factor) ارسال شده توسط هر گره به صورت زیر می‌باشد:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[0].SimpleLoRaApp	finalSF	10.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[1].SimpleLoRaApp	finalSF	10.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[2].SimpleLoRaApp	finalSF	7.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[3].SimpleLoRaApp	finalSF	8.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[4].SimpleLoRaApp	finalSF	8.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[5].SimpleLoRaApp	finalSF	12.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[6].SimpleLoRaApp	finalSF	9.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[7].SimpleLoRaApp	finalSF	12.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[8].SimpleLoRaApp	finalSF	8.0
LoRaNetworkTest.IoRaNodes[9].SimpleLoRaApp	finalSF	9.0

که به ترتیب گره اول و گره دوم مقدار ۱۰، گره سوم مقدار ۷، گره چهارم و پنجم مقدار ۸، گره ششم مقدار ۱۲، گره هفتم مقدار ۹، گره هشتم مقدار ۱۲، گره نهم مقدار ۸ و گره دهم مقدار ۹ را اختیار میکنند.

- تعداد بسته های ارسالی هر گره به صورت زیر می باشد:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[0].SimpleLoRaApp	sentPackets	3476.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[1].SimpleLoRaApp	sentPackets	3501.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[2].SimpleLoRaApp	sentPackets	4824.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[3].SimpleLoRaApp	sentPackets	4561.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[4].SimpleLoRaApp	sentPackets	4543.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[5].SimpleLoRaApp	sentPackets	1883.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[6].SimpleLoRaApp	sentPackets	4098.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[7].SimpleLoRaApp	sentPackets	1898.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[8].SimpleLoRaApp	sentPackets	4500.0
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[9].SimpleLoRaApp	sentPackets	4084.0

که به ترتیب گره اول ۳۴۷۶ بسته، گره دوم ۳۵۰۱ بسته، گره سوم ۴۸۲۴ بسته، گره چهارم ۴۵۶۱ بسته، گره پنجم ۴۵۴۳ بسته، گره ششم ۱۸۸۳ بسته، گره هفتم ۴۰۹۸ بسته، گره هشتم ۱۸۹۸ بسته، گره نهم ۴۵۰۰ بسته و گره دهم ۴۰۸۴ بسته ارسال کرده اند.

- انرژی مصرفی هر گره به صورت زیر می باشد:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[0].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	419.98085682313
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[1].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	429.27426499711
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[2].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	398.73077929918
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[3].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	403.49883377474
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[4].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	402.31100776853
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[5].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	539.81195223368
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[6].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	401.12141194681
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[7].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	542.59559350139
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[8].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	399.07335687851
LoRaNetworkTest.LoRaNodes[9].LoRaNic.radio.energyConsumer	totalEnergyCo...	404.56860028383

- مجموع تعداد بسته های دریافت شده در دروازه به صورت زیر است:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.LoRaGW[0].packetForwarder	LoRa_GWPacketReceived:count	7208.0

که مطابق شکل ۷۲۰۸ بسته توسط gateway دریافت شده است

- مجموع تعداد بسته های دریافت شده در سرور شبکه به صورت زیر است:

Module	Name	Value
LoRaNetworkTest.networkServer.udpApp[0]	totalReceivedPackets	7208.0

که مطابق شکل ۷۲۰۸ بسته توسط سرور شبکه دریافت شده است.

سوال ۴ - عنوان سوال

پارامتر هایی که برای تمایز بین محیط های شهری (Urban) و محیط های غیر شهری (Sub-Urban) در شبیه سازی تعریف شده در مقاله توضیح داده شده اند در جدول زیر آمده است:

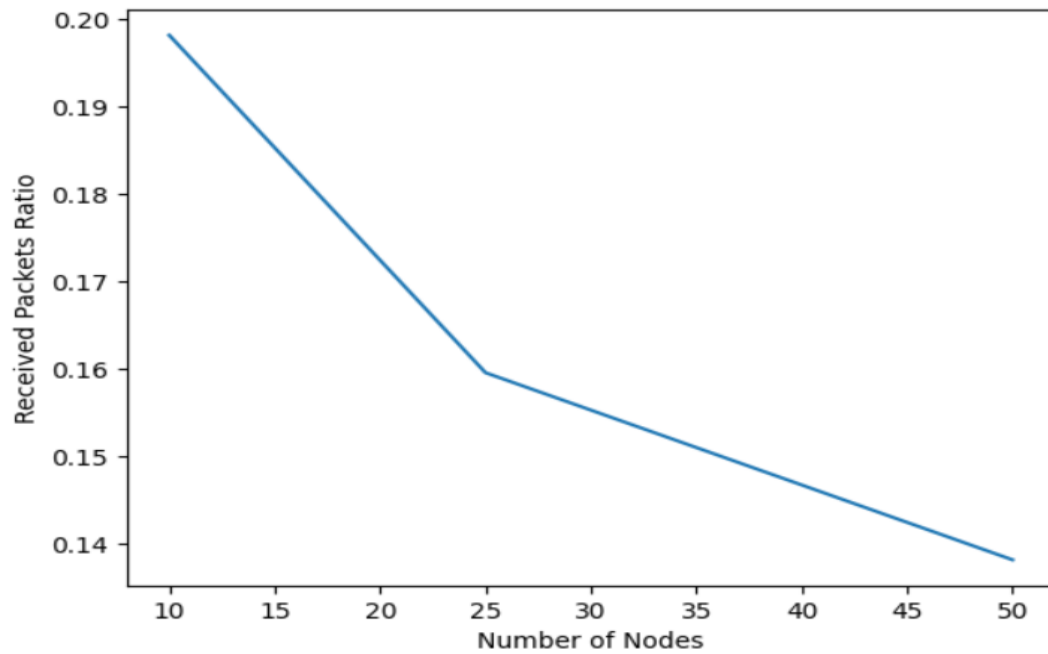
Scenario	$d_0[m]$	$PL(d_0)$	η	$\sigma[dB]$		
				Ideal	Moderate	Typical
Sub-urban	1000	128.95	2.32	0	3.540	7.08
Urban	40	127.41	2.08	0	1.785	3.57

- که پارامتر d_0 بر حسب متر است که نشان دهنده فاصله بین فرستنده و گیرنده می باشد. که در محیط شهری ۴۰ متر و در محیط غیر شهری ۱۰۰۰ متر مقدار دهی شده اند.
- پارامتر $PL(d_0)$ همان میانگین تضعیف مسیر (path attenuation) که کاهش در چگالی توان یک موج الکترومغناطیسی است هنگامی که در فضا منتشر میشود. و مرجع فاصله آن نیز d_0 میباشد. که در محیط شهری مقدار ۱۲۷.۴۱ و در محیط غیر شهری مقدار ۱۲۸.۹۵ به خود گرفته است.
- پارامتر η که میزان کاهش قدرت سیگنال دریافتی با فاصله را نشان میدهد و مقدار آن به جنس محیط انتشار بستگی دارد. که در محیط شهری مقدار ۲.۰۸ و در محیط غیر شهری مقدار ۲.۳۲ را اختیار کرده است.
- پارامتر σ که انحراف معیار است و همچنین شبیه سازی در سه چنل با شرایط متفاوت در قسمت های Ideal, Moderate, Typical صورت گرفته است که مقدار آنها را در جدول مشاهده میکنیم.
- همچنین اندازه محیط در شهر ۴۸۰ * ۴۸۰ و در محیط غیر شهری ۹۸۰۰ * ۹۸۰۰ متر مربع شبیه سازی شده است.

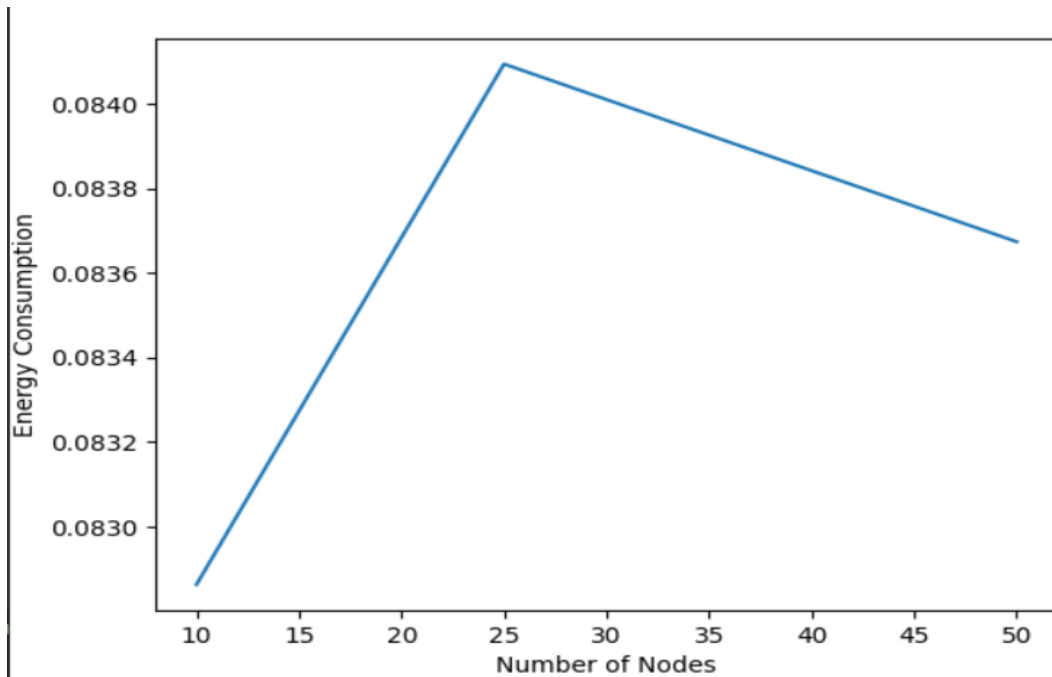
سوال ۵ - عنوان سوال

Number of Nodes: [10, 25, 50], Spreading Factor: 7, Environment: Urban

معیار اول:

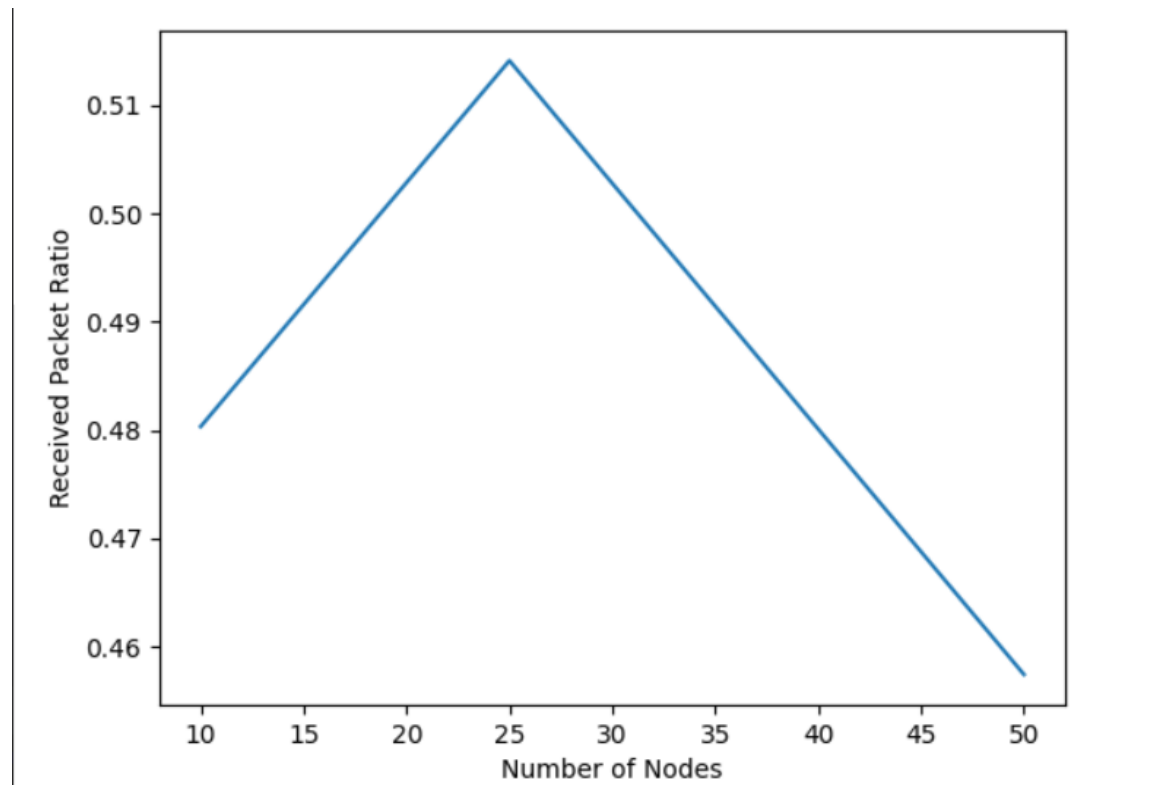


معیار دوم:

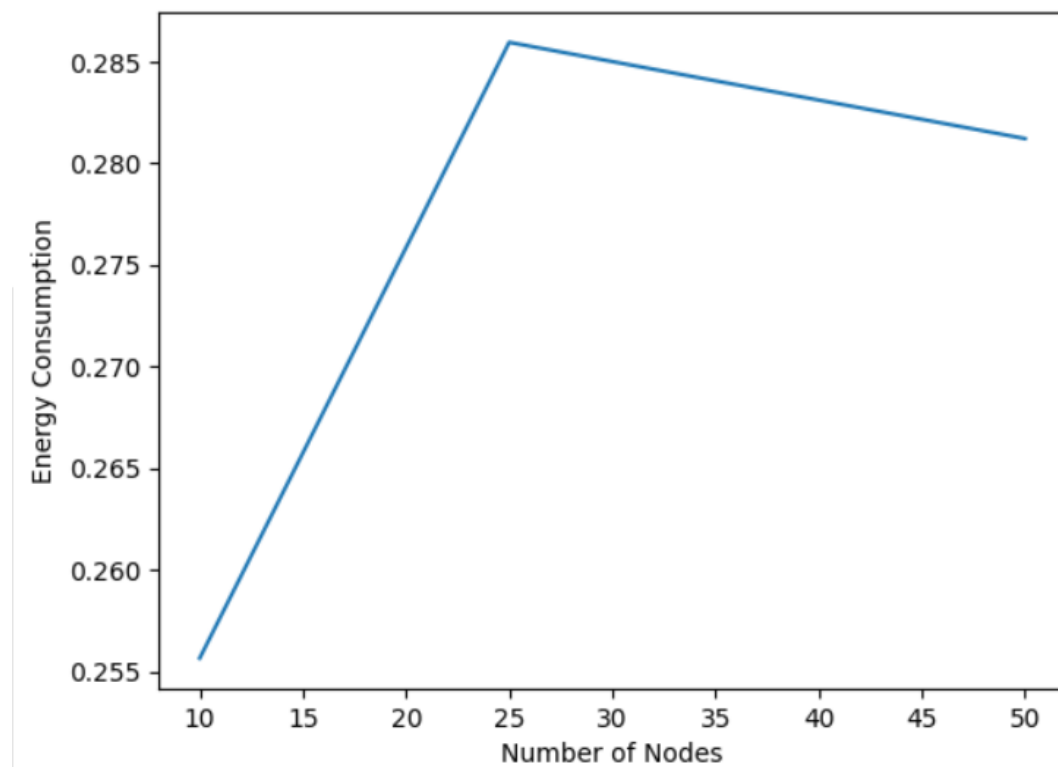


Number of Nodes: [10, 25, 50], Spreading Factor: 12, Environment: Urban

معیار اول:

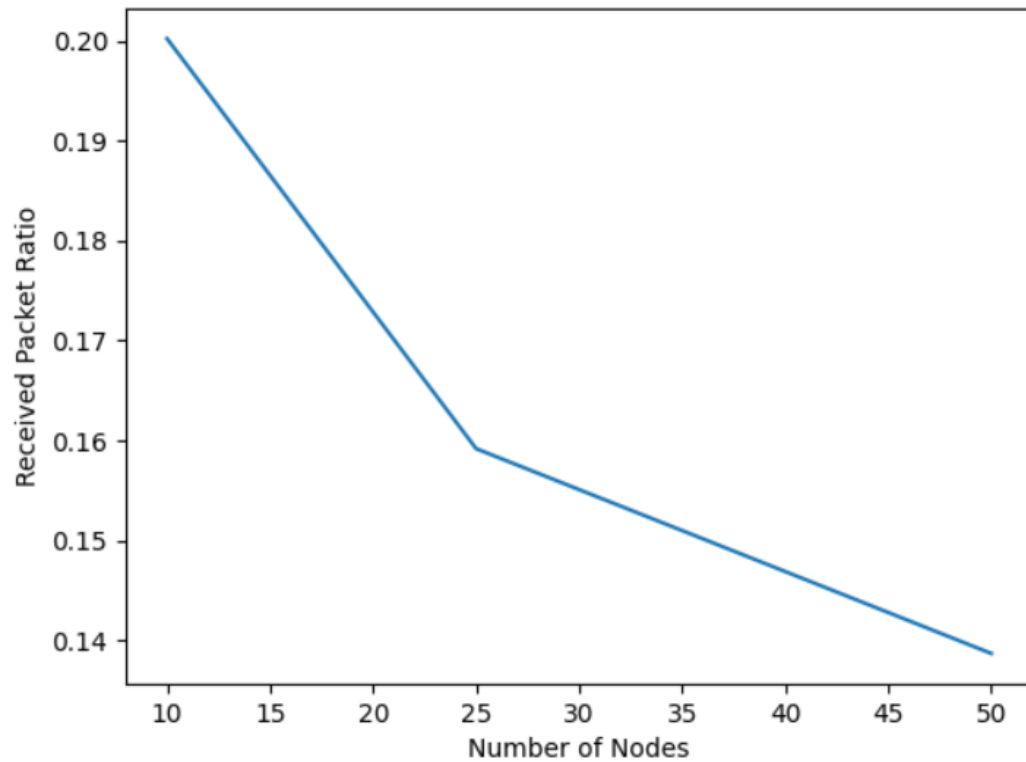


معیار دوم:

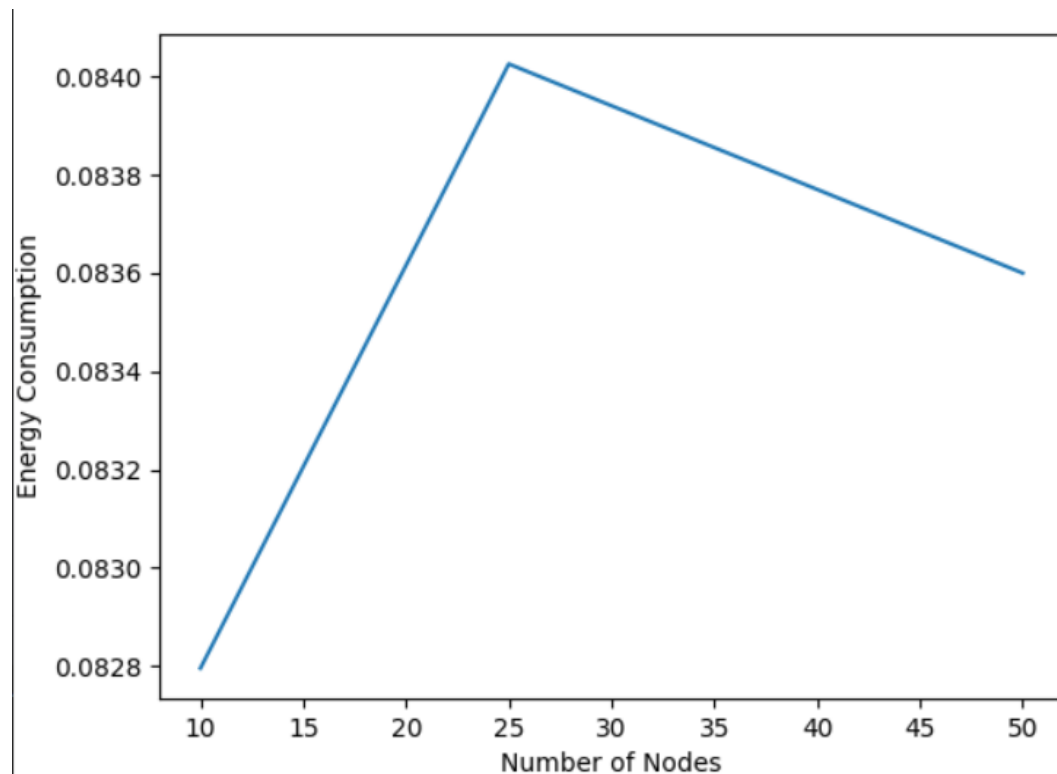


Number of Nodes: [10, 25, 50], Spreading Factor: 7, Environment: Sub-Urban

معیار اول:

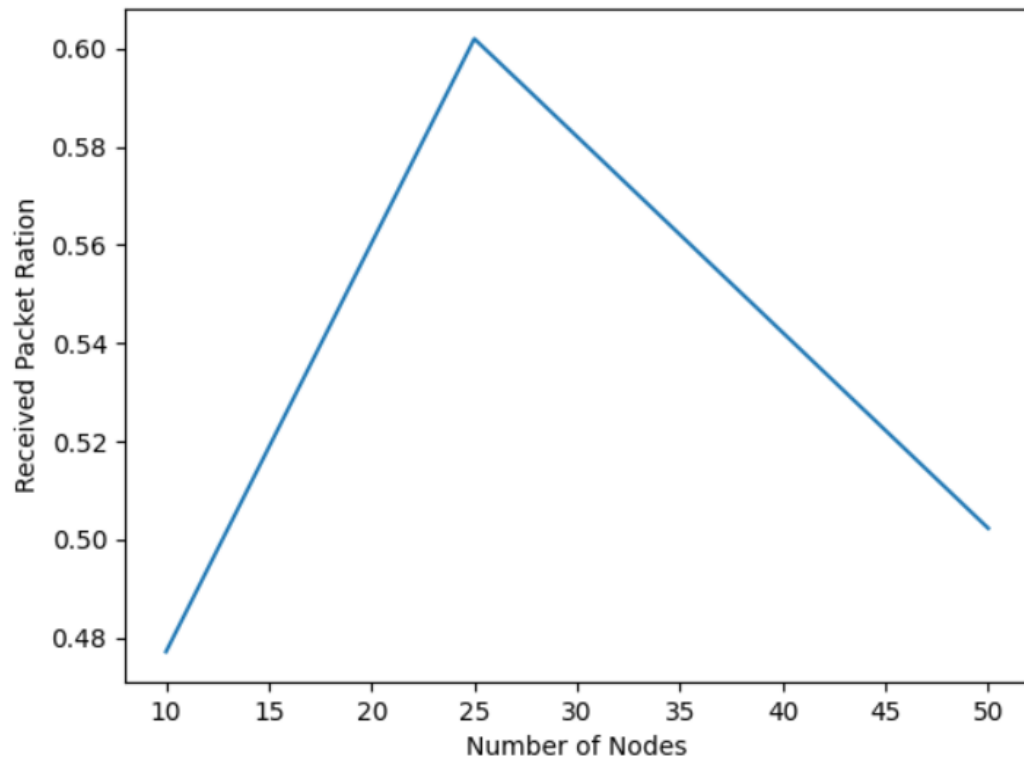


معیار دوم:

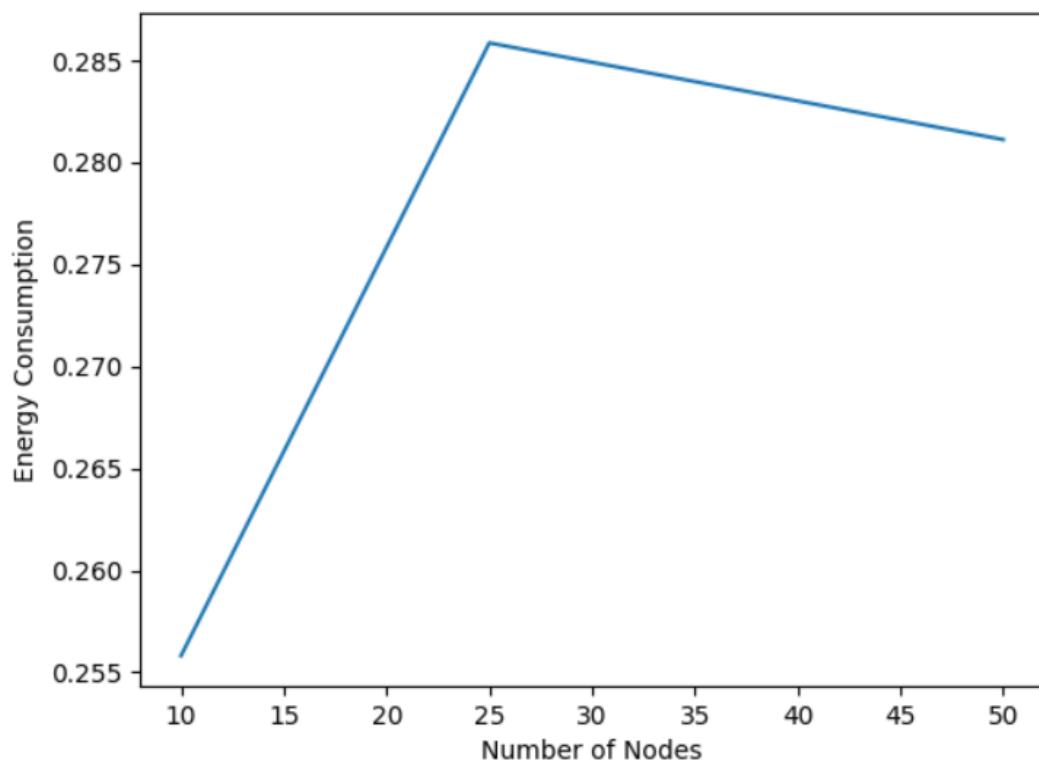


Number of Nodes: [10, 25, 50], Spreading Factor: 12, Environment: Sub-Urban

معیار اول:



معیار دوم:



سوال ۶ - عنوان سوال

طبق نمودار های بدست آمده از سوال قبل تاثیر پارامتر های مختلف بر روی نرخ بسته های دریافتی و انرژی مصرفی به صورت زیر است:

- تعداد گره ها: اگر $SF=7$ باشد با افزایش تعداد گره ها، نرخ بسته های دریافتی کاهش پیدا میکند. اما اگر $SF=12$ باشد با افزایش تعداد گره ها، نرخ بسته های دریافتی ابتدا افزایش یافته سپس کاهش میابد.
- همچنین با افزایش تعداد گره ها، انرژی مصرفی در ۴ حالت بررسی شده، ابتدا افزایش یافته سپس کاهش میابد.
- فاکتور گسترش (Spreading Factor): طبق نمودار های بدست آمده مشاهده میکنیم با افزایش فاکتور گسترش، هم نرخ بسته های دریافتی و هم انرژی مصرفی افزایش میابد و با کاهش فاکتور گسترش، نرخ بسته های دریافتی و انرژی مصرفی کاهش میابد. پس فاکتور گسترش با نرخ بسته های دریافتی و انرژی مصرفی رابطه مستقیم دارد.
- نوع محیط شبیه سازی (Simulation Environment): با تغییر محیط از شهری به غیرشهری تغییر محسوسی در نرخ بسته های دریافتی و انرژی مصرفی مشاهده نمیکنیم ولی با تغییر محیط شهری به غیرشهری نرخ بسته های دریافتی و انرژی مصرفی به مقدار اندکی افزایش میابد.

سوال ۷- عنوان سوال

مکانیزم ADR (Adaptive Data Rate) باید توسط نود های نهایی فعال شود. نود نهایی برای فعال کردن این مکانیزم flag ADR در هدر مسیج uplink را باید ۱ کند، سپس network server میتواند پارامتر های ارسال نود نهایی را کنترل کند. پارامتر های ارسال که network server کنترل میکند شامل پارامتر های زیر است:

- Spreading Factor (SF)
- Bandwidth
- Transmission power

مکانیزم ADR برای بهینه کردن مصرف انرژی و دیتاریت است و باعث بهینه کردن مصرف توان نودهای نهایی میشود درعین حال که تضمین میکند بسته ها به مقصد میرسند. وقتی مکانیزم ADR فعال شده باشد network server به نودها اطلاع میدهد که توان ارسال خود را کاهش دهند و یا دیتاریت را افزایش دهند. نودهایی که به gateway نزدیک هستند باید از spreading factor کمتر و در نتیجه data-rate بیشتری استفاده کنند و نود هایی که به فاصله دورتری از gateway قرار دارند باید از spreading factor بزرگتر و data-rate کمتری استفاده کنند بخاطر اینکه به link budget بزرگتری نیاز دارند.

مکانیزم ADR باید زمانی که نود ها در شرایط فرکانسی رادیویی پایداری قرار دارند فعال شود پس این مکانیزم عموماً برای نود های ثابت (static) فعال میشوند. اگر نودهای استاتیک در شرایط فرکانسی پایداری نباشند مکانیزم ADR باید برای آنها غیرفعال شود. دستگاه های در حال حرکت نیز باید خود با توجه به شرایط تشخیص دهند که چه زمانی در شرایط این هستند که مکانیزم ADR را فعال کنند.

سوال ۸ - عنوان سوال

اگر در شبکه LoRaWAN دو بسته با فاکتور انتشار یکسان (Spreading Factor)، فرکانس مشابه و همزمان ارسال شوند آنگاه در سمت گیرنده دو سیگنال ارسال شده باهم تداخل کرده و collision رخ میدهد. پس در شبکه LoRaWAN دو بسته نباید همزمان با فاکتور انتشار یکسان و در فرکانس مشابه ارسال شوند.

در صورتی در شبکه LoRaWAN میتوان با وجود collision دماژولاسیون انجام داد که شرایط زیر برقرار باشد:

- یکی از سیگنال ها حداقل 6db از سیگنال دیگر بالاتر باشد.
- بسته های رادیویی در کانال های متفاوت رادیویی ارسال شده باشند (میدانیم لوراون از کانال هایی با پهنای باند 125kHz و یا 500kHz استفاده میکند پس این امکان وجود دارد)
- بسته های رادیویی میتوانند در کانال فرکانسی یکسان ارسال شوند اما باید فاکتور انتشار آنها در این شرایط متفاوت باشد. که میدانیم در شبکه لوراون ۶ نوع فاکتور انتشار متفاوت داریم که از SF7 تا SF12 نامگذاری میشوند که SF7 بیشترین و SF12 کمترین data-rate را دارند.

سوال ۹ - عنوان سوال

استفاده از شبکه Sigfox مزایا و معایبی دارد که به صورت زیر است.

مزایا استفاده از شبکه Sigfox:

- سطح نویز و تداخل سیگنال ها به دلیل استفاده از ultra-narrow band بسیار پایین است.
- سطح استفاده از توان بسیار پایین است و به این دلیل باتری های استفاده شده در نود ها عمر طولانی تری دارند.
- به دلیل نویز کمتر سیگنال در گیرنده با حساسیت و دقت بیشتری دریافت میشود و نویز کمتری دارد.
- طراحی آنتن های آن هزینه کمی دارد.
- یک پروتکل سبک است که حداکثر اندازه بدنه آن ۱۲ بایت است و برای ارسال ۱۲ بایت داده، ۲۶ بایت استفاده میکند. پس نسبت به پروتکل های wireless استاندارد دیگر overhead کمتری دارد. برای مثال پروتکل IP برای ارسال ۱۲ بایت داده باید ۴۰ بایت مصرف کند زیرا هدر آن برای هندل کردن ip فرستنده و گیرنده بزرگ میشود.
- پس به دلیل اینکه overhead کمتری دارد پس برای ارسال سیگنال به انرژی کمتری نیاز است و عمر باتری نودها طولانی تر میشود.
- بخاطر اینکه overhead کمتری مصرف میکند پس کاربر دیتا بیشتری میتواند ارسال کند که این باعث میشود ظرفیت شبکه افزایش یابد.
- به دلیل link budget مناسبی که دارد پوشش گسترده ای دارد.

معایب استفاده از شبکه Sigfox:

- ارتباط Downlink تنها بعد از ارتباط Uplink مقدور است و به اینصورت ممکن است دریافت داده با تاخیر زیادی مواجه شود.
- تعداد پیام های قابل ارسال در uplink در روز حداکثر ۱۴۰ پیام است.
- تعداد پیام های قابل دریافت Downlink در روز حداکثر ۴ پیام میباشد.
- به دلیل محدودیت دریافت پیام که ۴ پیام در روز است نمیتوانیم به ازای هر پیام در uplink acknowledgement دریافت کنیم و این مورد تاحدی از اطمینان این شبکه کاهش میدهد(که البته با روش های دیگر مانند ارسال چندباره اطمینان را ایجاد میکنیم).

- Data-rate بسیار پایینی دارد پس نمیتوانیم برای اپلیکیشن هایی که نیازمند Data-Rate مناسبی هستند استفاده کنیم.
- در محیط های متحرک به دلیل تداخل و فرکانس های غیردقیق دقت خوبی ندارد.

سوال ۱۰ - عنوان سوال

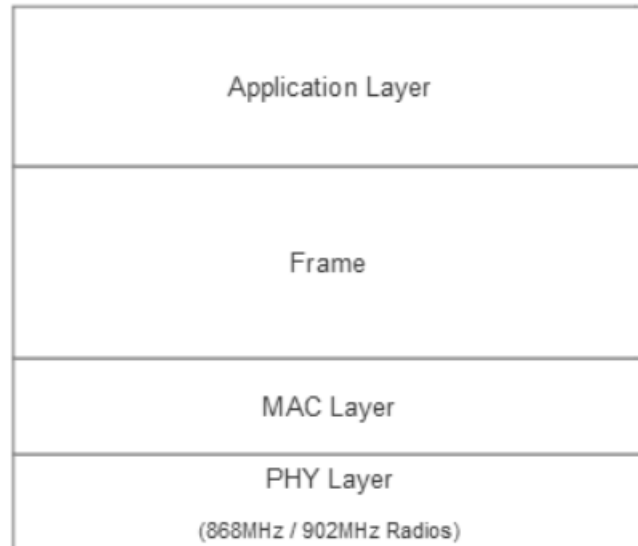
در مرحله اول باید به این نکته اشاره کنیم که Sigfox از طریق ارتباط با شرکت های جهانی شناخته شده در حوزه امنیت سایبری، قطعات و دستگاه های امن، ماژول های سخت افزاری امن، رمزنگاری امنیت و طراحی اصولی مبتنی بر امنیت، امنیت را در تمامی مراحل طراحی پروتکل خود در نظر گرفته است، پس دیوایس ها، زیرساخت های شبکه و سرویس های ابری استفاده شده در شبکه Sigfox درون خود امنیت آنها ملاحظه شده است.

همچنین Sigfox از راهکار های مهم دیگری نیز برای ایجاد امنیت استفاده میکند که به صورت زیر است:

- استفاده از firewall: نود های ساخته شده Sigfox در عین حال که اشیاء IoT هستند اما به طور مستقیم امکان اتصال به اینترنت را ندارند و به پروتکل IP دسترسی ندارند و فقط نودهای Sigfox میتوانند با access station های Sigfox در ارتباط باشند. هنگامی که نود ها بخواهند پکتی را در بستر اینترنت بفرستند یک پیام رادیویی منتشر میکنند که این پیام توسط چندین access station دریافت میشود و به سمت هسته شبکه ارسال میشود و سپس هسته شبکه آن را به اپلیکیشن ارسال میکند. و اگر نودها نیازمند جوابی باشند اپلیکیشن ها موظف هستند در پنجره زمانی کوتاه جواب را به دست نود ها برسانند. پس نود های Sigfox این امکان را ندارند که به مقاصد اختیاری از طریق پروتکل IP بسته ارسال کنند.
- Authentication: تمامی دیوایس های ساخته شده توسط Sigfox یک کلید هویتی مخصوص به خود دارند که این باعث میشود هر پیام ارسال شده و دریافت شده حاوی توکنی باشد که بر اساس این کلید هویتی محاسبه شده است. و تشخیص معتبر بودن توکن هویت فرستنده را مشخص میکند که نکته مهمی است زیرا فرستنده باید شناخته شده باشد. علاوه بر آن تمامیت و یکپارچگی پیام را نیز تایید میکند.
- Anti-replay: هر پیام ارسال شده در بستر Sigfox شامل یک sequence counter میباشد که صحت آن توسط هسته شبکه Sigfox تایید میشود و این مورد باعث میشود حملات امنیتی برای شنود بسته ها و replay attack ها شناسایی شوند. و صحت sequence counter توسط توکن هویتی موجود در پیام تایید میشود.

سوال ۱۱- عنوان سوال

پشته پروتکل Sigfox به صورت زیر میباشد:



که از پایین به بالا لایه اول لایه فیزیکی، لایه دوم لایه MAC، لایه سوم لایه Frame و لایه آخر لایه Application میباشد.

لایه application معادل همان لایه در مدل OSI است، لایه Frame معادل لایه های Transport و Network در مدل OSI، لایه MAC معادل لایه Data Link و لایه Physical معادل همان لایه در مدل OSI است.

توضیحات این ۴ لایه در پروتکل Sigfox به صورت زیر است:

- Physical Layer: ترکیب کردن و ماژولاسیون سیگنال هارا به روش DBPSK در هنگام Uplink و به روش GFSK در هنگام Downlink انجام میدهد. همچنین Sigfox از تکنولوژی Ultra narrow band استفاده میکند که باعث میشود. پهنای باند نیز 100Hz میباشد که مقداری کمی است و باعث میشود Data-rate به مقدار قابل توجهی کمتر از بقیه پروتکل های LPWAN ها باشد. همچنین ارتباطات نیز از نوع Half-duplex است و دیوایس در زمان های خاصی میتواند داده دریافت کند که میزان بسته های ارسالی و دریافتی نیز محدودیت دارد.
- MAC Layer: فیلد هایی برای احراز هویت دستگاه ها، تشخیص خطا در بسته ها اضافه میکند. همچنین این لایه هیچ سیگنالی ارسال نمیکند که باعث میشود دستگاه ها با شبکه هماهنگ نباشن. هر دستگاه در شبکه Sigfox آیدی مربوط به خود را دارد که این مورد باعث میشود

احراز اهویت پیام و مسیریابی به درستی انجام پذیرد. همچنین به دلیل محدودیت دریافت Ack برای افزایش قابلیت اطمینان هر نود پیام را در سه کانال فرکانسی مختلف ارسال میکند که هر کدام توسط سه gateway دریافت میشوند بدین طریق یک پکت ۹ بار ارسال میشود. که موارد بیان شده باید در MAC Frame مشخص شوند.

- Frame Layer: با استفاده از دیتاهای لایه اپلیکیشن radio frame را به وجود می‌آورد. و به طور خودکار Sequence Number را به فریم اضافه میکند.
- Application Layer: کارهای مربوط به encryption توسط کاربر و دیگر امور مربوط به ارتباط با کاربر در این لایه انجام میشود.

سوال ۱۲ - عنوان سوال

در Sigfox از کانال های Ultra narrow band استفاده میشوند که بسیار باریک هستند و پهنای باند بسیار کمی را در اختیار ما میگذارند. که این مورد باعث کاهش نویز و تداخل بین سیگنال ها میشود و به دلیل نویز کمتر سیگنال در گیرنده با حساسیت بیشتری همراه است. کم بودن پهنای باند باعث میشود به ازای هر سیگنال تعداد بیت های کمتری بتوانیم بفرستیم در نتیجه data-rate به مقدار قابل توجهی نسبت به دیگر پروتکل های LPWAN ها کاهش میابد. که این مورد باعث میشود voice و یا datastream های سبک و کم حجم را بتوانیم ارسال کنیم.

این تکنولوژی زمانی مورد استفاده قرار میگیرد که تعداد نود ها و دستگاه های متصل زیاد باشند و انتقال داده زیاد نباشد زیرا نرخ انتقال داده پایین است. تکنولوژی UNB در LPWAN ها مورد استفاده قرار میگیرد. انتقال داده های کم حجم، ارسال غیرمکرر داده و توان ارسالی پایین از ویژگی های این تکنولوژی است که باعث میشود مصرف باتری نود ها کاهش پیدا کند.

فرکانس کاری UNB ها، معمولاً VHF و یا UHF میباشد بخاطر اینکه ویژگی های انتشار سیگنال های رادیویی مناسب اپلیکیشن های UNB با رنجی بیشتر از 10km است.

سوال ۱۳ - عنوان سوال

یکی از معایب پروتکل LoRaWAN نسبت به NB-IoT این است که دیتاریت کم تری دارد و سرعت انتقال دیتا کمتر میباشد و هر سیگنال تعداد بیت های کمتری را با خود حمل میکند و این مورد برای دوچرخه های هوشمند (e-bikes) یک عیب محسوب میشود زیرا آپدیت شدن مکان دوچرخه با تاخیر انجام میشود که این موضوع برای ما خوش آیند نیست. یکی دیگر از معایب LoRaWAN نسبت به NB-IoT، تاخیر بیشتر میباشد که دیتاریت پایین تر از عوامل آن است.

از معایب پروتکل Sigfox نسبت به NB-IoT نیز این است که تعداد نود های زیادی را ساپورت نمیکند و زیاد Scalable نیست که این موضوع برای دوچرخه های هوشمند عیب محسوب میشود زیرا ممکن است تعداد دوچرخه ها زیاد باشد و در این شرایط پروتکل Sigfox پاسخگوی نیاز های ما نیست. همچنین در Sigfox محدودیتی در ارسال داده ها (Uplink) که ۱۴۰ پیام در روز است و همچنین در دریافت داده ها (Downlink) نیز محدودیت داریم که ۴ بسته در روز است و این مورد برای دوچرخه های هوشمند زیاد مناسب نیست زیرا باید از مکان دوچرخه ها در فواصل زمانی کم آگاه شویم که اگر باتری آنها نزدیک تمام شدن بود بتوانیم آگاه شویم و برای تعویض آن اقدام کنیم، همچنین باید مکان دوچرخه ها را در فواصل زمانی کم داشته باشیم که در صورت شرایط مشکوک به سرقت بتوانیم از محل دوچرخه آگاه شویم که محدودیت در ارسال پیام این امکانات را به ما نمی دهد. همچنین پروتکل Sigfox در حرکت دارای مشکل هایی است که این موضوع نیست در مورد دوچرخه های هوشمند عیب بزرگی محسوب میشود زیرا وسایلی هستند که پیوسته در حال حرکت و تغییر مکان هستند و مکان یابی دوچرخه را برای ما دشوار میسازد.

یکی از مزیت های خوب NB-IoT که آن را برای مکان یابی دوچرخه های هوشمند مناسب میسازد پوشش بسیار خوب آن است که این مورد مدیریت دوچرخه ها را آسان تر میکند. همچنین چون برپایه شبکه های سلولار هستند پس قدرت نفوذ پذیری آنها در Indoor و Outdoor بسیار بهتر از پروتکل های دیگر در زمینه LPWAN ها است که این موضوع باعث میشود مکان یابی دوچرخه ها در مکان های پر تراکم شهری و نواحی دیگر دقیق تر باشد و برای مثال اگر سرقتی رخ دهد و دوچرخه به مکان های زیر زمین برده شود باز قدرت نفوذ پذیری خوب آن در محیط های Indoor باعث میشود همچنان بتوانیم مکان دوچرخه ها را داشته باشیم. همچنین data-rate بالای آن باعث میشود آپدیت شدن مکان دوچرخه برای ما سریعتر انجام شود و این موضوع از این جهت که مکان بروز شده دوچرخه را سریعتر بتوانیم مشاهده کنیم حائز اهمیت می باشد. همچنین کیفیت سرویس (Quality of Service) بهتری نسبت به دو پروتکل دیگر دارد.

همچنین قابل ذکر است که در زمینه مکان یابی برای دوچرخه های هوشمند بعضی از پروتکل ها مانند LTE-M که نسبت به NB-IoT قدیمی تر می باشد و 2G نسبت به NB-IoT عملکرد بهتری از

خود نشان میدهند و در واقعیت در مکان یابی دوچرخه های هوشمند این دو پروتکل نسبت به NB-IoT ترجیح داده میشوند.

سوال ۱۴ - عنوان سوال

میدانیم یکی از ویژگی های پروتکل LTE-M، Enhanced discontinuous reception (eDRX) میباشد که در آن نود ها در فواصل زمانی بین paging cycle ها به مود sleep میروند و به اصلاح idle هستند.

مکانیزم paging برای شروع کردن سرویس ها برای UE(users equipment) هایی که در مود idle هستند استفاده میشود. و مود idle همانطور که میدانیم برای صرفه جویی در مصرف باتری میباشد. مکانیزم paging کاربرد های زیادی دارد که از مهمترین آنها: تغییر در اطلاعات سیستمی نودها، ارسال نوتیفیکشن های ضروری مانند بروز زلزله و ...، آگاهی دادن از تماس های ورودی، پیام های کوتاه (sms) و تمامی سرویس های دیگری که توسط اپراتور قرار است به شما ارائه شود.

به فواصل بین انجام paging cycle، paging cycle گفته میشود که آن را با نماد T نمایش میدهیم. و پس از این مدت زمان نود بیدار میشود تا دیتا هارا دریافت و یا ارسال کند. که معمولاً برای آن مقدار 1280 ms و یا 128 frame در نظر میگیرند به این معنی که اگر نود در فریم ۵ بیدار شود برای سری بعدی ۱۲۸ فریم بعد ینی در فریم ۱۳۳ بیدار میشود.

سوال ۱۵ - عنوان سوال

ارتباطات بی سیم را میتوانیم به دو دسته single-carrier و multi-carrier تقسیم بکنیم. در روش Single-carrier تنها از یک کانال فرکانسی برای انتقال سیگنال ها استفاده میکنیم درحالی که در multi-carrier کل کانال فرکانسی را به چندین کانال مجزا برای انتقال سیگنال ها تقسیم میکند. و انتقال داده با سرعت بالا به چندین انتقال داده با سرعت کمتر تقسیم میشود که به صورت موازی انجام میشود.

روش single-carrier به طور گسترده در ارتباطات بی سیم استفاده میشود به طور مثال در 1G, 2G, 3G و در 4G uplink نیز از single-carrier استفاده میشود.

در روش multi-carrier کل باند فرکانسی به کانال های متفاوت فرکانسی تقسیم میشود و انتقال داده با سرعت زیاد به انتقال هایی که در کانال های متفاوت فرکانسی با سرعت های کمتر انجام میشوند تقسیم میشوند که این انتقال ها در باند های فرکانسی متفاوت به صورت موازی انجام میشود. پس تعداد سیمبل های ورودی در کانال در این روش بیشتر است که این مورد باعث میشود توانایی بیشتری نسبت به single-carrier در مقابله با ISI(Inter Symbol Interference) داشته باشند.

روش single-carrier در مقایسه با Multi-carrier چندین مزیت دارد:

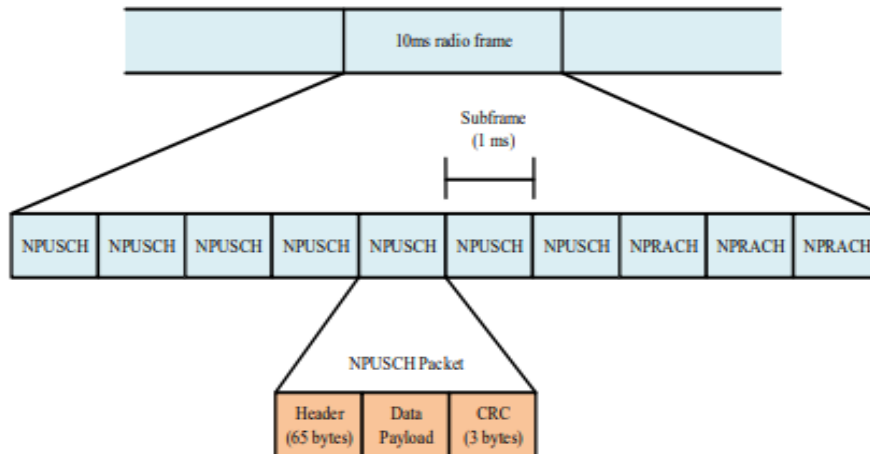
- فاصله بین قله و میانگین توان سیگنال ها کم است که این موضوع برای پایداری سیستم و استفاده از دستگاه های با هزینه کمتر در طراحی ارتباطات بی سیم اهمیت زیادی دارد.
 - در مقایسه با روش mulit-carrier، روش single-carrier نسبت به تغییرات فرکانس و فاز و نویزها حساسیت کمتری دارد و روی آن اثر کمتری میذارد و این مورد باعث میشود هماهنگ شدن دیوایس ها در بعد زمان و فرکانس در ارتباطات بی سیم بهتر انجام شود.
- بر خلاف مزایای ذکر شده این روش نسبت به Multi-carrier معایبی نیز دارد که میتوان به مورد زیر اشاره کرد:

- در مقایسه با multi-carrier، single-carrier در مقابل multipath fading از خود انعطاف کمتری نشان میدهند که این مورد کارایی طیفی آنها را کاهش میدهد. زیرا در single-carrier به دلیل پهنای باند بیشتر، تعداد سیمبل های ورودی بیشتر است در نتیجه نسبت به کانال های multipath fading حساس تر هستند.

سوال ۱۶ - عنوان سوال

(الف)

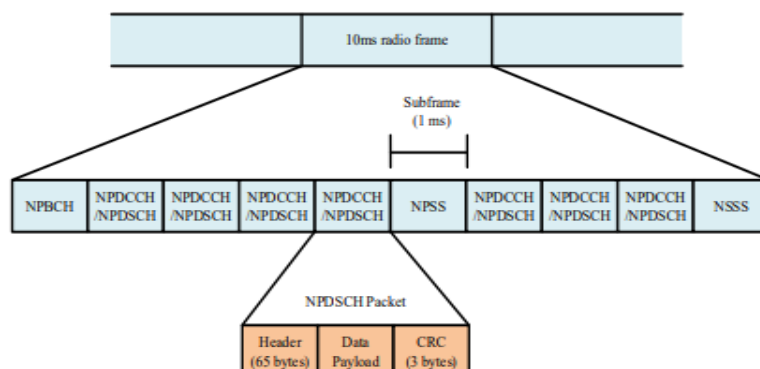
ساختار uplink در NB-IoT به صورت زیر است:



که علائم موجود در شکل به صورت زیر است:

- NPUSCH(Narrow Band Uplink Shared Channel): هم دیتا و هم اطلاعات کنترلی در NB-IoT برخلاف LTE توسط یک کانال اشتراکی منتقل میشوند. که تمایز بین آنها با دوفرمت ایجاد میشود. فرمت اول برای انتقال داده های uplink استفاده میشود و از turbo code برای اصلاح خطا استفاده میکند. فرمت ۲ برای HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) استفاده میشود. محتویات فیلد NPUSCH شامل Header, Data Payload, CRC میشود.
- NPRACH(Narrow Band Physical Random Access Channel): این فیلد UE(User Equipment) را قادر میسازد که به Base Station وصل شود. Base Station از فیلد preamble که توسط BE ارسال میشود زمان uplink را بدست می آورد.

ساختار downlink به صورت زیر است:

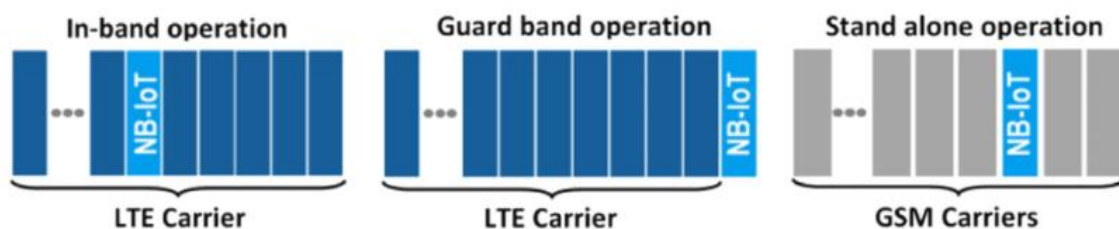


که علائم موجود در شکل به صورت زیر است:

- (NPBCH(Narrow Band Physical Broadcast Channel): بلاک اصلی اطلاعات را شامل میشود و در subframe 0 در هر frame قرار میگیرد.
- (NPDCCH(Narrow Band Physical Downlink Control Channel): به عنوان هسته فریم در Downlink شناخته میشود بخاطر اینکه اطلاعات کنترلی مهمی مانند: Paging, UL/DL, جواب RACH, نوع ماژولاسیون استفاده شده برای انتقال داده، کنترل توان و... این فیلد انتقال داده را بین Base Station و UE کنترل میکند که سائز آن ثابت به اندازه ۲۳ بیت میباشد و در یک subframe قرار میگیرد.
- (NPDSCH(Narrow Band Physical Downlink Shared Channel): اطلاعات اصلی منتقل شده در کانال میباشد. که شامل اطلاعات کاربر و اطلاعات سیستمی میشود.
- (NPSS & NSSS (Narrow Band Primary and Secondary Synchronization Signals): برای انجام جست و جوی سلولی توسط همگام سازی زمان و فرکانس و تعیین هویت سلول استفاده میشود. NPSS در subframe 5 هر ۱۰ فریم ارسال میشود. در حالی NSSS در subframe 9 و هر 20 frame ارسال میشود.

(ب)

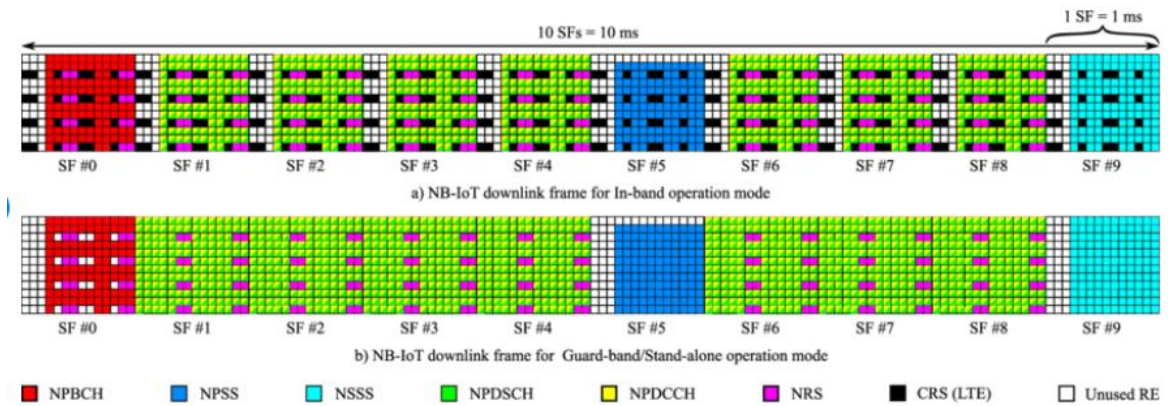
میدانیم سه نوع پیاده سازی در پروتکل NB-IoT داریم که به صورت زیر است:



که توضیحات آنها به صورت زیر است:

- Standalone: از باند GSM به عنوان GSM carrier استفاده میکنیم که پهنای باند 900 الی 1800 مگاهرتز را برای ما فعال سازی میکند.
- In-band: قسمتی از پهنای باند LTE به عنوان پهنای باند NB-IoT اختصاص داده میشود.
- Guard-band: بین کانال های LTE و WCDMA برای انتقال سیگنال های NB-IoT استفاده میکنیم.

نحوه پیاده سازی آنها در فریم نیز به صورت زیر است:



که فریم بالایی نحوه پیاده سازی In-band هست خیلی از باند های فرکانسی توسط CRS اشغال شده است که این نشان میدهد در In-Band برای انتقال سیگنال های NB-IoT استفاده کرده ایم. و همچنین قسمت هایی از sub-frame ها unused هستند درحالی که در Guard-band و standalone فقط اطراف sub-frame 0 و sub-frame 5 قسمت های unused داریم و همچنین قسمت هایی از sub-frame 9 و در بقیه قسمت ها از تمامی کانال استفاده کرده ایم. همچنین دیگر قسمت هایی رو به CRS اختصاص نداده ایم.

(ج)

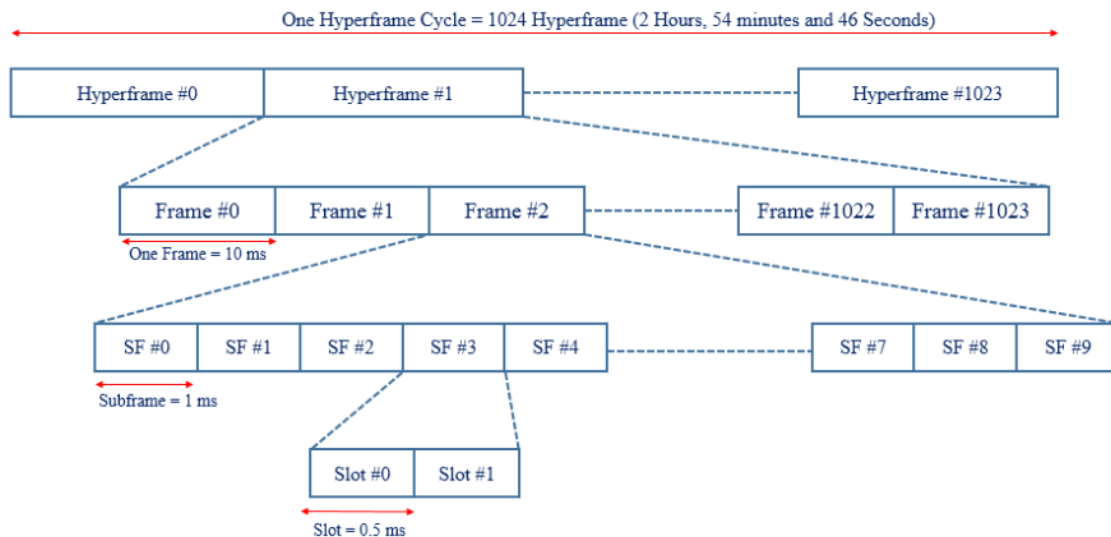
در شبکه NB-IoT از subcarrier استفاده میشود به این معنی که سیگنال های دیگر در کنار سیگنال اصلی قرار میگیرد که باعث میشود کانال اضافی برای انتقال فراهم شود. همچنین باعث میشود در یک انتقال بیشتر از یک سیگنال جدا حمل شود. هر subcarrier اطلاعات اضافی ای حمل میکند و همگی در یک انتقال حمل میشوند و در مقصد از هم جدا میشوند.

(د)

Sub-carrier spacing فضای اختصاص داده شده برای sub-carrier میباشد. در NB-IoT که شامل 10 sub-frame میباشد، هر sub-frame به ۲ اسلات که هر کدام 0.5 ms است تقسیم میشود که مانند LTE است. هم در uplink و هم در NB-IoT downlink، subcarrier spacing به اندازه 15KHz برای هر فریم که شامل ۲۰ اسلات است پشتیبانی میکند. در subcarrier-spacing uplink به اندازه 3.75KHz

اضافه تر نیز هست. برای این فضای اضافی هر فریم به طور مستقیم به ۵ اسلات هر کدام 2ms تقسیم میشود که در اینجا مفهومی به نام subframe وجود ندارد.

شکل زیر subcarrier-spacing به اندازه 15KHz برای uplink و downlink قابل مشاهده است:



در شکل زیر نیز subcarrier spacing به اندازه 3.75KHz برای uplink قابل مشاهده است:

