

(سوال ۱)

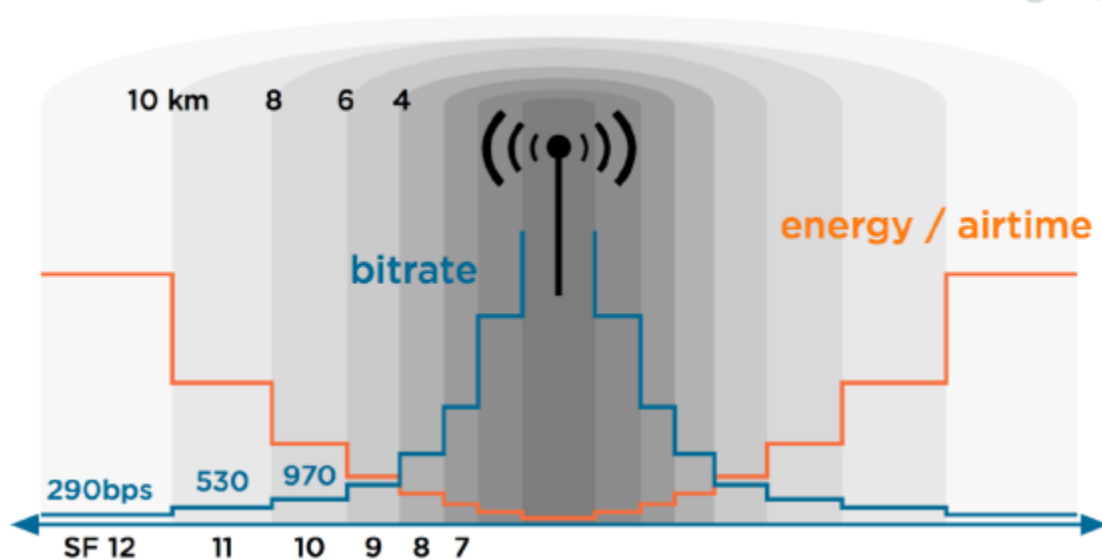
	LoRaWAN	SigFox	NB-IoT	Ingenu	Telensa
Band	Sub-GHz ISM: EU (433 MHz, 868 MHz), US (915 MHz), Asia (430 MHz)	Sub-GHz ISM: EU (868 MHz), US (902 MHz)	Licensed 700–900 MHz	ISM 2.4 GHz	Sub-GHz bands including ISM: EU (868 MHz), US (915 MHz), Asia (430 MHz)
Data Rate	03–37.5 kbps (LoRa), 50 kbps (FSK)	100 bps (UL), 600 bps (DL)	158.5 kbps (UL), 106 kbps (DL)	78 kbps (UL), 19.5 kbps (DL)	,(bps (UL 62.5 (bps (DL 500
Range	5 km (urban), 15 km (rural)	10 km (urban), 50 km (rural)	15 km	15 km (urban), 500 km line LOS	1 km (urban)
Number of Channels	EU: 10 US: UL 64+8, DL: 8 + SF	360	12 carrier	40	multiple
MAC	Unslotted ALOHA	Unslotted ALOHA	FDMA/OFD MA	CDMA-like	Unknown
Topology	Star of Stars	Star	Star	Star, Tree	Star, Tree
Adaptive Data Rate	Yes	No	No	Yes	No
Payload length	up to 250 B	12 B (UL), 8 B (DL)	125 B (UL), 85 B (DL)	10 KB	64 KB
Handover	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Auth/Encryption	AES128	Not supported	3GPP(128,256)	AES128	Not supported
Over the air update	Yes	No	No	Yes	Yes
Battery life	105months	90months	120months	20+years	5 years
Bi-Directional	Yes	Limited	Yes	Yes	Yes

سوال ۲)

فاکتور گسترش، پهنای باند، نرخ کدگذاری

فاکتور گسترش:



- زمان ارسال یک بسته: با افزایش فاکتور گسترش زمان ارسال افزایش میابد چون سیگنال طولانی تر می شود.
- نرخ ارسال: با کاهش فاکتور گسترش نرخ ارسال افزایش می یابد.
- مصرف انرژی: با افزایش فاکتور گسترش انرژی مصرف می یابد.
- برد ارتباطی: با افزایش فاکتور گسترش مسافت ارتباطی بیشتر می شود و سیگنال در برابر خطا مقاوم تر می شود.

پهنای باند:

- زمان ارسال یک بسته: با افزایش پهنای باند زمان ارسال بسته کاهش می یابد.
- نرخ ارسال: با افزایش پهنای باند نرخ ارسال افزایش می یابد.

- مصرف انرژی: با افزایش پهنای باند مصرف انرژی کاهش می‌یابد چون انرژی کمتری برای ارسال هر بیت و زمان موردنیاز برای ارسال لازم است.
- برد ارتباطی: با افزایش پهنای باند برد ارتباطی کاهش می‌یابد.

نرخ کدگذاری:

- زمان ارسال یک بسته: بی‌تاثیر است
- نرخ ارسال: با افزایش نرخ کدگذاری نرخ ارسال کم می‌شود چون بخشی از بیت‌های ارسالی بیت‌های تشخیص و تصحیح خطا اند و ربطی به دیتای اصلی ندارند.
- مصرف انرژی: با افزایش نرخ کدگذاری به طور میانگین انرژی مصرفی برای ارسال داده‌ی اصلی افزایش می‌یابد
- برد ارتباطی: تاثیر مستقیم روی برد ندارد ولی با بیشتر شدن بیت‌های کد تصحیح خطا می‌تواند راحت‌تر شود و به‌طور غیرمستقیم در مسافت‌های طولانی‌تر احتمال دریافت صحیح یا تصحیح شده‌ی بسته‌ها اندکی بیشتر می‌شود.

سوال (۳)

a) نرخ downlink: کلاس c < کلاس b < کلاس a

در حالت کلی کلاس c مناسب‌تر است زیرا زمان بیشتری اماده‌ی دریافت بسته‌ها از gateway است ولی باید توجه داشتیم که این کلاس مصرف انرژی بالاتری از b و a دارد. بعد از کلاس c می‌توان از b استفاده کرد که مصرف انرژی بهتری هم دارد ولی باز از a بیشتر است. در نهایت از a می‌توان استفاده کرد که کمترین نرخ دریافت را دارد ولی انرژی را بسیار بهینه‌تر مصرف می‌کند.

b) به ترتیب مصرف: کلاس c < کلاس b < کلاس a

چون از c به a مدت زمانی که اماده‌ی دریافت بسته از gateway کم می‌شود و انرژی بهینه‌تر مصرف می‌شود.

سوال (۴)

در شبکه‌های LoRaWAN برای انتقال اطلاعات می‌توان از چنل‌های فرکانسی مختلفی استفاده کرد. مثلاً در اروپا ۸ چنل فرکانسی مختلف داریم. حال برای کمتر شدن interference هنگام ارسال اطلاعات end device ها با یک الگوریتم pseudo-random بین چنل‌ها مختلف جابجا می‌شوند و روی فرکانس‌های مختلف ارسال می‌کنند. ۲ طرف ارتباط از نحوه‌ی عوض شدن چنل‌ها خبر دارند ولی از دید یک شخص ثالث این جابجایی بنظر رندم بنظر می‌رسد برای همین به آن pseudo-random می‌گویند. همچنین به مدت زمانی که نیاز هست تا از یک چنل فرکانسی روی چنل دیگر برویم و ارسالی نداریم Hop time می‌گویند.

سوال (۵)

پروتکل ALOHA بدون قاعده‌ی خاصی اطلاعات را می‌فرستد. یعنی نه carrier sense دارد نه synchronization و نه ... هر زمان که دیتا آماده‌ی ارسال باشد فرستاده می‌شود و صرفاً در صورت collision یک بک‌آف تایم داریم که براساس آن مشخص می‌شود کی ارسال مجدد باید صورت بگیرد. خوبی این پروتکل کاهش پیچیدگی در سمت end device است. در صورتی که ۲ یا چند دستگاه همزمان شروع به ارسال داده کنند به نحوی که سیگنال‌های ارسال شده بر روی یکدیگر اثر گذاشته و دیتا را خراب کنند collision رخ می‌دهد. باتوجه به نداشتن مکانیزم‌های کنترلی، حداکثر توان عملیاتی ALOHA حدوداً برابر با ۱۸.۴٪ است.

سوال (۶)

A. Duty Cycle به حداکثر زمانی گفته می‌شود که یک دستگاه اجازه‌ی استفاده و اشغال یک چنل را دارد و باتوجه به Time on Air می‌توان درصد Duty Cycle را به یک زمان عددی تبدیل کرد که مشخص می‌شود چند ms اجازه‌ی ارسال هست و چه مدت دستگاه باید صبر کند. علت وجود Duty Cycle در باند فرکانسی Sub-GHz کنترل ازدحام در این باندها است چون unlicensed هستند و end device نباید مدام داده ارسال کنند تا همه بتوانند از این باندها استفاده کنند.

B. هر sub-band یک duty cycle دارد. لذا تمامی چنل‌های مربوط به آن sub-band همان یک duty cycle را دارند.

C. می‌دانیم تعداد سمبل‌هایی که در هر ثانیه می‌توانیم بفرستیم برابر است با $BW/2^{SP}$. در نتیجه با افزایش SP تعداد سمبل‌های کمتری می‌توانیم بفرستیم و بالعکس. از دید دیگر اگر بخواهیم ببینیم، SP روی مدت زمان ارسال بسته‌ها اثر می‌گذارد. با SP بیشتر مدت زمان بیشتری نیز طول می‌کشد تا یک بسته منتقل شود زیرا به نوعی سیگنال کشیده‌تر شده است. حال باتوجه به ضرب Duty Cycle و ToA هر گره مدت زمان مشخصی قابلیت ارسال بسته دارد. لذا وقتی SP بالاتر برود تعداد بسته کمتری در این مدت زمان مشخص می‌توان ارسال کرد.

سوال (۷)

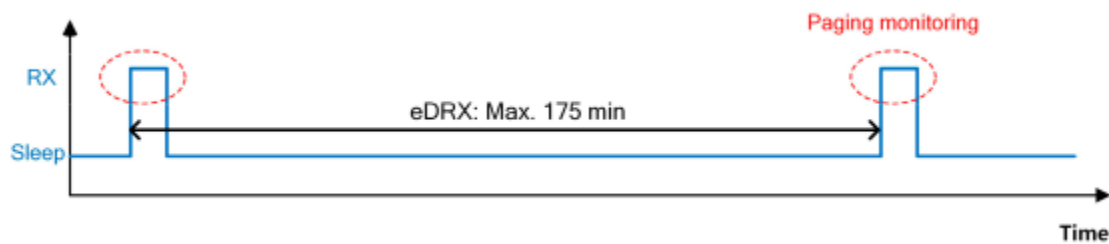
(a) ناوگان حمل و نقل هوشمند: NB-IoT چون به دیتاریت زیادی نیاز دارم و هم دیتا ریت بیشتری دارد هم range معقولی دارد و همچنین وسایل نقلیه مشکل جدی تامین انرژی ندارند (باتوجه به دینام و ...). همچنین قابلیت Handover دارد.

(b) سامانه روشنایی هوشمند شهری: در SigFox ارتباط DL تنها بعد از UL میتواند اتفاق بیفتد و همچنین ماکسیمم ۴ بار در روز است. لذا این آپشن حذف می‌شود. برای این کاربرد، استفاده از LoRaWAN انتخاب منطقی‌ای است. چون مصرف انرژی کمی دارد و هزینه‌ی آن به صرفه‌تر از NB-IoT است و همچنین قابلیت DL دارد و range خوبی هم دارد.

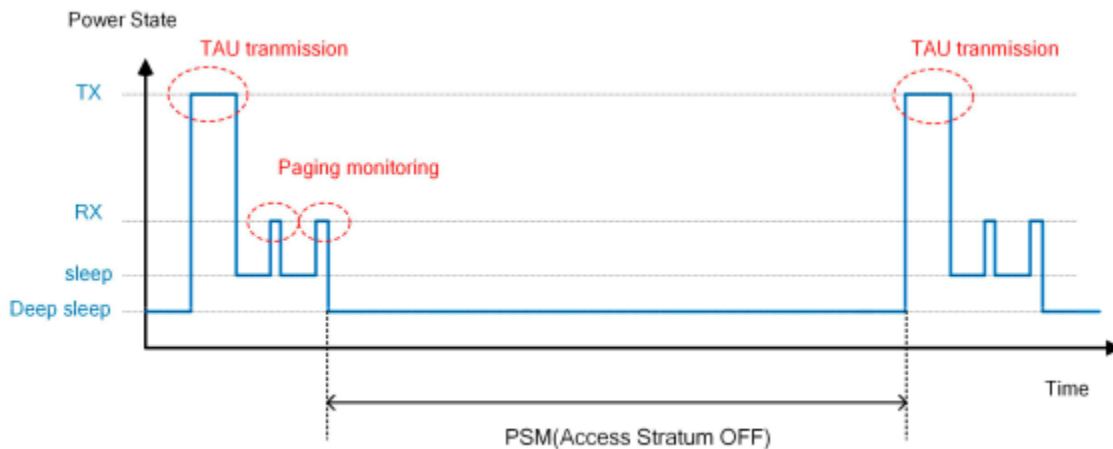
(c) سامانه کشاورزی هوشمند: از LoRaWAN و SigFox می‌توانیم استفاده کنیم. SigFox انتخاب منطقی‌تری است چون هم مصرف بهینه‌ی انرژی دارد هم نیازی به UL و DL زیاد نداریم لذا الزامی نیست سمت LoRaWAN برویم. Range آن هم بسیار مناسب است و برای چندین هکتار جواب‌گو است. حرکت خاصی هم در نودها نداریم.

سوال ۸)

A. در مد DRX یا همان Discontinuous reception، در مدت زمان‌ها (period) مشخصی که با BTS مذاکره شده UE modem یا همان User Equipment modem غیرفعال می‌شود و صرفاً در زمان‌های مشخصی روشن می‌شود و DL را مانیتور می‌کند (آماده‌ی دریافت می‌شود) و در صورت نیاز ارسال می‌کند. وقتی UE می‌خواهد paging signal را مانیتور کند تنها ۱ms روشن می‌شود. هرچه DRX period طولانی‌تر شود تاخیر بیشتر می‌شود ولی در شبکه‌های NB-IoT اهمیت انرژی می‌تواند بیشتر از تاخیر شود. لذا eDRX استفاده می‌شود که همان extended DRX است. در DRX عادی در شبکه‌های LTE حداکثر مقدار period برابر ۲.۵s است در حالی که در eDRX می‌تواند تا ۱۷۵ دقیقه نیز برود.



در مد PSM یا Power Saving Mode، دستگاه حتی Paging signal را هم مانیتور نمی‌کند و در deep sleep می‌رود. در این حالت بعد از بیدار شدن دستگاه نیازی به دوباره رجیستر شدن ندارد و در شبکه باقی می‌ماند. این حالت برای مواقعی که ارسال و یا دریافت مکرر نداریم موثر می‌تواند باشد. یا برای مواقعی که تاخیر DL اهمیت زیادی نداشته باشد. با توجه به اینکه Paging نیازی به مانیتور شدن ندارد UE می‌تواند غیرفعال شود. مدت زمان deep sleep در یک فرایند TAU یا Tracking Area Update مشخص می‌شود.



B.

- شبکه هوشمند انرژی: در بخش‌هایی که صرفاً اندازه‌گیری داریم و اکشن خاصی انجام نمی‌دهیم از PSM. در جاهایی که نیاز به واکنش نشان دادن سریع‌تر به اتفاقات هستیم و یا DL برایمان اهمیت بیشتری دارد از eDRX.

- سنسورهای خاک در کشاورزی هوشمند: PSM چون DL خاصی نداریم و چندوقت یکبار ممکن است نیاز شود داده ارسال کنیم.

- کنترل و پیگیری دارایی: eDRX چون برای پیگیری نیاز است با end device ها ارتباط داشته باشیم و DL داریم. از طرف دیگر ممکن است با نرخ بیشتری نیاز به ارسال داده کنیم و نرخ ارسال به مصرف انرژی اولویت داشته باشد.

C. این مقاله یکی از علل اصلی مصرف زیاد انرژی را ارتباطات رادیویی در power amplifier می‌داند و راه حل آن را کم کردن زمانی که UL داریم می‌داند. برای اینکار PBESM یا prediction-based energy saving mechanism را معرفی می‌کند که روی بهینه کردن Uplink تمرکز دارد. این مکانیزم از ۲ بخش تشکیل شده: یک: معماری شبکه که احتمال داشتن بسته‌ی Uplink را با deep packet inspection پیش‌بینی می‌کند. دو: یک الگوریتمی که processing delay را پیش‌بینی می‌کند و از قبل منابع رادیویی را اساین می‌کند تا فرایند scheduling request بهینه‌تر شود. کلیت این دو مورد باعث کمتر شدن random access ها می‌شود که در نتیجه انرژی بهینه‌تر مصرف می‌شود و طبق نتایج این مقاله مصرف انرژی با این روش تا ۳۴٪ کاهش یافته.

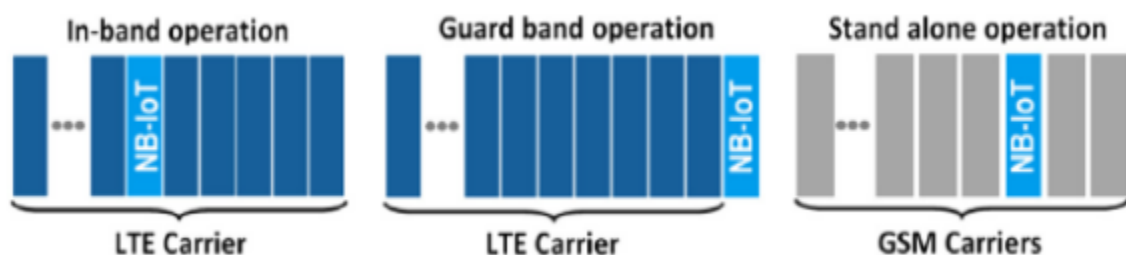
سوال ۹)

- (a) ۱۰۰۰ گوسفند به وسیله‌ی device (قلاده هوشمند) هایی که با NB-IoT ارتباطات خود را برقرار می‌کردند در چراگاه‌های تابستانی سلامتی و مکانشان رصد می‌شد. در این پروژه از تکنولوژی برای برآورده کردن نیازهای واقعی زندگی استفاده شد و دید خوبی برای استفاده از این تکنولوژی و همچنین آماده شدن برای بکار بردن آن در سایر حوزه‌ها داد.
- (b) از NB-IoT:

۱. چون Range مناسبی دارد
۲. با حرکت گوسفندان مشکلی ایجاد نمی‌شود و این شبکه با حرکت end device ها همچنان به کار ادامه می‌دهد.
۳. نرخ انتقال مناسبی دارد و می‌توان با تاخیر کم از مکان و حال گوسفندان باخبر شد.
۴. مصرف انرژی بهینه‌ای دارد و با باتری چندین سال می‌تواند کار کند.

سوال ۱۰)

- (a) ۳ حالت داریم



Standalone: یک GSM carrier برای انتقال در NB-IoT استفاده می‌شود (شبکه‌های 2G)

In-band: بخشی از باند فرکانسی خود LTE استفاده می‌شود.

Gaurd band: از carrierهای بین LTE یا WCDMA استفاده می‌کند. باندهای این محدوده بعضاً نیازمند مجوز برای استفاده هستند چون قرار بوده برای Gaurd و بدون استفاده و رزرو بمانند.

(b) این اتفاق زمانی می‌افتد که چند دستگاه روی یک باند فرکانسی بخواهند ارسال کنند و روی همدیگر اثر مخرب بگذارند. در شبکه‌های سلولار هم وقتی ۲ BTS دور از هم با فرکانس یکسانی کار می‌کنند ممکن است سیگنال‌های مربوط به یکی روی دیگری اثر مخرب بگذارد و Co-Channel Interference رخ دهد.

(c) در حالاتی مثل In-band که از باندهای کاری LTE استفاده می‌کنیم، به علت وجود دستگاه‌های فراوان دیگر که روی آن فرکانس در BTSهای دیگر نیز ارسال دارند ممکن است دچار CCI شویم (یعنی LTE device ها به LTE BTS می‌فرستند و NB-IoT Device به NB-IoT station و چون NB-IoT Device از BTS خود دورتر است و به LTE BTS نزدیکتر است ممکن است این اتفاق رخ دهد).

(d) یک روش power boosting آن PRB یا physical resource block که یک sub-channel 180KHz ای است می‌باشد که SNR را تقویت می‌کند و CCI را کمتر می‌کند. یک روش که می‌تواند تداخل را تماماً حذف کند این است که ان PRB که برای NB-IoT است را تمام blank کنیم و از LTE عادی خالی کنیم و استفاده نکنیم. همچنین هیچ common reference singal ای هم روی این PRB ها ارسال نکنیم.

(e) اینکه از تمامی ظرفیت sub-channel استفاده نکرده باشیم

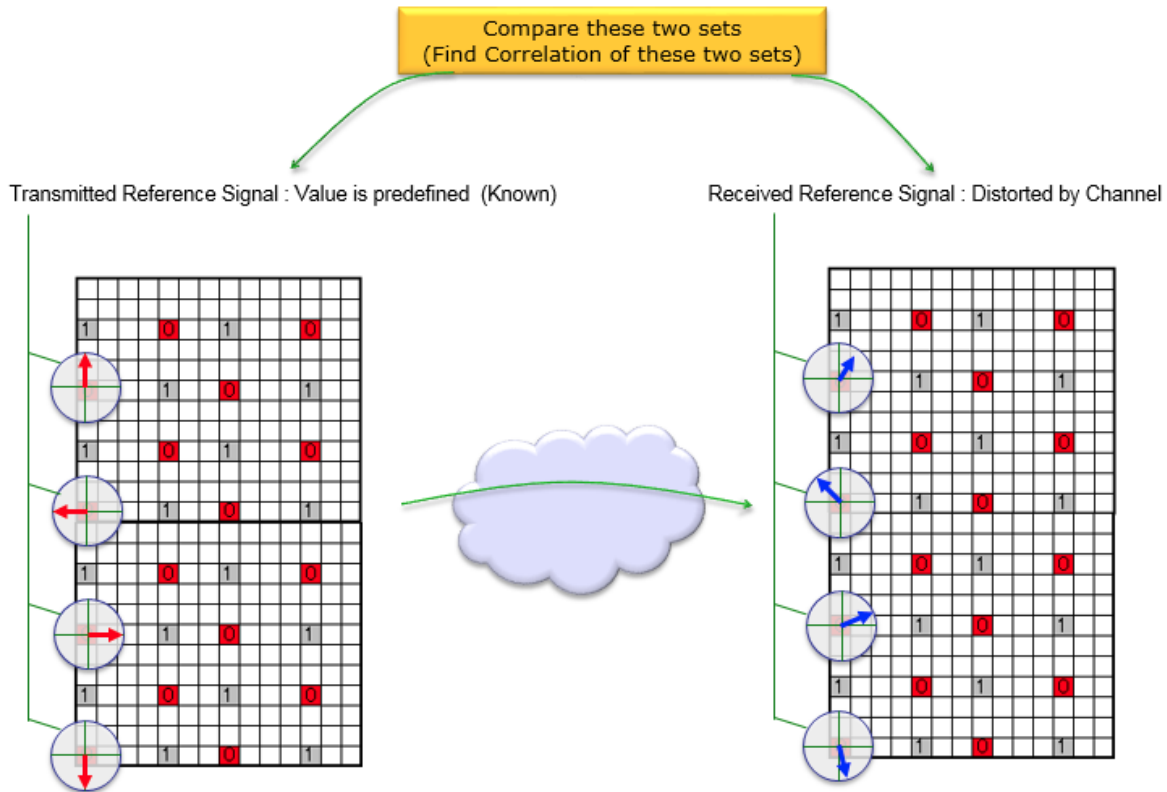
سوال (۱۱)

۱. مصرف انرژی بهینه‌تر می‌شود زیرا با یکبار ارسال همه‌ی device های مدنظرمان اطلاعات را دریافت می‌کنند و نیاز نیست جدا جدا برای هر کدام ارسال کنیم.

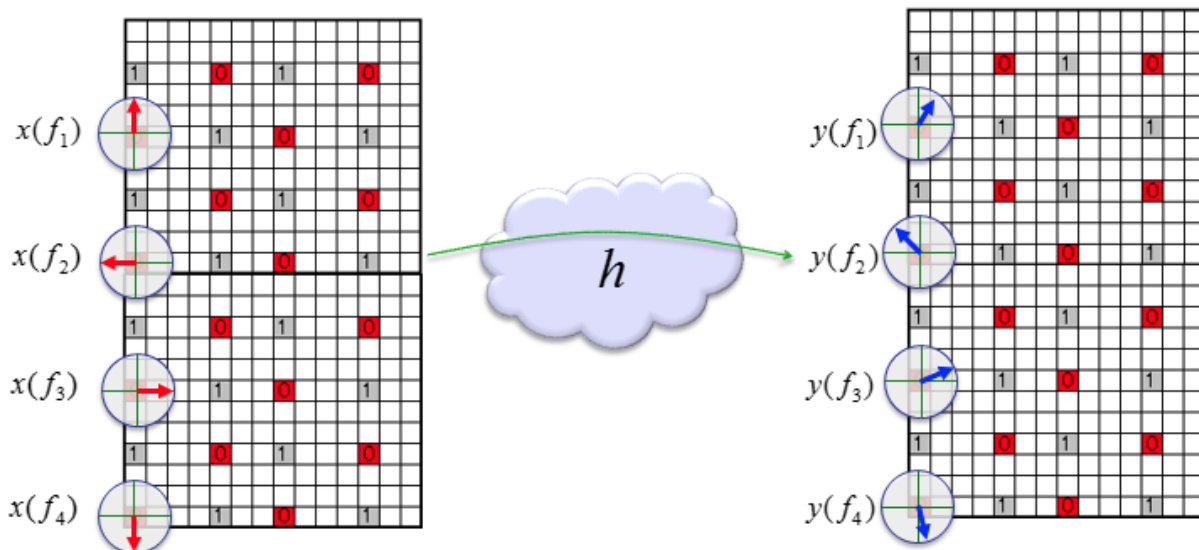
۲. استفاده از منابع شبکه بهینه‌تر می‌شود زیرا همه‌ی device ها همزمان محتوا را دریافت می‌کنند (اپدیت firmware. روشن کردن street light همزمان).

سوال (۱۲)

(a) وقتی یک سیگنال در یک چنل منتقل می‌شود دچار خطا و نویز و ... می‌شود. برای تقریب زدن ویژگی‌های و ضرایب چنل یک سیگنالی که از قبل می‌دانیم چه سیگنالی است و چه ویژگی‌هایی دارد را می‌فرستیم. در سمت گیرنده هم سیگنال دریافت شده را بررسی می‌کنیم و ۲ سیگنال را با هم مقایسه می‌کنیم (شکل زیر).



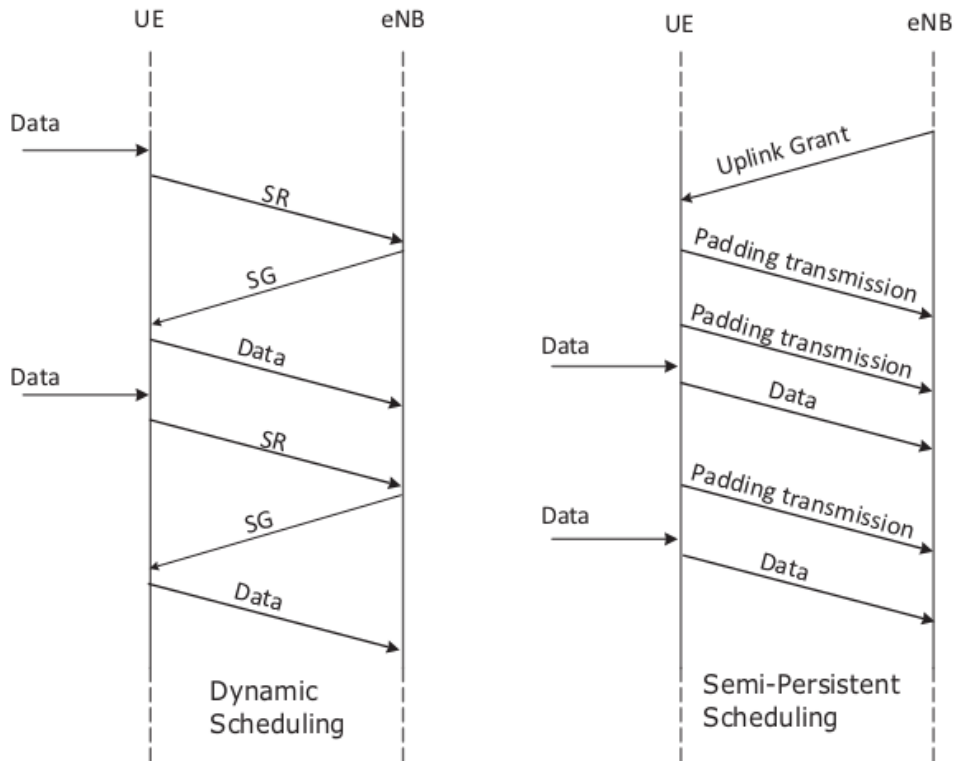
حال برای فرکانس‌های مختلف رابطه‌ی بین y , x , h را پیدا می‌کنیم. همچنین تاثیر نویز و ... را هم تقریب می‌زنیم و در نهایت با اینکار می‌توانیم به تشخیص ارور کمک کنیم تا سایر سیگنال‌های دریافت شده را به سیگنال ارسالی مپ کنیم.



(b) زیرا این امر نیازمند محاسبات زیاد و سنگینی است که پیچیدگی را سمت end device می‌آورد که جالب نیست و در مصرف انرژی تاثیرگذار است.

سوال ۱۳)

(a) در Dynamic Scheduling ابتدا Scheduling Request به eNB یا همان evolved NodeB ارسال و Scheduling Grant از طرف eNB به UE داده می‌شود. و بعد دیتا منتقل می‌شود. این امر از لحاظ برنامه‌ریزی مطلوب است ولی اوهرد ارتباطی دارد. در حالت Semi-Persistent Scheduling خود eNB برای UE‌ها به صورت دوره‌ای بر مبنای مشخصی Grant می‌فرستد و اگر UE‌ها چیزی برای ارسال داشتند می‌فرستند و در غیر این صورت Padding ارسال می‌کنند.



(b) در لایه‌ی MAC زیرا scheduling برای ارسال و دسترسی به منابع (Medium Access) از وظایف همین لایه است.