**سوال 1)** با توجه به فناوری­های ارتباطی مختلف LPWAN، جدول زیر را تکمیل کنید.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Telesna | Ingenu | NB-IoT | SigFox | LoRaWAN |  |
| sub–GHz ISM bands | 2.4 GHz | LTE and GSM bands | sub–GHz ISM bands | sub–GHz ISM bands | Band |
| <100 bps | 624 kbps | 200 kbps | 100 bps | 290 bps-50 kbps | Data Rate |
| 2-4 km | 4 km | 1-10 km | 3-50 km | 2-15 km | Range |
| - | - | - | 360 | 10 in EU | Number of Channels |
| - | RPMA-DSSS | LTE | ALOHA | ALOHA | MAC |
| Star | Star | Star | Star | Star of stars | Topology |
| No | No | No | No | Yes | Adaptive Data Rate |
| - | 16 bytes | 1600 bytes | 12 bytes (UL) & 8 bytes (DL) | 243 bytes | Payload Length |
| Yes | Yes | Yes | No | No | Handover |
| - | Yes (AES Encryption) | Yes (LTE encryption) | Not Supported | Yes (AES 128b) | Authentication/Encryption |
| No | Yes | Yes | No | Yes | Over The Air Update |
| Very High | Very High | Medium | Very High | Very High | Battery Life |
| Yes | Yes | Yes/Half-duplex | Limited-Half-duplex | Yes/Half-duplex | Bi-Directional |

**سوال 2)** تأثیر فاکتور گسترش و پهنای باند و نرخ کدگذاری را بر زمان ارسال یک بسته، نرخ ارسال، مصرف انرژی و برد ارتباطی در شبکه LoRaWAN، به­طور کامل شرح دهید.

با افزایش فاکتور گسترش، زمان ارسال یک بسته افزایش پیدا می­کند (تقریبا دوبرابر می­شود) زیرا زمان بیشتری برای جاروب کردن بازه فرکانسی نیاز است. در نتیجه نرخ ارسال کاهش پیدا می­کند (هرچند تعداد بیت بیشتری با یک سیگنال ارسال می­شود). نتیجه دیگر افزایش فاکتور گسترش، افزایش برد مفید سیگنال است و حتی با وجود نویز­های زیاد می­توان سیگنال اصلی را در مقصد دریافت کرد. زمان روی هوا نیز افزایش پیدا می­کند و در نتیجه آن مصرف انرژی نیز بیشتر می­شود.

با افزایش پهنای باند، نرخ ارسال داده افزایش می­یابد زیرا تعداد بیت­های بیشتری را می­توان با همان سیگنال ارسال کرد.

با افزایش نرخ کدگذاری، نرخ ارسال نیز کاهش می­یابد زیرا بیت­های بیشتری صرف پروسه تصحیح خطا می­شود. این افزایش باعث افزایش زمان ارسال یک بسته نیز می­شود.

فرمول­های زیر در این نتیجه­گیری­ها استفاده شده است:

**سوال 3)** با توجه به کلاس­های مختلف تعریف شده در فناوری LoRaWAN به دو سوال زیر پاسخ دهید:

* کلاس­هایA ،B و C را از نظر downlink مقایسه کنید، و تحلیل کنید برای کاربردهایی که نیاز به ترافیک بالایی در downlink دارند (مثل نیاز به دریافت acknowledgment) کدام کلاس/کلاس­ها مناسب­تر هستند.
  + در کلاس A گره انتهایی فقط پس از ارسال یک پیام بازه کوتاهی را مشغول به گوش دادن می­شود و آماده دریافت پیام می­شود. این کلاس برای کاربرد هایی که ترافیکdownlink بالایی دارند مناسب نمی­باشد.
  + در کلاس B از بسته­هایی به نام bacon (پس از یک ارسال موفق از gateway برای end-node فرستاده می­شود) برای هماهنگ­کردن پنجره دریافت با گره انتهایی از gateway استفاده می­شود. این کلاس مناسب کابرد­هایی که نیاز به ترافیک بالایی در downlink دارند، می­باشد.
  + در کلاس C، ماژول به جز زمان هایی که درحال ارسال پیام است درحال گوش دادن می­باشد. ای کلاس نیز مناسب کابرد­هایی که نیاز به ترافیک بالایی در downlink دارند، می­باشد ولی مصرف انرژی بسیار بالایی دارد.
* کلاس­هایA ،B و C را از نظر مصرف انرژی مقایسه کنید.
  + کلاس A از نظر مصرف انرژی از دیگر کلاس­ها به­صرفه­تر می­باشد و برای ماژول­های دارای باتری عالی می­باشد.
  + توان مصرفی کلاس B بهینه­سازی شده است و برای ماژول­های دارای باتری مناسب است.
  + کلاس C پرمصرف­ترین کلاس می­باشد و برای ماژول های متصل به شبکه برق و یا بدون محدودیت مصرف انرژی مناسب می­باشد.

**سوال 4)** فرایند Channel Hopping را توضیح داده و شرح دهید که این فرایند در شبکه LoRaWAN چگونه انجام می­شود.

در شبکه LoRaWAN بازه­ی فرکانسی به کانال­های کوچک­تری تقسیم شده است و هر گره انتهایی برای هربار ارسال از یکی از این کانال­ها استفاده می­کند. مکانیزم انتخاب کانال بعدی برای ارسال یک الگوریتم شبه­رندوم(pseudo-random) است و دو طرف با داشتن seed اولیه می­توانند براحتی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. به زمانی که بر روی یک فرکانس مشخص داده ارسال می­شود Dwell time و به زمانی که به تنظیم اوسیلاتور برای ارسال روی فرکانس بعدی اختصاص می­یابد، Hop time گفته می­شود.

**سوال 9)** درباره پروژهی Connected Sheep که در کشور نروژ اجرا شده است، تحقیق کنید و به سوال­های زیر پاسخ دهید:

* اقدامات و اهداف این پروژه را به صورت مختصر توضیح دهید.
  + اپراتور تلفن همراه نروژی Telia و استارتاپ Nortrace با استفاده از NB-IoT در تابستان 2017 هزار گوسفند را در یکی از مناطق کوهستانی این کشور ردیابی کردند. به گفته Telia، این بزرگترین آزمایش NB-IoT در جهان خواهد بود.
* در این پروژه از کدام فناوری اینترنت اشیا استفاده می­شود؟ به نظر شما علت این انتخاب چیست؟
  + در این پروژه از NB-IoT استفاده می­شود. این فناوری پروژه‌های اینترنت اشیا را با پوشش بهتر و هزینه‌های کمتر در مقایسه با فناوری‌های سنتی موبایل ارائه می‌کند. NB-IoT همچنین امکان عمر باتری بسیار طولانی‌تر را برای دستگاه‌های متصل (بیش از 10 سال) فراهم می‌کند، زیرا آنها نه همیشه بلکه فقط گهگاهی ارتباط برقرار می‌کنند.

**سوال 11)** NB-IoTدر نسخه 14 خود پشتیبانی از سرویس­های multicast را ارائه داد. دو مورد از مزایای این ویژگی را توضیح دهید.

* این ویژگی توزیع کارآمد نرم‌افزار و به‌روزرسانی‌ها یا دستورات را به یکباره در گروه بزرگی از نود‌های شبکه امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین، مدیریت و نگهداری مقادیر زیادی از نود‌های اینترنت اشیا را که همگی یک نرم‌افزار را اجرا می‌کنند و وظایف یکسانی را انجام می‌دهند، ساده می‌کند.
* همه نود‌های اینترنت اشیا که محتوای یکسانی را دریافت می‌کنند بلافاصله منابع شبکه را ذخیره می‌کنند (قبلا یک­به­یک و در حالت unicast ارسال می­شدند). حال، این ویژگی کنترل همزمان نودهایی مانند چراغ­های خیابان را امکان پذیر می­کند.

**سوال 12)**

* دربارهی تخمین کانال تحقیق کنید و ارتباط آن را با error correction به اختصار توضیح دهید.
  + یکی از بخش‌های کانال بی‌سیم تلفن همراه، تخمین کانال است. این روش باعث بهبود قابل توجه عملکرد سیستم (به‌ویژه برای سیستم‌های 4G و LTE) می­شود. تخمین کانال با تخمین پاسخ فرکانس کانال متغیر با زمان برای نمادهای OFDM انجام می­شود.
* با توجه به نیازمندی­های شبکه­های IoT، به نظر شما چرا این شبکه­ها نمی­توانند تخمین کانال را با دقت بالا انجام دهند؟
  + متودهای تخمین کانال موجود که به طور گسترده در OFDM مورد استفاده قرار می­گیرند، به دلیل پیچیدگی محاسباتی قابل توجه و مصرف انرژی، قابل استفاده در شبکه­های IoT نیستند.

**سوال 13)**

* درباره­ی Semi-Persistent scheduling در NB-IoT تحقیق کنید و آن را توضیح دهید.
  + برای بهتر پشتیبانی کردن از پیام­های صوتی در موارد استفاده مربوطه، در نسخه 15، ویژگی SPS معرفی شده است. به طور کلی، SPS از زمان‌بندی مداوم برای ارسال‌های اولیه و زمان‌بندی پویا برای ارسال‌های مجدد تشکیل شده است. ایستگاه اصلی منابع خاصی را برای پیام‌های صوتیNB-IoT با فاصله زمانی مشخص اختصاص می‌دهد تا از سربار control plane کم شود و در نتیجه استفاده از منابع رادیویی بهینه شود.
* ویژگی Semi-Persistent scheduling در کدام لایه از شبکه پیاده­سازی می­شود؟ چرا؟
  + در MAC layer پیاده­سازی می­شوند. از آنجایی که این لایه دقیقا بالای لایه فیزیکال قرار دارد و وظیفه این لایه مدیریت مدیا است، پس برنامه­ریزی نیز در آن انجام می­شود.