



LoRaWAN™を用いた低消費電力・長距離通信 LPWAソリューション

セムテック・ジャパン合同会社

1. はじめに

LTE、Wi-Fiなどは、より高画質な動画配信や大容量データの高速ダウンロードのために、データ・レートの高速化が進められてきた。しかし、その一方で容量も小さく頻度も少なくていいが低消費電力、低コストで長距離通信を求められるアプリケーションが広がってきている。いわゆるLPWA (Low Power Wide Area) である。LoRaWAN™は他方式と比較し、柔軟な構成を安価に実現できる。本稿では、LoRaWAN™の遠距離通信を実現したLoRa方式に関してSEMTECH SX1261を例に取り上げ解説、また柔軟な構成を可能としているLoRaWAN™の特徴及びその仕様策定団体であるLoRa Alliance™に関しても概要を紹介する。

2. LoRa®方式

LoRa®とはLong Range (長距離) の略でSEMTECH社の登録商標である。SEMTECH社は、1960年創業のアナログとミックスドシグナルの米国半導体メーカであり、通信系では、光トランシーバ向けと、非免許帯無線の半導体を提供している。

2.1 LoRa変調方式

図1はLoRa®のRF変調信号をスペクトラムアナライザ及びモジュレーション・ドメインで表示したものである。分かりやすいように、スペクトラムアナライザの表示はピーク・ホールドをかけている。周波数帯域は、あらかじめ設定した拡散帯域幅に拡散される。代表値は125kHz幅だが、7.8kHzから500kHzの間で設定できる。帯域が狭いほど受信感度

は期待できるが、データ・レートは遅くなる。また、左側のモジュレーション・ドメインでの測定例は、時間的に周波数がどう変化するか示したものである。図のように一定の傾斜をもって時間的に周波数が変わり、その変わり方でデータを送る。

2.2 拡散係数と受信感度及び対妨害波性能

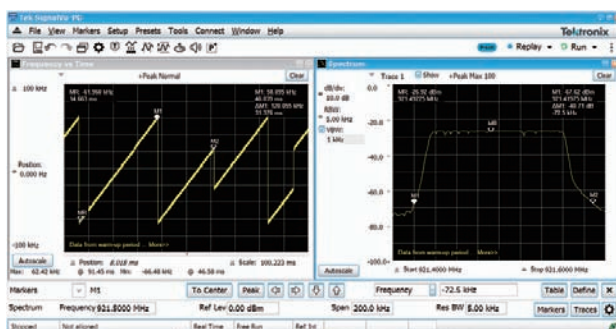
LoRa変調では、データ・レートと受信感度の要求値に合わせて拡散係数 (Spreading Factor) を設定することが可能である。最新のSX1261ではSF5からSF12まで設定することができる。既存のICとの互換性という点で、主にSF7からSF12が使われる。近距離ではSF7を使い送信時間を短くし、電池の寿命を長くする。反対に長距離の場合には、SF10-12に設定して受信感度を上げる。なお、日本の電波法では、920MHz帯を使う場合、通常最大通信時間が400msのため、ビット・レートの遅いSF11、SF12は使われず、SF7-10が多い。LoRa変調信号は周波数拡散をしているため、妨害波に対する耐性が強い。ここでの対妨害波性能とは、LoRa信号と使っているチャンネルの妨害波電力比である。例えば、SF10では使うチャンネル帯域でのノイズパワーよりもLoRa信号は約10dB低いところまで受信できる。つまり、チャンネルのノイズパワーが-100dBmの場合には-110dBmまで受信可能ということ意味する。拡散係数とデータ・レート、受信感度 (@BW=125kHz) 及び対妨害波性能 (代表値) を表にまとめる。

■表. 拡散係数とデータ・レート、受信感度 (BW=125kHz) 及び対妨害波性能

	SF7	SF8	SF9	SF10	SF11	SF12
受信感度	-123dBm	-126dBm	-129dBm	-132dBm	-135dBm	-137dBm
データ・レート	5.5kbps	3.1kbps	1.8kbps	976bps	537bps	293bps
対妨害波	-7.5dB	-10dBm	-12.5dBm	-15dBm	-17.5dB	-20dB

2.3 セムテック LoRa RFトランシーバ SX1261

LoRa端末として使用されるSEMTECH社の代表的なLoRa RFIC SX1261の内部構成は図2のとおりである。受信側はアンテナから入力された信号は整合回路を通り、低雑音アンプ (LNA) でRF信号を増幅、その後周波数変換された信号はAD変換されデモジュレーションされる。

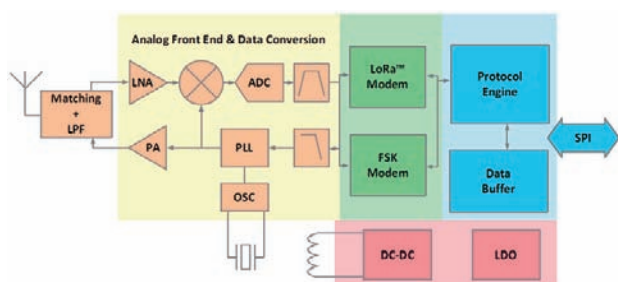


■図1. LoRa変調信号



LoRa変調波だけでなく、設定切替えによりFSK信号も復調できるため、既存の変調方式を使ったシステムとの共存、レガシ互換を持つことが容易である。復調されたデータはSPI経由でマイコンに送られる。

送信を行うときには、PLLの発振周波数を変調する。変調された信号は高周波増幅段 (PA) を介して、アンテナスイッチを経てアンテナから送信される。この時、LoRa変調信号は振幅が一定なためリニアリティの高い増幅器は要求されず、消費電力を小さくできる。

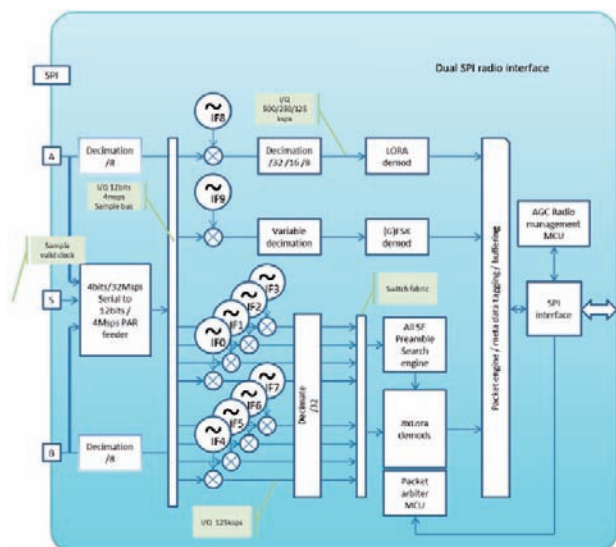


■ 図2. SEMTECHSX1261ブロックダイアグラム

SX1261では、DC-DCを搭載しており低消費電力での動作が可能である。電源電圧をDCDCにより1.8Vまで下げ、消費電力を低減させている。これにより、3.3V電源供給時の消費電流はSX1272、SX1276に比べ約半分の5mAに抑えている。

2.4 ゲートウェイ (親機) 用デジタル・ベースバンドIC SX1308

LPWAでシステムを構築するためには複数の子機からの信号を同時に受信、復調できる基地局用ICが重要である。



■ 図3. SX1308デジタル・ベースバンドICブロックダイアグラム

端末の数が多くなり収容数が大きい場合には、端末からのRF信号は周波数、拡散レートとも異なる可能性がある。端末用のIC SX1261などで構成する場合、例えば8チャンネル、SF7-SF10を使う場合には32個を並べる必要がある。

SEMTECH社のSX1308デジタル・ベースバンドICでは、8チャンネルの信号を同時に受信することができる。また、拡散レートもSF7-12まで自動的に認識し、RF信号に合わせて復調することができる。このICを組み込んだゲートウェイ (親機) は、室内用ではWi-Fiのアクセスポイント程度の大きさにまとめられ、置き場所を選ばないシステムを構築できる。

3. LoRa Alliance™

LoRa Alliance™は、急成長中のテクノロジーアライアンスである。500を超える会員企業の非営利団体で、LoRaWAN™オープンスタンダードの開発と推進を通じて、低電力ワイドエリアネットワーク (LPWAN) IoTの大規模な展開を可能にすることを約束している。会員は、持続可能な新たなビジネス機会を生み出すソリューション、製品、サービスを提供する活発な貢献者の活気に満ちたエコシステムから恩恵を受ける。

標準化と認定された認証スキームを通じて、LoRa Alliance™はLPWAネットワークに必要な相互運用性を拡張し、LoRaWAN™をグローバルなLPWAN展開のための最高のソリューションとしている。(LoRa Alliance™ホームページより引用)

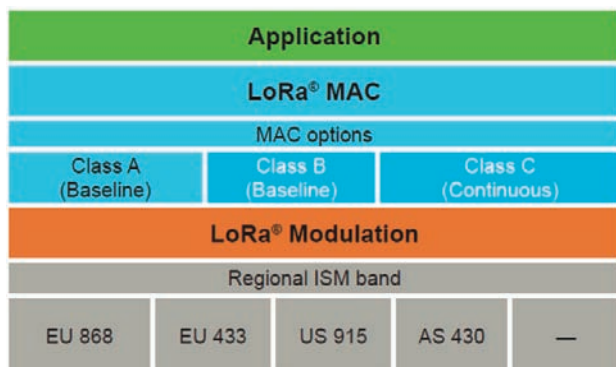
4. LoRaWAN™の概要

4.1 LoRaWAN™の特徴

LoRaWAN™の仕様は上記のLoRa Alliance™が定め、通信プロトコルとアーキテクチャを定義している。主な特徴として、

- 双方向、アクノリッジ・ベースの通信。単純なスター型トポロジ
- 低速の比較的静的な端末データ向き。動画など高速データ・レートの通信には不向き
- 低コスト (エンド・デバイスの部品コストは、従来のFSKから大きく変わらない)
- 長距離通信
- 電池駆動に適した低消費電力

LoRaWAN™の仕様書はLoRa Alliance™のホームページから誰でもダウンロードすることができる。図4にLoRaWAN™



■図4. LoRaWAN™のアーキテクチャ

のアーキテクチャを示す。水色及び灰色の部分でLoRa Alliance™で定める部分である。LoRa® ModulationやApplicationに関してはスコープ外となる。

4.2 3つの通信クラス

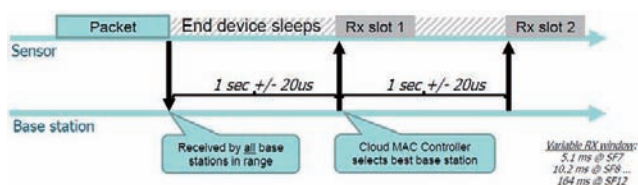
LoRaWAN™の動作モードは3種類ある。Class A、Class B、Class Cである。

● Class A:

Class Aは端末から任意のタイミングでアップリンクを行い、その1秒後及び2秒後に受信窓を開ける。受信窓に対して、ゲートウェイ（サーバ側）から必要に応じてダウンリンクを送る。端末からACK要求をした場合には、受信窓1もしくは受信窓2へ向けてACKを返す。また、サーバ側から端末に指示を出す必要がある場合には、この受信タイミングで行う。端末はこの2回の受信を行った後、休止状態に入る。休止時間はアプリケーションによる。例えば、1日1回の計測でいいアプリケーションでは、1日1度の送信となる。ACKが返ってこない場合には連続して送信するように設定することもある。

Class Aでは休止時間中にサーバ側から指令ができないため、任意の時間でのセンサ情報の計測はできない。使い方に割り切りが必要である。以下に特徴をまとめる。

- 双方向通信
- 長い休止時間で省電力。電池駆動向き



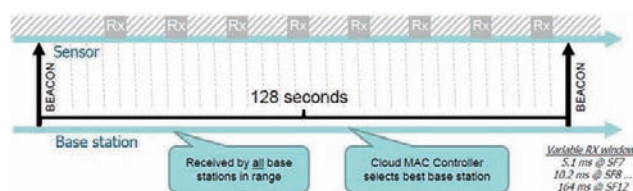
■図5. Class A

- エンド・デバイスから通信を開始
- エンド・デバイスは送信した後、一定時間後に、サーバからの受信を行う（ダウンリンク）スロット（受信モード）を設けて、ACKや命令を受信

● Class B:

Class Aはサーバ側から任意のタイミングで指令を出すことが難しかったが、この要求に対応したものがClass Bである。サーバからの任意のタイミングでの指令を受けるためには端末は休止せず受信モードにしている必要があるが、電池駆動の端末の場合それでは電池がすぐになくなってしまふ。そこで、予めサーバ側と端末側で時計合わせをしておき、端末を間欠受信、その受信タイミングに合わせてゲートウェイ（サーバ側）からダウンリンクを行う。端末とゲートウェイの時間合わせのためには、ゲートウェイから時間基準となるビーコンを送る。応答性と電池の持ちは反比例する。例えば、1分以内に応答が必要なシステムでは30秒から60秒に1回受信窓を開ける。その時間内で受信窓は数msから数十msとなり、数千分の1のDUTYが実現できる。つまりDutyを千分の一とすると連続受信では1時間あたり5mAhの電力使用量だったものを5uAhにできるということである。これにより電池寿命を大きく延ばすことができる。以下にClass Bの特徴をまとめる。

- エンド・デバイスが、定期的に受信スロットを設ける双方向通信
- 間欠受信により、消費電力を削減
- ゲートウェイから定期的に時刻同期信号（ビーコン）を送信
- サーバ側から通信を開始可能



■図6. Class B

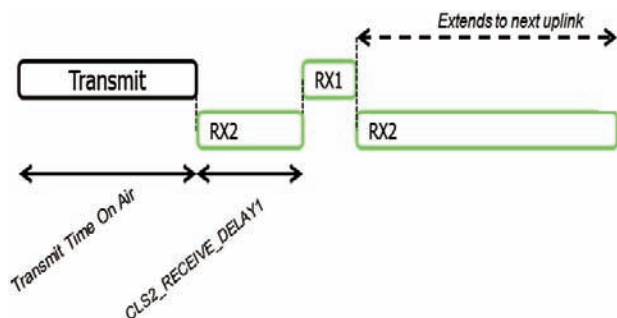
● Class C

Class A、Class Bは電池駆動の端末でいかに消費電力を抑え電池の寿命を延ばすかが重要であったが、Class Cでは常時電源を供給できる端末での動作モードである。基本的には連続受信である。Class Aとの互換性を持たせるため、端末からのアップリンク後は1秒後に送信周波数、拡散レートと同じ設定で受信を行う。それ以外はあらかじめ



め定められた周波数、拡散レートでの受信を連続的にやっている。以下にClass Cの特徴をまとめる。

- 双方向通信
- エンド・デバイスは継続して受信モード
- サーバは、いつでも通信を開始可能
- 電源が担保されている場合向き



■図7. Class C

4.3 FUOTA (Field Upgrade Over The Air)

端末にファームウェアの更新が必要な場合、現場に行って更新したり、回収交換すると莫大なコストがかかる。LoRa Alliance™では、遠隔地、サーバ側から端末のソフトウェア更新ができるよう規格を提唱している。AP層のRPD (Recommended Practice Document) はLoRa Alliance™のホームページに掲載されており、誰でもダウンロードすることができる。以下は関連ドキュメントのタイトルである。

- LoRaWAN Application Layer Clock Synchronization Specification v1.0.0 : 時刻同期
- LoRaWAN Remote Multicast Setup Specification v1.0.0 : 端末グループに対するメッセージ送信
- LoRaWAN Fragmented Data Block Transport Specification v1.0.0 : 大容量ファイルの送信

簡単に言うと、予め端末とサーバの間で時刻同期をとり、決まった時間に対象となる端末群へ一斉配信を行う。また、データは分割するが冗長性を持たせ、多少ロスした時にも再現できるようにしている。

5. 応用例

LoRaWAN™の応用例は様々であるが、特に他方式に対して強力な優位性を持つものを紹介する。

5.1 Class Bを使ったガスメータの遠隔検針

外出した後、ガスの消し忘れなどが気になることがある。この場合、気が付いてすぐにガスのメータの動きを確認し

たい。ガスメータは通常電源をとることができないため、電池駆動が原則であるが、Class Bを使うとこの要求を実現できる。都市ガスはサービスエリアの範囲が既知であり、親機の設置も計画的に可能で、コストの最適化ができる。

5.2 オフィスビルの室温、使用状況管理

オフィスビルでは各部屋の温度や、会議室の使用状況などを管理したいという要求がある。各部屋に温湿度センサや人感センサを設置すれば実現できるが、どのようにデータを集めるかが問題となる。Wi-Fiなど2.4GHz帯を使った無線では、コンクリートの壁で大きく減衰し、階をまたいで通信することが難しい。またWi-Fiは大いに普及しているので混信も大きい。LoRaWAN™はコンクリートの壁での減衰が比較的少ない920MHz帯を使用しているため、ビルの階をまたいで通信することが容易である。ゲートウェイ(親機)も小型であり、設置が楽である。温湿度、人感センサなどの端末もLoRaWAN™標準仕様のものであれば、特注品と比較して安価に入手することができる。



■図8. 室内用ゲートウェイ (台湾GEMTEK社製)

6. おわりに

本稿では、LPWAの代表的な規格であるLoRaWAN™に関して概説を行った。LoRa Alliance™のホームページでは、詳細仕様書やユースケースなどを紹介しているのでぜひ参照していただきたい。LoRaWAN™は、ほかのLPWA方式と違い、家庭内や企業内のWi-Fiのように自営システムとしての構築も可能である。規格は公開されており、機器も多く販売されている。LoRaWAN™の特徴を正しく理解し、ご活用いただければ幸いである。