

高度無線環境情報共有型無線センサネットワークの研究開発

研究開発拠点：信州大学、慶應義塾大学、工学院大学、電気通信大学

- LPWANを対象にセンシング高度化、オーバーヘッドの生じないPLIM無線環境情報共有とリソース最適化、分数拡散率変調方式を確立 → センサ端末数の増加にも安定したパケット到着率を実現する新たなセンサネットワークを実現

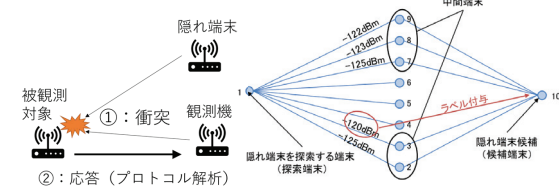
背景（課題）：LPWANのパケット衝突に伴うデータ到着率の大幅低下

■ Low Power Wide Area Networks (LPWAN)

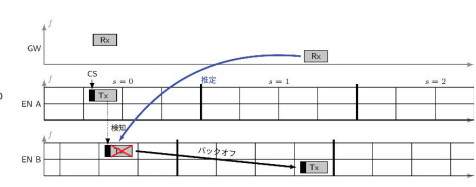
- kmを超える長距離通信が年単位での長寿命性を有するセンサネットワークとしてCPS・IoTを支える無線インフラとして有力視
- LPWANの課題
 - キャリアセンス検知の単機能なアクセス制御により、特に遠方端末においてはアクセス不検知によるパケット衝突（**隠れ端末問題**）が頻発
 - 成長著しいIoT・CPSの端末数増加とともに**現行LPWANは破綻の懸念**

高度無線環境情報共有型無線センサネットワーク

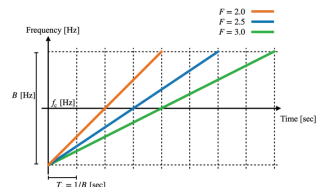
機能1：高度化センシング



機能2：無線環境情報共有リソース割当て



機能3：分数分解能拡散率制御



パケット衝突原因の隠れ端末を高感度検知

✓ アクセス解析やRSSI計測で隠れ端末検知

無線環境情報を利用した最適リソース設計

✓ 衝突率を抑制しデータ到着率向上

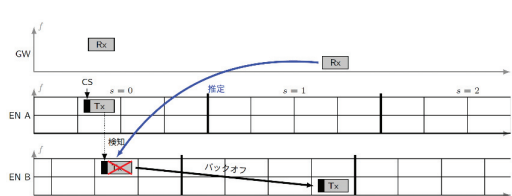
分数拡散率によるチャープ変調方式

✓ 拡散率制御の適応性高めスループット向上

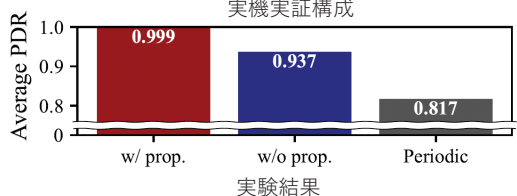
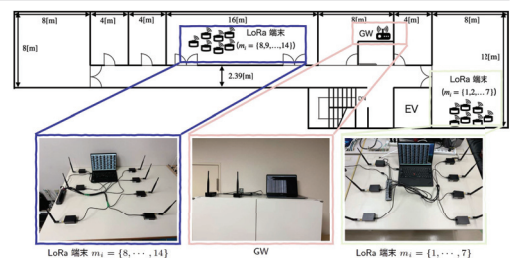
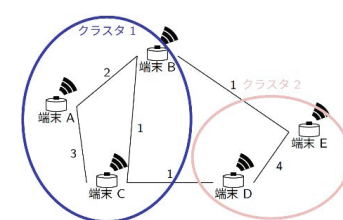
- 他端末のキャリアセンス能力を評価する高度化したセンシング（機能1）に基づき同時アクセスが生じると懸念される端末間に異なる時間リソースを割り当て（機能2）により**パケット衝突率を最小化する新たな無線アクセス技術を確立**
- LPWAN規格のLoRaのチャープ変調方式に新たに分数拡散率（機能3）を導入、**端末数に応じた柔軟な拡散率制御でスループットの向上**

成果1：インプリシットなりリソース割り当て法

1. GWにおけるパケット受信タイミングと周波数チャンネルからの無線環境情報を推定

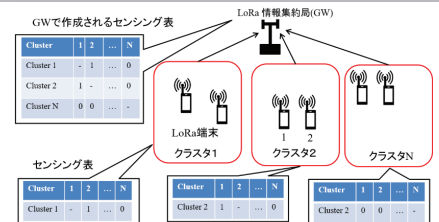
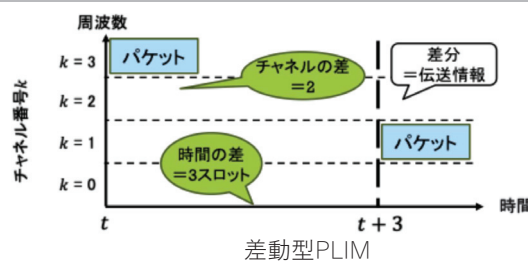


2. スペクトラルクラスタリングを用いた端末クラスタリング

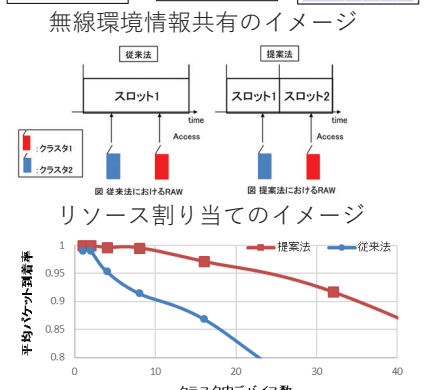


- 通信エリアが広大なLoRaWANでは、隠れ端末問題が頻繁に発生するため、低オーバーヘッドでの隠れ端末問題低減手法が求められている
- 提案手法：受信信号から推定可能な無線環境情報を用いた端末クラスタリング
 - クラスタ毎に直交周波数リソースを割り当てることで高いパケット到着率（PDR）を達成

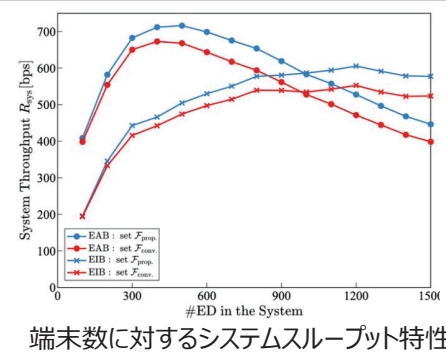
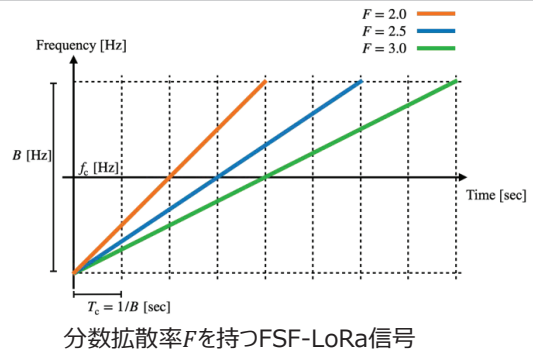
成果2：RSSIによる隠れ端末特定・PLIM情報共有・リソース最適化



- 端末相互の受信電解強度 (RSSI) で端末間距離を把握し、キャリアセンシングが不検知となる隠れ端末を特定する高度化センシング法を確立
- パケットの送信時間と周波数チャンネルを切り替えるパケットレベルインデックス変調 (PLIM) を差動方式に拡張し、クロックドリフト耐性を確保
- 高度化センシングによる隠れ端末情報をPLIMによりオーバーヘッドが生じない方法で情報を集約
 - センシング可能な端末の周波数・時間リソースをパケット衝突最小化基準で最適化（**端末の収容台数を3.5倍拡大を実現**）



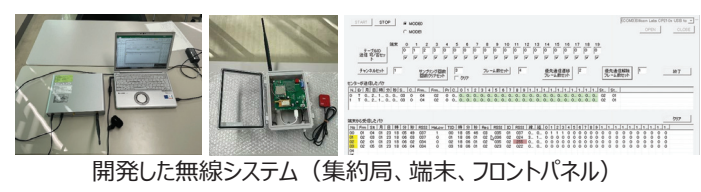
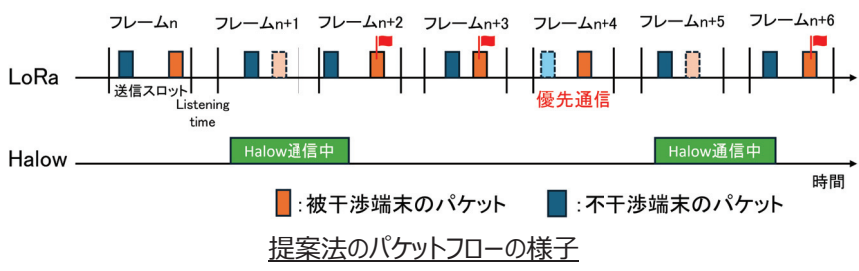
成果3: FSF—LoRa



- **課題:** LoRa変調では、拡散率が異なる信号を複数用いることで多重伝送が可能だが、拡散率SFは整数値の7~12しか取りえない
 - 非整数値の拡散率を実現することによるシステムスループットの向上
- **提案:** FSF(Fractional Spreading Factor)-LoRa
 - 信号を構成するチップ数を $(1+\rho)$ 倍することにより分數拡散率を実現 ($0 < \rho \leq 1$)
- **FSF-LoRaのシステムスループット評価**
 - 拡散率の割当方式: EAB(Equal Area Based), EIB(Equal Interval Based)
 - 分數拡散率の利用により、対雑音特性とスループット特性の高粒度なトレードオフ制御が可能となったことによりシステムスループットを向上

成果4: WiFi Halow 周波数共用の公平性を高めるLoRa実装 (出展中)

- **背景:** 920MHz帯ではLPWANのLoRaとWiFi Halow (以下Halow) が各端末のアクセス判断により周波数共用環境
- **課題:** LoRaに比べて広帯域のHalowが電波発射時にLoRaによるキャリアセンス検知に伴いアクセス機会が低下
 - 特に、Halow近傍にあるLoRaが端末が他端末に比べて送信機会が低下し、パケット送信の公平性が著しく低下
- **提案:** Halow検知型優先アクセス制御
 - LoRaより長いHalow送信時間を利用、LoRa信号送信後Halow信号を検知するListening TimeからHalowのアクセス有無を識別
 - Halowアクセス検知時にLoRa端末がフラグを集約局へ通知。集約局は他端末通信を一時停止するコマンド通知でフラグ通知端末を優先
- **実装:** Private LoRaモジュールでアクセス機会を制御するボード及び集約局を開発し、Halow検知時に優先通信の確立を実現



実験結果 パケット到着数/総数

	端末0	端末1	端末2	端末3
比較	28/40	32/40	35/40	34/40
提案	31/40	31/40	30/40	27/40

成果5: 同一拡散率複数信号の同時受信する帯域幅可変LoRa実装 (出展中)

- **LoRa変調:** 拡散率・帯域幅等のパラメータを選択し、瞬時周波数が線形に増加する信号を送信
 - 拡散率が等しい複数信号の同時受信は干渉キャンセラ利用などに限定
- **帯域幅可変LoRa:** 帯域幅・シンボル長を変更することで、同一拡散率の複数信号を同時受信可能
 - カバレッジエリアが広く、遠近問題が発生する恐れがあるため、干渉特性の評価が必要
- **実機実験:** 送信した重畳信号 (所望信号・干渉信号) に対して所望信号のみを復調
- **実験結果:** 異なるシンボル長比率の帯域幅可変LoRaを用いることでSIRが負の値でも復調可能

