

研究背景

■ LPWA (Low Power Wide Area)
 > 免許不要、通信距離：数km、長寿命性の無線センサネットワーク

■ LPWAの課題

1. 狭帯域性と送信時間制限によるスループット制限
2. システム内外の干渉による通信の不安定性
3. 通信性能が固定的で観測対象の早い状態変化に追従できない

■ フレキシブルLPWA

> PLIM・環境ダイナミクス活用・無線環境蓄積データベース機能連携

◆ パケットレベルインデックス変調(PLIM)

◆ 環境ダイナミクスを活用したデータ傾向予測

◆ 無線環境蓄積データベース

センサ局 (無線) ← LPWA → 集約局 (無線)

DB化による無線環境解析

利用率
 → 40%
 → 0%
 → 80% 時間

パケットの送信タイミングと周波数に情報を紐づけて伝送
 → LPWA準拠で伝送速度拡大

イベントの特定でセンサ情報の統計傾向を推定
 → センサ情報の必要粒度決定

通信中に経験した無線環境をDB化
 → 空き周波数資源の開拓

環境モニタリングに適切な粒度の情報集約を、高品質で少ない周波数資源利用で実現する新たな無線センサネットワーク

環境ダイナミクス活用型の情報集約制御法

□ センサをクラスタリング・送信周期を制御する機能

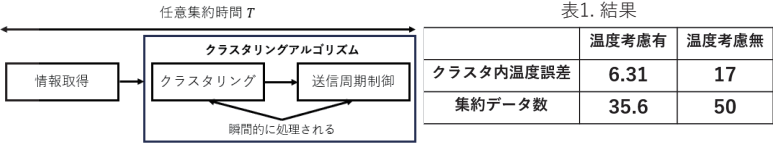
- ✓ クラスタリングによる空間相関判定で適切な送信頻度を制御
- ✓ 周波数・電力リソースで高効率化を実現

■ クラスタリング

- > 空間方向の類似性をk-means法で識別し、平均値を導出
- > クラスタ内で常時通知センサ (ヘッド) と頻度削減センサ (従属)

■ 送信周期制御

- N-1回目で形成されたクラスタをN回目に集約した情報で評価
- 各クラスタ内の温度誤差 ($|T_{max} - T_{min}|$) が許容温度誤差内に収まるか否かで各クラスタ自体を評価
- 許容温度誤差を上回るクラスタを誤りクラスタとする
- 全体のクラスタの内、誤りクラスタの割合が許容割合内に収まるか否かで次回の従属センサの送信周期を変更



□ 結果

- 集約データ数28.8%削減、クラスタ内温度誤差10.7°C抑制 (表1)

無線環境に基づく使用可能周波数チャンネル割当

■ システム内外の端末数増加に伴い、パケット衝突が増加する恐れ

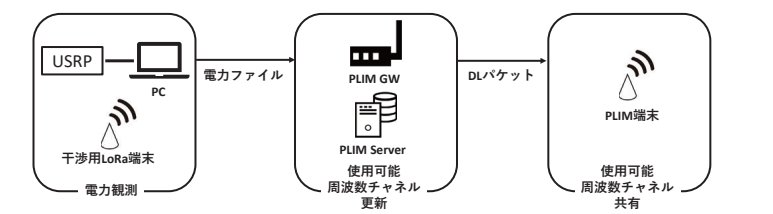
- > 端末の使用可能周波数チャンネルを動的に割当て衝突を回避

■ 電力観測アルゴリズム

- > USRPで各周波数チャンネルの電力を任意時間 T_{obs} [s] の間観測
- > 観測後に電力値を格納したファイルをGWへ送信

■ 使用可能周波数チャンネル変更

- > PLIM Serverで受信電力ファイルから使用可能周波数チャンネルを決定
 - ✓ 閾値 $P_{threshold}$ 以上となる電力値を占有データとみなす
 - ✓ 過去 T_{obs} [s] において、占有データ数の割合が閾値を上回る周波数チャンネルは使用不可能周波数チャンネルとする
- > DLパケットで使用可能周波数チャンネル集合 \mathcal{A}' をPLIM端末と共有



■ 結果

- > チャンネル42 (924.2 [MHz]) において干渉信号を発生
- > 該当チャンネルを除いた、使用可能周波数チャンネル集合の更新が可能

パケット型インデックス変調 (PLIM: Packet Level Index Modulation)

PLIMの概要

- パケット送信周期 (フレーム) $T_{frame,i}$ を複数のタイムスロットに分割
- 各端末は送りたい情報 (PLIMビット) に基づき、タイムスロットと周波数チャンネル (インデックス) を選択し送信
- ゲートウェイ (GW: GateWay) ではパケットを受信したタイムスロットと周波数チャンネルを推定し、PLIMビットを復調
 → Payload の情報に加えて、追加で $B_{plim}(R)$ [bit] の情報伝送が可能

$$B_{plim}(R) = \lfloor \log_2(R) \rfloor$$

R: タイムスロットと周波数チャンネルの組み合わせ (リソース) 数

図. PLIMの例 (周波数チャンネル数 $K=4$, タイムスロット数 $Q=4$)

リソース数 $R=16$ の場合、Payloadに加えて1001の計4[bit]伝送可能

適応インデックスマッピング (FIM: Flexible Index Mapping)

- 送信したいビット系列とPLIMインデックス (k, q) を対応付けるインデックスマッパー \mathcal{F} とデマッパー \mathcal{F}^{-1} が必要 → FIMを提案
- FIMは端末のデバイスアドレスとパケットカウンタを用いることで、端末/パケット毎に異なるインデックスマッピングを実行
- FIMは使用可能な周波数チャンネル数 K_q が変化した場合においても対応可能

クロックドリフト補償

- タイムスロット検出を行うため、PLIMではGW-端末間の同期が必須
- LoRaWAN端末はRTCの精度が高くないため、GW-端末間に時刻ズレ (クロックドリフト) が生じ、GWでのタイムスロット推定が困難
- ✓ クロックドリフトを考慮したタイムスロット推定法を用いて、GW側での同期を実現

統合検証

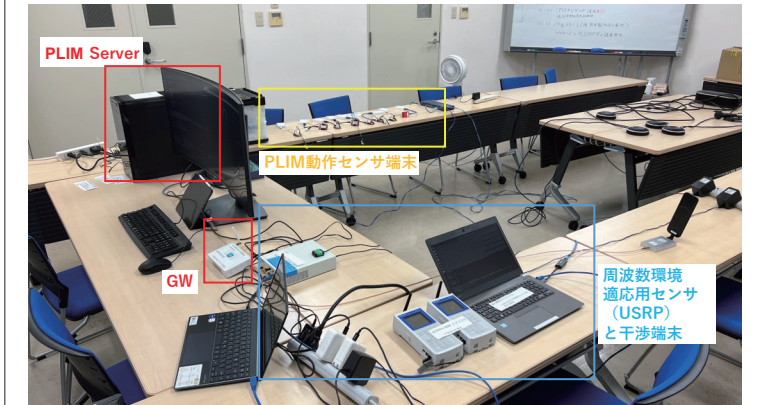
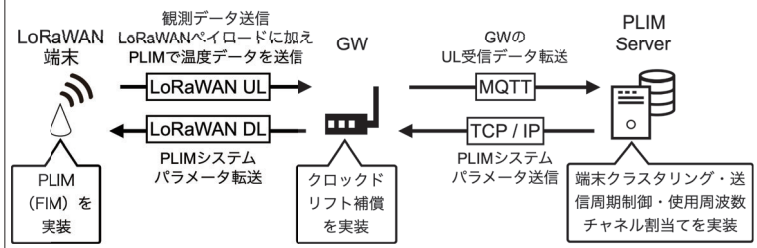


図. 統合システムの動作検証

統合検証結果

- PLIMによりLoRaWANベイロードに加えて、データを伝送できることを確認
 - ✓ 使用周波数チャンネル割当て結果に応じて、適切なインデックスを選択することを確認
- 送信周期制御によりPLIMにおけるタイムスロット数が変化した場合においても、正しくPLIMビットを伝送できることを確認
- 結果
 - > PLIMにより最大約32%伝送容量拡大、チャンネル割当て機構により収集精度の安定性向上、送信制御で平均28.8%のデータ削減を実現