

## 短期/長期の環境変化に適応可能な LoRaWAN におけるデータレート制御手法の 提案と評価

大阪大学 基礎工学部 情報科学科  
藤田 勇樹

### LoRaWAN

- 低消費電力/長距離通信可能なIoT向け広域ネットワーク規格
  - 通信速度は数 100bps-数 10kbps 程度
  - 端末→ゲートウェイの上り通信が中心
- 端末数が増加すると通信の衝突が頻発
  - MAC プロトコルに ALOHA を使用するため
- 拡散率を動的に制御し衝突の緩和が可能
  - 拡散率 (Spreading Factor; SF): 情報を時間的に広げる度合い
    - 拡散率小→高通信速度, 低衝突率, 低到達率
    - 拡散率大→低通信速度, 高衝突率, 高到達率
  - 異なる拡散率の通信は周波数の変化周期が異なるため干渉しない

2020/02/18 特別研究報告会 2

### 研究目的とアプローチ

- LoRaWAN 制御における課題
  - 低い通信速度と衝突発生により制御のための情報が不完全
  - 端末の移動等の環境変動に対する動的な制御の遂行が困難
- 研究目的
  - 環境変動に対応する LoRaWAN への端末データレート制御の実施
- アプローチ
  - 不十分な情報から適切な推論を行う, 人間の脳の情報認知機構を利用
  - 変動に対応する認知パターンの構築に生物の進化の仕組みを応用

2020/02/18 特別研究報告会 3

### Bayesian Attractor Model (BAM)<sup>[1]</sup>

- 人間の脳を模倣した意思決定モデル
  - 観測情報を基に, 事前に設定した  $S$  個の選択肢  $\phi_1 \dots \phi_S$  を選択
    - 観測情報  $x_t$  から  $\Delta t$  毎にベイズ推定で事後確率密度  $P(z_t | x_{0:t})$  を更新
      - $P$  の更新には  $z$  が  $\phi_1 \dots \phi_S$  (アトラクタ) のどれかに収束するダイナミクスを使用
    - 確信度 (選択肢の事後確率)  $P(z_t = \phi_i | x_{0:t})$  が閾値  $\lambda$  を超えた選択肢を採用

[1] S. Blitzer, J. Bruneberg, and S. J. Kiebel, "A Bayesian Attractor Model for Perceptual Decision Making," PLOS Computational Biology, vol. 11, Aug. 2015.

2020/02/18 特別研究報告会 4

### 提案手法の構成

- 制御対象エリアをいくつかのサブエリアに区切る
- ゲートウェイは端末からのデータに含まれる位置情報を収集, サブエリアごとの端末数を計算
- 一定時間毎に各サブエリアの端末数を端末分布として BAM に入力
- BAM はアトラクタの中から最も入力に近いと思われるものを出力
  - BAM の出力が変化した時, 次ページの手法でアトラクタ群を更新
    - 更新後のアトラクタには適切な拡散率割り当てを遺伝的アルゴリズムであらかじめ算出, 意思決定時に備える
  - 事前に算出した拡散率割り当てを適用
- 拡散率の割り当てでは, ACK にビジーバックする形で端末ごとに新たな拡散率を伝達, 端末は以降その拡散率で通信

2020/02/18 5

### BAM のアトラクタ更新手法

- 意思決定の度にアトラクタを更新し環境変動に備える
- 分子進化の中立説<sup>[2]</sup>に着目
  - 遺伝子の変異は自然選択だけでなく中立に広まるとする説
    - 長期的なスケールの環境変動への適応に応用
- 周辺アトラクタと中立アトラクタを構築
  - 周辺アトラクタ: 現在の意思決定状態から少し離れた状態
  - 中立アトラクタ: 現在の意思決定状態から大きく離れた状態

2020/02/18 [2] M. Kimura, "Evolutionary rate at the molecular level," Nature, vol. 217, no. 5129, pp. 624-626, Feb. 1968.

6

## 提案手法の評価: シミュレーション設定

- LoRaWAN の通信モデル
  - 5km 四方のエリアに端末 500 台とゲートウェイ 1 台を設置
    - 端末はエリア中に一様ランダムに設置, ゲートウェイは (0, 0) に設置
  - データパケットサイズは 32 Byte, ACK は 12 Byte
  - 各端末はデータを 100 秒に 1 回送信
    - ACK を受信しなかった場合ランダムな時間待機し 1 度だけ再送
- BAM の設定
  - 制御エリアを 3x3 に区切り, 各区画の端末数を認知
  - 周辺アトラクタ 5 個
    - 意思決定の度に毎回更新
  - 中立アトラクタ 4 個
    - 別の中立アトラクタに決定した際に更新
      - 環境変動が周辺アトラクタからもの中立アトラクタに戻ることを想定

2020/02/18

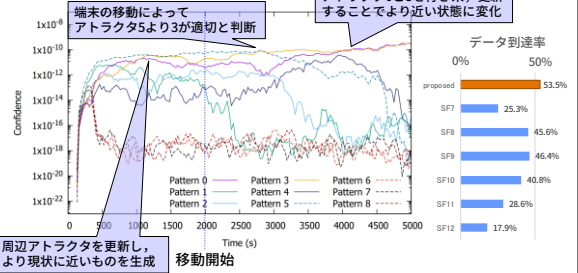
特別研究報告会

7

## 短期的な環境変動発生時の評価

- 2000 秒時点から Random waypoint model に従って端末が移動
- 端末分布の変化に伴い, 周辺アトラクタが追従

- データ到達率を最大 35.6% 改善



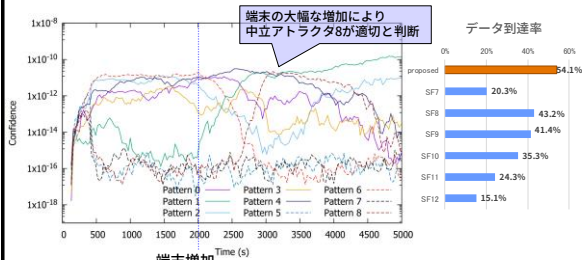
2020/02/18

特別研究報告会

8

## 長期的な環境変動発生時の評価

- 2000 秒時点で特定のサブエリア 2 箇所に端末が 150 台ずつ増加
- 変動を示すデータはパケット損失によりすぐには到達しないため, 中立アトラクタの確信度増加は遅め
- データ到達率を最大 39% 改善



2020/02/18

特別研究報告会

9

## まとめと今後の課題

- まとめ

- 短期的および長期的に変動する環境において LoRaWAN の適切な制御を行う手法を提案
- それぞれの環境変動を追従して動的な制御を行えることを確認
- 短期では最大 35.6%, 長期では最大 39% データ到達率を改善

- 今後の課題

- 中立アトラクタの効果的な設計手法
- より長時間のシミュレーションによる BAM の状態変化の詳細な調査
- 適切な周辺アトラクタと中立アトラクタ数の設計手法

2020/02/18

特別研究報告会

10

## 拡散率割り当ての導出

- ALOHA において  $n$  台の端末から単位時間あたり平均  $p$  個のパケットが発生するとき, パケット発生率  $\mu = np$
- 単位時間中に  $x$  個のパケットが発生する確率  $P(x)$  はポアソン分布で表され
 
$$P(x) = \frac{\mu^x}{x!} e^{-\mu}$$
- 1 個のパケット送信時間を  $T$  とすると時刻  $-T$  から  $T$  の間に他のパケットが発生せず, 衝突せずに送信される確率  $P_{ALOHA}$  は
 
$$P_{ALOHA} = P(0)^2 = e^{-2\mu}$$
- 送信経路中のパケットエラー率を  $PER$  とすると, 想定する LoRaWAN 通信システムのスループット  $T_{SYSTEM}$  は
 
$$T_{SYSTEM} = (1 - PER)\mu e^{-2\mu}$$
- 各サブエリアごとの拡散率を決定すると  $n$  および  $p$  が求まるため,  $T_{SYSTEM}$  を最大化する拡散率割り当てを採用
  - パケットエラー率は拡散率と伝搬距離によって決定するモデルを使用

2020/02/18

特別研究報告会

11