

# IoTにおける送信タイミングの自律分散的制御法の検討

Autonomous Decentralized Transmission Timing Control in IoT System

蕪木 碧仁<sup>1</sup> 相原 直紀<sup>1</sup> 安達 宏一<sup>1</sup> 田久 修<sup>2</sup> 太田 真衣<sup>3</sup> 藤井 威生<sup>1</sup>  
Aoto Kaburaki Naoki Aihara Koichi Adachi Osamu Takyu Mai Ohta Takeo Fujii

電気通信大学<sup>1</sup> The University of Electro-Communications 信州大学<sup>2</sup> Shinshu University  
福岡大学<sup>3</sup> Fukuoka University

## 1 まえがき

近年、モノのインターネット (IoT) や M2M 通信などの発展が進んでいる。これに伴い、多接続、低消費電力などの要求に対応した無線規格として、LoRaWAN を代表とする省電力広域ネットワーク (LPWAN) が注目を集めている。しかし、これらの規格において端末は簡易な純 ALOHA プロトコルを MAC 層のアクセスプロトコルとしている。そのためシステム異常検知などのイベント観測時に発生する、通信品質を激しく低下させるバーストトラフィックが問題となっている [1]。本稿ではこのバーストトラフィックに対する通信品質向上のための手法を提案する。パケット衝突による通信品質の低下を回避するため確率的な制御による送信台数の制御と強化学習による送信タイミングの最適化を提案し、その特性を計算機シミュレーションにより評価する。

## 2 システムモデル

本稿では、通信エリア内にランダムに配置された  $N$  個の無線端末 ( $\mathcal{N}$ ) 及び固定配置された 1 個の情報集約局 (FC) を想定する。各端末はセンシングによる定期トラフィックと、イベント観測によるランダムトラフィックを生成するものとする。イベントは特定の位置でランダムな時刻で発生し、端末はイベント発生位置との距離の指数減衰に従う確率でイベントを検知する [1]。イベント検知後、検知端末はランダムバックオフに従う遅延の後、イベントパケットを送信する。また、FC が 1 つのパケットを受信中に他のパケットが受信された場合、信号対干渉電力比 (SIR) を計算し、その値が閾値を超えていれば受信成功とする [2]。

## 3 提案手法

本提案では、パケットの衝突回避のため、確率的制御によるイベントパケット送信端末の制御と強化学習を用いたイベントパケットの送信タイミングの自律分散制御を行う。イベント発生、イベント検知端末でのイベントパケットの送信制御、強化学習での学習処理のサイクルを 1 epoch と定義する。各端末  $n$  のイベント送信確率  $p_{s,n}$  は次式で与えられる。

$$p_{s,n} = -\log \frac{t_{\text{back},n}}{W_n}, n \in \mathcal{N} \quad (1)$$

ここで  $t_{\text{back},n}$  は端末  $n$  が選択したランダムバックオフ時間、 $W_n$  は端末  $n$  が選択した CW サイズを表す。またイベントパケット送信後、FC からの ACK の有無に基づき強化学習を行い、CW の最適化をする。

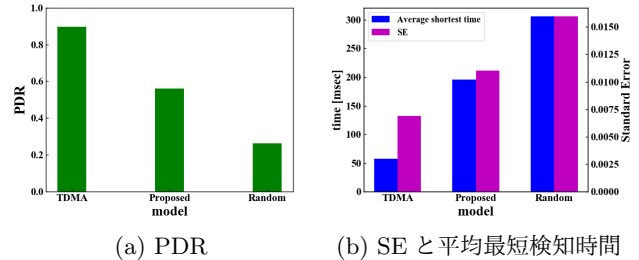


図 1: シミュレーション結果

## 3.1 学習モデル

本稿では Q-learning を用いた CW 最適化を行う。状態集合を  $\mathcal{W}$ 、行動を  $W_n \in \mathcal{W}$  の遷移 ( $\pm 1$  か 0)、報酬  $r_n$  は FC からの ACK の有無に基づき以下の式で与えられる。

$$r_n = \begin{cases} 1 - \frac{t_{\text{back},n}}{\max \mathcal{W}} & \text{if ACK is received} \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

## 4 計算機シミュレーション

計算機シミュレーションでは  $3 \times 3$  [km<sup>2</sup>] の領域内に一台の FC を中心に固定配置し、 $N = 1000$  の端末をランダムに配置する。通信路は伝搬距離に依存するパスロスとシャドウイングチャンネルに従うものとする。端末は 10 分毎に定期パケットを生起し、イベントは 1 epoch 内で特定の位置でランダムな時間に一回発生する。図 1 に各手法によるイベントパケットの配信率 (PDR) とセンシングしたデータの標準誤差 (SE) 及び、FC に最初のイベントパケットが届くまでの平均時刻を示す。比較のために、理想的に送信タイミングを割って当てた TDMA 方式による特性とランダムに CW を割り当てた特性も示す。図より、提案手法を用いることで、ランダムに割り当てた場合と比較して PDR は約 29% 向上、SE は約 30% 減少、平均最短検知時刻は約 35% 減少出来る事がわかる。

## 5 まとめ

本稿ではバーストトラフィックによるパケット衝突回避のための検討としてイベント送信確率と強化学習による CW の最適化を提案した。シミュレーション結果より提案手法はランダムな CW の割り当てと比較して PDR を約 29% 向上、SE は約 30% 減少、平均最短検知時刻は約 35% 減少出来る事が示された。

謝辞 本研究開発は総務省 SCOPE(受付番号 175104004) の委託によるものである。

参考文献

- [1] V. Gupta, S. K. Devar, N. H. Kumar, K. P. Bagadi, "Modelling of IoT traffic and its impact on LoRaWAN", in *Proc. GLOBECOM*, pp. 1-6, Dec. 2017. [2] C. Goursaud and J.-M. Gorce, "Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges," in *EAI Endorsed Trans. Internet Things Eur. Alliance Innov.*, 2015.