

複数周波数チャンネルを考慮した自律分散型パケット衝突回避法

Autonomous Decentralized Packet Collision Avoidance for Multiple Frequency Channels

蕪木 碧仁¹ 安達 宏一¹ 田久 修² 太田 真衣³ 藤井 威生¹
Aoto Kaburaki Koichi Adachi Osamu Takyu Mai Ohta Takeo Fujii

電気通信大学 先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センター¹
Advanced Wireless & Communication Research Center, The University of Electro-Communications
信州大学² 福岡大学³
Shinshu University Fukuoka University

1 まえがき

近年、モノのインターネット (IoT) や機械 (M2M) 通信などに用いる通信規格として、LoRaWAN に代表される省電力広域ネットワーク (LPWAN) が注目されている [1]. これらの規格では簡易な MAC 層アクセス方式を使用しているため、イベント検知等により複数端末が同時にパケット送信を行う場合、通信品質が激しく低下する [2]. 筆者らは以前、自律分散型スロット化パケット送信制御法により、イベント検知時における通信品質の向上が可能であることを示した [3]. 本稿では、複数周波数チャンネルが利用可能な環境において、周波数チャンネルを考慮した自律分散型パケット衝突回避法を提案し、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

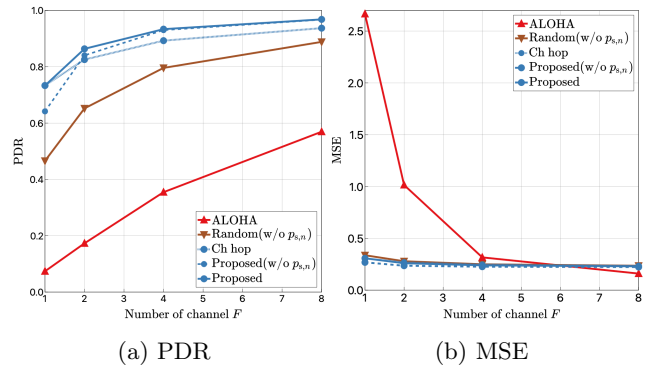
本稿では、通信エリア内に N 個の端末 (\mathcal{N}) をランダムに固定配置し、中心に 1 台の情報集約局 (FC) を設置する。端末 $n \in \mathcal{N}$ は一定周期で生起する周期パケットと、イベント検知により生起するイベントパケット (EP) を FC へと送信するものとする。イベントはランダムな時刻に特定の位置で発生し、端末はイベント発生位置との距離に応じて指数減衰する確率でイベントを検知する [2]. イベントはイベント真値データ x を生成し、端末は x にセンシング誤差が伴った観測データ x_n^{sens} を得る。FC において信号電力対雑音電力比 (SNR) および信号電力対干渉電力比 (SIR) がそれぞれ閾値を上回った信号のみ、受信成功とする。

3 提案手法

本提案では、強化学習を用いた送信遅延スロット数 t_n^{slot} の適応的な割り当てを行う。EP は $t_n^{\text{back}} = t_n^{\text{pckt}} \times t_n^{\text{slot}}$ [ms] 待機後、送信される。ここで t_n^{pckt} はパケット送信時間長を表す。さらに、FC からの ACK の有無によって動的に決定する EP 送信確率 $p_{s,n}$ により送信端末数の削減を行う。最初に各端末に固定の周波数チャンネル $f_n \in \mathcal{U}(1, F)$ を割り当てる。ここで $\mathcal{U}(a, b)$ は $[a, b]$ の整数値の一様乱数を表す。学習モデルには Q-learning を使用し、選択可能な遅延スロット集合を $\mathcal{D}_n = \{0, D_{n,1}, D_{n,2}, \dots, D_{n,K} | D_{n,k} \in \mathcal{U}(1, D_{\text{max}})\}$ とする。ここで K は送信遅延時間候補数を表す。イベント発生から強化学習での学習処理までのサイクルを 1 エポックとし、エポック数を E とする。端末 n の学習器は、状態として $t_n^{\text{slot}} \in \mathcal{D}_n$ を観測し、行動は送信遅延スロット数 t_n^{slot} の変更 (± 1 か 0) とする。端末 n の学習器は FC からの ACK の有無により報酬 $r_{n,t}$ を次式で計算する。

$$r_{n,t} = \begin{cases} 1 & \text{if ACK is received} \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

また、パケット衝突発生頻度が高い端末数を削減するため、ACK を用いた $p_{s,n}$ の制御を提案する。EP の送信数に対する ACK の受信率を元にパケット衝突発生頻度を評価し、ACK の受信率が低い場合は $p_{s,n}$ を小さくすることでパケット衝突確率を低下させることが可能



(a) PDR (b) MSE
図 1: シミュレーション結果

である。EP 送信確率 $p_{s,n}$ は次式で与えられる。

$$p_{s,n} = \frac{1 + A_n}{1 + T_n^{\text{tran}}} \quad (2)$$

ここで、 A_n は ACK を受信した EP 数、 T_n^{tran} は総送信 EP 数を表す。

4 計算機シミュレーション

本項では 1×1 [km²] の通信エリア内に、 $N = 500$ の端末を配置する。 $K = 2$ の送信遅延時間候補数、最大遅延スロット数 $D_{\text{max}} = 64$ 、エポック数 $E = 1500$ とし、イベントは 1 エポック内で一回発生する。図 1(a) に各手法の EP の平均配信率 (PDR)、図 1(b) に FC でのイベントデータ推定値と x の平均二乗誤差 (MSE) を示す。比較のために、ALOHA プロトコルを使用したもの、ランダムに送信遅延スロット数を割り当てる Random(w/o $p_{s,n}$)、ランダムに周波数チャンネルを毎回切り替え、強化学習を行う Ch hop の場合の特性も示す。図 1(a) より、提案手法は適応的な t_n^{slot} の割り当て及び $p_{s,n}$ により、パケット衝突確率が減少し、高い PDR 特性を達成できていることが分かる。例えば、 $F = 8$ において ALOHA と比較して平均 PDR を約 39% 改善できている。さらに、提案手法は周波数チャンネルの固定及び $p_{s,n}$ により、PDR の特性が改善されていることがわかる。また図 1(b) より、提案手法は送信端末数を削減することにより、PDR が向上し FC での収集データ量が増加するため、周波数チャンネル数が少ない環境において、ALOHA 手法と比較して MSE を改善可能であることがわかる。

5 まとめ

本稿では、複数周波数チャンネルを考慮した自律分散型パケット衝突回避法を提案した。これにより、複数チャンネル使用可能環境においても提案手法は ALOHA 手法と比較して通信品質を向上可能であることを示した。

謝辞 本研究開発は総務省 SCOPE(受付番号 205004001) の委託を受けて行われたものである。参考文献 [1] U. Raza, et al., "Low Power Wide Area Networks: An Overview," in *IEEE Commun. Surveys & Tut.*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, 2017. [2] V. Gupta, et al., "Modelling of IoT traffic and its impact on LoRaWAN", in *Proc. GLOBECOM*, Dec. 2017. [3] 蕪木ら, "自律分散型スロット化パケット送信タイミングの一検討," 信学ソ大, B-5-74, 2020 年 9 月。