

# 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

Autonomous Decentralized Slotted Transmission Timing Control

蕪木 碧仁<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 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) や機械 (M2M) 通信などの普及により、LoRaWAN に代表される省電力広域ネットワーク (LPWAN) が注目を集めている。これらの規格において端末は純 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、イベント観測により複数端末が同時にパケット送信を行った場合、通信品質が激しく低下する [1]。筆者らは以前、強化学習と送信確率を用いた自律分散型のパケット送信制御法により、イベント発生時における通信品質の向上が可能であることを示した [2]。本稿では、自律分散型パケット送信制御法において、遅延時間の選択法が特性に与える影響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、通信エリアの中心に 1 台の情報集約局 (FC) を設置し、また通信エリア内に  $N$  個の端末 ( $\mathcal{N}$ ) を固定配置することを想定する。端末  $n \in \mathcal{N}$  は周期的に生起する定期パケットと、イベント観測によるイベントパケットを生成するものとする。イベントはランダムな時刻に特定の位置で発生するものとする。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 [1]。イベントはイベント真値データ  $x$  を生成するものとする。端末は  $x$  に誤差が加わった観測データ  $x_n^{\text{sens}}$  を観測し、 $Z$  ビット量子化処理後送信するものとする。受信信号は、FC における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場合、正しく受信されるものとする。

## 3 自律分散型パケット送信制御法

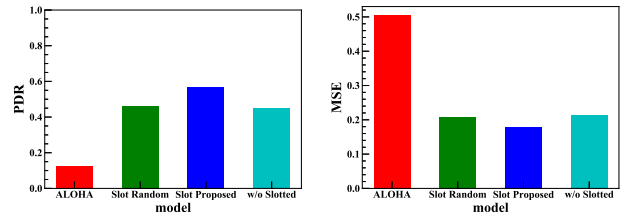
本提案では、強化学習を用いた最大送信遅延幅 (DW) [sec] の適応的な割り当てをし、さらに送信遅延時間  $t_n^{\text{back}}$  [sec] によって決定するイベントパケット送信確率  $p_{s,n}$  により送信端末数の削減を行う。イベント発生から強化学習での学習処理までのサイクルを 1 エポックと定義する。本稿では Q-learning を使用し、選択可能な DW サイズの集合を  $\mathcal{W} = \{w_1, w_2, \dots, w_K\}$  とする。エポック  $t$  における端末  $n$  の学習機の状態は  $s_{n,t} \in \mathcal{W}$  となり、行動は DW サイズの遷移 ( $\pm 1$  か 0) とする。送信遅延時間  $t_n^{\text{back}}$  は DW サイズに基づき次式で与えられる。

$$t_n^{\text{back}} = T_p U_k \quad (1)$$

$$U_k \sim \begin{cases} \mathcal{U}(0, 2^k) & k = 1 \\ \mathcal{U}(2^{k-1} + 1, 2^k) & k > 1 \end{cases} \quad (2)$$

ここで  $T_p$  はパケットの送信時間長 [sec] を表し、 $\mathcal{U}(a, b)$  は  $[a, b]$  の整数値の一様乱数を表す。端末  $n$  の学習機は FC からの ACK の有無、送信失敗回数を考慮し、報酬  $r_{n,t}$  を次式で計算する。

$$r_{n,t} = \begin{cases} 1 & \text{if ACK is received} \\ -\frac{N_{n,k}^{\text{fail}}}{N_{\text{all},n}^{\text{fail}}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$



(a) PDR (b) MSE

図 1: シミュレーション結果

ここで  $N_{n,k}^{\text{fail}}$  は DW サイズ  $w_{n,k}$  における送信失敗回数、 $N_{\text{all},n}^{\text{fail}}$  は端末  $n$  のイベントパケットの総送信失敗回数を表す。また、イベントパケットの送信を制御するイベントパケット送信確率  $p_{s,n}$  は次式で与えられる。

$$p_{s,n} = \begin{cases} 1 - \frac{t_n^{\text{back}}}{T_p} - 1 & k = 1 \\ 2 - \frac{t_n^{\text{back}}}{(2^k - 2^{k-1})} - 1 & k > 1 \end{cases} \quad (4)$$

## 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>] の通信エリア内に、 $N = 1000$  の端末を配置する。イベントは 1 epoch 内で一回発生する。状態集合を  $\mathcal{W} = \{2, 4, 8, 16, 32, 64\}$ 、パケット送信時間長  $T_p = 72$  [msec]、量子化ビット数  $Z = 8$  [bit] とする。図 1a に各手法によるイベントパケットの平均配信率 (PDR)、図 1b 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 DW サイズを割り当てたもの、 $t_n^{\text{back}}$  をパケット送信長でスロット化していない場合の特性 [2] も示す。図 1a より、提案手法は、送信遅延幅のスロット化および DW サイズで生成区間が変化する  $U_k$  によりパケット衝突確率が減少し、スロット化以前と比較して平均 PDR を約 12 %改善できていることがわかる。また図 1b より、提案手法は PDR が向上しイベントパケットの受信成功量が増えるため、スロット化以前と比較して MSE を約 16 %減少できていることがわかる。

## 5 まとめ

本稿では、自律分散型パケット送信制御法における送信遅延幅の決定法の変更およびパケット送信長でスロット化を行った。この変更により、以前の研究から平均 PDR を約 12 %向上、MSE を約 16 %減少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] V. Gupta, et al., "Modelling of IoT traffic and its impact on LoRaWA", in *Proc. GLOBECOM*, pp. 1-6, Dec. 2017. [2] 蕪木ら, "センサネットワークにおける自律分散的送信タイミング制御法," 信学技報, vol. 120, no. 74, RCS2020-23, pp. 1-6, 2020 年 6 月。