

LPWANにおける通信の周期性を活かしたリソース割り当て法

Resource Allocation Utilizing Periodical Traffic in LPWAN

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

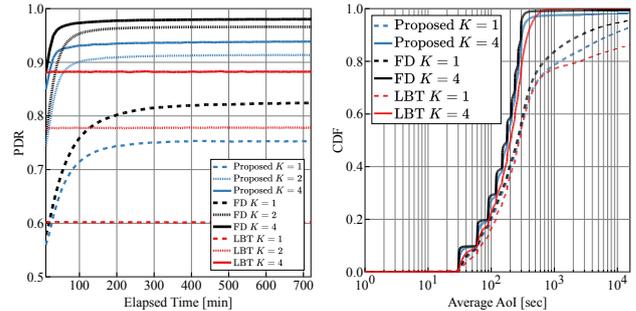
近年、低コストで数 km 規模の広い通信エリアを実現できる省電力広域ネットワーク (LPWAN) が多種多様なアプリケーションへ導入されてきている [1]. 温度や湿度といったセンサによって観測される特定のデータを収集する場合, LPWAN のトラフィックは観測データを定期的に送信する周期的トラフィックとなる [2]. 周期的トラフィックの LPWAN では, パケット生成周期が一致する端末間では連続的にパケット衝突が発生する. 筆者らは以前, 周期的トラフィックの LPWAN におけるパケット衝突を回避するため, パケット生起の周期性を活用したパケット衝突発生予測に基づく集中制御型の通信リソース割り当て法を提案し, 通信品質を向上可能であることを示した [3]. しかし文献 [3] では, GW が上り (UL) 受信と下り (DL) 送信を同時に行える環境を想定していた. 本稿では, より現実的な半二重通信環境下で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, 半径 r [m] の円形の通信エリア内に I 台の端末をランダムに固定配置し, 中心に 1 台の GW を設置する LoRaWAN を想定する. 各端末は K 個の直交周波数チャネルを使用可能とする. 端末 $i \in I$ はあらかじめ設定されたパケット生成周期 $G_{p,i} \sim U(1, G_{p,max})$ [sec] に従い UL パケットを生起するものとする. ここで, $U(1, G_{p,max})$ は $[1, G_{p,max}]$ の整数値を生起する一様乱数を表す. 端末 i は生起した UL パケットを, 拡散率 (SF) $S_i \in \mathcal{S}$ および周波数チャネル $k_i \in \mathcal{K}$ を用いて GW へ送信する. なお, GW が DL パケットを送信中に送信された UL パケットは, 受信に失敗するものとする. パケットを送信後, 端末は一定時間の受信窓を必ず開き, GW からの DL パケットを受信可能な状態となる. 本検討では, 受信窓を開いている時間に GW から送信された DL パケットは理想的に受信可能と仮定する. GW が端末 i のパケット受信に成功し DL パケットを送信する場合, GW は端末 i と同じ SF および周波数チャネルを用いて DL パケットの送信を行う. その後 GW は周波数毎のデューティサイクル (DC) を遵守するための待機後, 新たな DL パケットを送信可能な状態となる. なお, GW が UL パケット受信中または DC による待機時間に DL パケットを生起した場合, その DL パケットは送信されず破棄される.

3 提案手法 [3]

端末 i のパケット生成周期 $G_{p,i}$ および n_i 番目のパケット受信時刻 T_{n_i} [sec] を把握している場合, GW は $n_i + 1$ 番目以降のパケット送信予定時刻を推定可能である. GW は各端末のパケット送信予定時刻を比較することで, 事前にパケット衝突の発生を予測することが可能である. そこで, GW によるパケット衝突回避可能な周波数チャネル k_i 及び送信オフセット時間 T_i^d [sec] の再割り当てを行う. GW は端末 i の n_i 番目のパケットを受信後, パケット受信時刻 T_{n_i} から特定期間の全端末のパケット送信予定時刻を推定し, 各周波数チャネルにおいて端末 i



(a) PDR (b) 平均 AoI
図 1: シミュレーション結果

がパケット衝突回避可能な送信オフセット候補集合 T_i^{off} を得る. GW は T_i^{off} の送信オフセット候補それぞれに対して, 予測パケット衝突回数 $\hat{N}_{T_{i,k}^d}$ を計算し, $\hat{N}_{T_{i,k}^d}$ が最小となる送信オフセット T_i^d および周波数チャネルを DL パケットを用いて端末 i に割り当てる.

4 計算機シミュレーション

本項では半径 $r = 895$ [m] の円形の通信エリア内に $I = 500$ 台の端末を配置した. UL パケット生成最大周期 $G_{p,max}$ を 10 分間, DC を 1% とした. 図 1(a) に各手法の 10 分毎の平均 UL パケット配信率 (PDR), 図 1(b) に各端末の平均情報鮮度 (AoI) の累積分布関数 (CDF) 特性を示す. 比較のために, Listen before talk (LBT) を使用した “LBT”, 全二重通信が可能な GW を使用した “FD” [3] の特性も示す. 図 1(a) より, 提案手法は LBT と比較して, 時間経過とともに平均 PDR を最大で約 16% 向上できていることがわかる. これは, 時間経過とともに DL パケットによる制御を行なった端末数が増加し, パケット衝突を回避する通信リソースを使用する端末数が増加したためである. 一方, FD と比較して提案手法は, DL パケットの送信に制約があるため, 平均 PDR 特性が低下していることがわかる. 図 1(b) より, 提案手法は LBT と比較して AoI が小さい領域で CDF 特性が改善していることがわかる. これは, 送信オフセットによる遅延を許容することで PDR が改善したためである.

5 まとめ

本稿では, 半二重通信が可能な GW を用いた場合の周期トラフィックを考慮したリソース割り当て法の特長評価を行った. これにより, 現実的な環境においても提案手法が LBT と比較して PDR および AoI を改善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 JP205004001) の委託を受けて行われたものである. 参考文献 [1] A. Zanella, et al., “Internet of Things for Smart Cities,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014. [2] V. Gupta, et al., “Modelling of IoT traffic and its impact on LoRaWAN,” in *Proc. GLOBECOM*, Dec. 2017. [3] 蕪木ら, “LPWAN における周期トラフィックを考慮したリソース割り当て法の検討,” 信学技報, vol.121, no.302, RCS2021-195, pp.101-106, 2021 年 12 月.