

複数送信周期環境における自律分散型リソース割当法の検討

LBT-based Resource Allocation Scheme in Multi-Transmission Cycle Environment

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

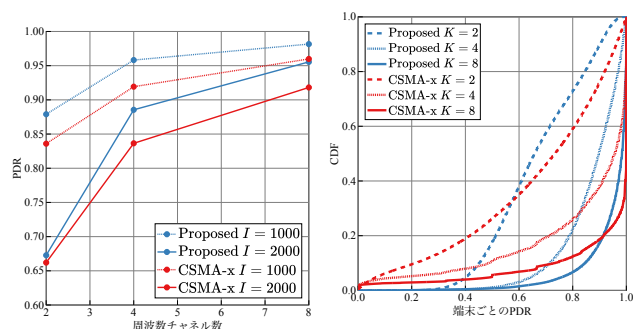
Society 5.0の実現において、実世界をデータとしてサイバー空間上に再現するデジタルツインの構築が重要である。そのため、無線センサネットワーク (WSN) 技術の中でも低コストで長距離通信が可能な省電力広域ネットワーク (LPWAN) が注目を集めている [1]。LPWANの適用先の代表例として、環境モニタリングが挙げられる。環境モニタリングでは、各センサ端末が観測した周辺環境データをゲートウェイ (GW) に送信するため、周期的な上りリンク (UL) 通信となる [2]。日本において LPWAN はアンライセンスバンドを使用するため、パケット送信前にキャリアセンス (CS) が必須となっている。しかし、通信エリアが広い場合、隠れ端末問題が発生し、パケット衝突が発生する。さらに周期的 UL 通信では、送信周期の組み合わせによっては連続的なパケット衝突が発生してしまう。そこで筆者らは以前、CS とトラフィックの周期性を活用した自律分散型無線リソース割当法を提案した [3]。文献 [3] の手法では、UL 通信に対する下りリンク (DL) 通信の時間関係性に目し、GW からの DL 信号を CS により検知することで、端末において“間接的に隠れ端末の存在を認識”し、使用する無線リソースを切り替える。しかし、[3] では全端末共通の送信周期のシステムを想定していた。そこで本稿ではより現実的な環境を想定し、複数の送信周期を有する端末が存在するシステムにおける特性評価を行う。

2 システムモデル

本稿では、1 台の GW を中心とした半径 R [m] の円形の通信エリア内に I 台の端末がランダムに固定配置された LoRaWAN を想定する。各端末は直交する K 個の周波数チャンネルを使用可能とする。端末 $i \in I$ はランダムに設定された観測周期 $G_i^p \sim U(1, G_{\max}^p)$ [sec] に従い端末は周辺環境を観測し、全端末で共通のデータ長の UL パケットを生起するものとする。ここで、 G_{\max}^p [sec] は最大観測周期、 $U(a, b)$ は $[a, b]$ の整数値を生起する一様乱数を表す。また UL パケット生起後周波数チャンネル $k_i \in \mathcal{K}$ に対して CS を実行し、パケット送信を行う。

3 文献 [3] 手法の概要

端末 i は、観測データに基づきでパケット送信を待機し、自身がパケットを送信した場合の受信窓タイミングで CS を実行する。受信窓タイミングで CS を実行し、DL 信号を検出した場合、端末 i の UL パケット送信タイミングで他端末が UL パケットを送信していた推定することができる。そこで、端末 i は他端末の UL パケット送信を推定した場合、使用周波数チャンネル k_i を切り替えることで隠れ端末問題によるパケット衝突回避が可能となる。アンライセンスバンドを使用する LPWAN はデューティーサイクル (DC) 制約を考慮する必要があるため、全端末に DL 信号を送信することはできない。そこで GW は端末 i からの $j-1$ 回目受信成功と j 回目受信成功の間におけるパケットロス数 $\hat{N}_i^{\text{loss}}(j)$ が次式を



(a) PDR (b) $I = 2000$ における端末毎 PDR の CDF 特性

図 1: シミュレーション結果

満たす j 番目受信成功パケットに DL 信号を送信する。

$$\hat{N}_i^{\text{loss}}(j) > \max_{0 \leq l < j} \hat{N}_i^{\text{loss}}(l) \quad (1)$$

4 計算機シミュレーション

本項では半径 $R = 300$ [m] の円形の通信エリア内に $I = 1000, 2000$ 台の端末を一様ランダムに配置し、シミュレーション時間を 720 分とした。 G_{\max}^p を 5 分間とした。比較手法として LPWAN に適用可能な CSMA として文献 [4] で提案されている CSMA-x を用いた。図 1(a) に 710 ~ 720 分の 10 分間における平均 UL パケット配信率 (PDR)、図 1(b) に各端末の PDR の累積分布関数 (CDF) 特性を示す。図 1(a) より、提案手法は CSMA-x と比較して、全ての周波数チャンネルにおいて PDR 特性を改善できていることがわかる。これは、複数観測周期の端末が存在する環境下においても、提案手法により隠れ端末と異なる周波数チャンネルを使用する端末が増加するためである。特に $K = 2, I = 2000$ において提案手法は最大約 5% PDR 特性を改善している。図 1(b) より、提案手法を用いることにより、CSMA-x と比較して低 PDR 端末の割合が減少していることがわかる。これは隠れ端末問題および周期的な UL 通信環境における連続的なパケット衝突が回避されるようになったためである。

5 まとめ

本稿では、複数送信周期の端末が存在するシステムにおける CS とトラフィックの周期性を活用した自律分散型リソース割当て法の評価を行った。計算機シミュレーションより、提案手法は CSMA-x と比較して PDR 特性を最大約 5% 改善可能であることを示した。

謝辞 本研究開発は、JSPS 科研費 23KJ0965 の助成を受けたものである。また本研究の一部は総務省 SCOPE(受付番号 JP205004001) の委託によるものである。
参考文献 [1] Jouhari M., et al., "A Survey on Scalable LoRaWAN for Massive IoT: Recent Advances, Potentials, and Challenges", *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2023 (Early Access). [2] V. Gupta, et al., "Modelling of IoT traffic and its impact on LoRaWAN", in *Proc. GLOBECOM*, Dec. 2017. [3] 蕪木ら, "キャリアセンスとトラフィックの周期性を活用した自律分散型リソース割当法の検討," 信学技法, 2023 年 6 月. [4] T.-H. To, et al., "Simulation of LoRa in NS-3: Improving LoRa Performance with CSMA", in *Proc. ICC*, 2018.