

動的ネットワークトポロジー環境におけるリソース割当法の評価

Evaluation of LBT-Based Resource Allocation Scheme under Time-Varying Network Topology

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

近年の AI やビッグデータ解析技術の進歩に伴い、データ収集を行う無線センサネットワーク (WSN) 技術への期待が高まっており、その中でも低コストかつ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]. 一般に LPWAN は省電力での長期運用を想定した規格であるため、環境モニタリングなど特定のデータを周期的に収集するシステムへの適用が見込まれる. そのため、LPWAN 内のトラフィックは周期的な上りリンク (UL) 通信が支配的となる [2]. このような周期的な UL トラフィックでは、一部端末間で連続的なパケット衝突が発生し、システムのパケット配信率が低下してしまう. そこで筆者らは以前、隠れ端末問題を考慮した自律分散型リソース割当て法を提案した [3]. この手法は、UL 通信と下りリンク (DL) 通信の時間的対応関係とキャリアセンス (CS) を活用することで、端末において自律的にパケット衝突確率が低いリソースを選択することを可能としている. [3] ではシステム内の端末数が変化しないという状況を仮定していた. しかしながら、現実にはバッテリー切れなどによりシステム内の端末トポロジーが変化することが想定される. そこで本稿では、端末のバッテリー切れなどにより端末台数およびトポロジーが変化するような環境における特性評価を行う.

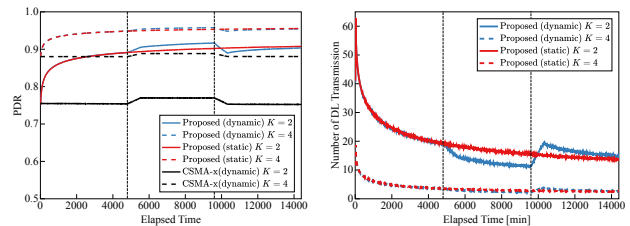
2 システムモデル

本稿では、単一 GW を中心とした半径 R [m] の真円状の通信エリア内に I 台の端末がランダムに固定配置された LoRaWAN を想定する. 端末 $i \in \mathcal{I}$ はランダムに設定された生成周期 $G_i^p \sim \mathcal{U}(1, G_{\max}^p)$ [sec] に従い UL パケットを生起する. ここで、 G_{\max}^p [sec] は最大生成周期、 $\mathcal{U}(a, b)$ は $[a, b]$ の整数値を生起する一様乱数を表す. 端末 i は UL パケット生起後、割り当てられた周波数チャネル $k_i \in \mathcal{K}$ に対して CS を実行し、パケット送信を行う. なお使用可能な周波数チャネル数を K とする.

端末のバッテリー切れなどの影響を考慮するため、 I 台からランダムに選択された J 台の端末がシステム稼働中に一時的に [3] の動作を含む全ての動作を休止するスリープ状態となるものとする. なおスリープ開始時刻と終了時刻はある期間において端末毎にランダムに決定する. なおスリープ状態から復帰した端末は G_i^p 以外のパラメータを初期化するものとする.

3 文献 [3] 手法の概要

一般に GW からの DL 信号は全端末に届くため、端末 i において隠れ端末である端末 i' に対する DL 信号は端末 i の CS により検出可能な場合がある. そこで、端末 i は UL と DL の時間的対応関係から推定したタイミングで CS を実行することで、端末 i' に対する DL 信号を検出する. DL 信号を検出した場合、端末 i は使用周波数チャネル k_i を変更することでパケット衝突回避が可能となる. DL 送信検出に基づくリソース切り替えを



(a) PDR (b) DL 送信回数

図 1: シミュレーション結果

効率的に行うため、GW は“連続的なパケット衝突が発生している”かつ“UL 受信時に他周波数チャネルで受信処理を行っていない”端末に対して DL パケットを送信する. なお DL パケットには端末へのリソース制御情報を含めない.

4 計算機シミュレーション

半径 $R = 300$ [m] の円形の通信エリア内に $I = 1500$ 台の端末を配置し、シミュレーション時間を 10 日間とした. G_{\max}^p は 5 分とした. またスリープ状態となる端末数を $J = 100$ とし、開始から 80 ~ 92 時間の間にスリープ状態へと移行し、開始から 160 ~ 172 時間の間に復帰するものとした. 比較手法として、システム内の端末数が変化しない場合 ($J = 0$) の“Proposed (static)”, LPWAN に適用可能な CSMA として文献 [4] で提案されている“CSMA-x (dynamic)”を用いた. 図 1(a) に 10 分毎の平均 UL パケット配信率 (PDR), 図 1(b) に GW の 10 分間毎の DL 送信回数を示す. 図 1(a) より、提案手法は端末数が時間に変化した場合においても、PDR を大きく低下させることなく動作していることが確認できる. これは図 1(b) に示すように、提案手法の DL 送信規範が端末数の変化に応じたトラフィックの変化を認識し、DL 送信回数を増減させるためである. 特にスリープ状態から復帰後も時間経過とともに“Proposed (static)”に特性が漸近していることがわかる.

5 まとめ

本稿では、バッテリー切れなどによりシステム内の端末数が増減する環境での隠れ端末問題を考慮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、提案手法はシステム内の端末数が変化した場合においても PDR を改善可能であることから、ネットワークトポロジーの変化に対してロバスト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 JP235004002) 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, “隠れ端末問題を考慮した自律分散型リソース割当て法,” 信学技報, 2023 年 10 月. [4] T. -H. To, et al., “Simulation of LoRa in NS-3: Improving LoRa Performance with CSMA”, in *Proc. ICC*, 2018.