

パケット型インデックス変調における適応的ビットマッピング手法の検討

Flexible Bit Mapping Scheme for Packet-Level Index Modulation

鈴木 康介
Kosuke Suzuki

安達 宏一
Koichi Adachi

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 (AWCC)
Advanced Wireless and Communication Research Center (AWCC), The University of Electro-Communications

1 まえがき

近年, IoT (Internet-of-Things) の発展に伴い, 省電力広域無線ネットワーク (LPWAN: Low Power Wide Area Network) が注目されている [1]. 筆者らは以前, LPWAN の一種である LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) において, 周期的に生成されるデータに着目した, パケット型インデックス変調 (PLIM: Packet-Level Index Modulation) を提案した [2]. LoRaWAN は, アンライセンスバンドを使用しているため, 特定の周波数チャンネルにおいて他システムからの干渉が大きくなる可能性がある. その場合, 干渉によるパケット損失を回避するため, その周波数チャンネルが与えられた時に, 利用可能な周波数チャンネル・時間スロット (リソース) を最大限に利用することでパケット衝突を回避するための, 情報ビット系列からリソースへのマッピング手法を提案する.

2 提案手法

PLIM では, 送信ビットに基づき送信する周波数チャンネル・時間スロットの組み合わせを選択する. 本稿ではパケットヘッダ情報 (a, c) を用いて, 論理周波数・時間リソース (k', q') を物理周波数・時間リソース (k, q) に変換する手法を提案する. ここで, $a \in \mathcal{A} = \{1, 2, \dots, A\}$ はデバイスアドレス, $c \in \mathcal{C} = \{1, 2, \dots, C\}$ はパケットカウンタ, $k \in \mathcal{K} = \{1, 2, \dots, K\}$ は物理周波数チャンネル, $q \in \mathcal{Q} = \{1, 2, \dots, Q\}$ は物理時間スロットである. また, 使用禁止周波数チャンネル数を K_p ($0 \leq K_p < K$) と定義すると, 使用可能リソース数 R は, $R = (K - K_p)Q$ となる. 従来の PLIM では, 周波数チャンネルと時間スロットにビットを直接割り当てるため, $\log_2 K, \log_2 Q \in \mathbb{N}^+$ を超える周波数・時間リソースを有効活用できない. 一方で, 本提案手法では, K, Q の値に関わらず全てのリソースを有効活用できる. 本稿で提案する EN (End Node) におけるマッピング手法を述べる. まず, 図 1 に示すように, 送信ビット系列よりインデックスが付与された論理リソース (k', q') を求める. 次に, ヘッダから得られる (a, c) を用い, 次式で表される送信符号 X を求める.

$$X = \text{mod}((k' - 1)Q + q' + (a - 1)C + c, R) \quad (1)$$

最後に, X を次式に代入して物理リソース (k, q) を求め, この物理リソースを用いてパケットを送信する.

$$(k, q) = (\lfloor X/Q \rfloor, \text{mod}(X, Q)) \quad (2)$$

ここで, $\lfloor x \rfloor$ は床関数である. GW (Gateway) におけるデマッピング手法について述べる. まず, 周波数・時間リソース (k, q) で受信したパケットを復調することで, (a, c) を検出し, 次式を満たす送信符号 X' を全探索により求める.

$$\begin{aligned} \text{Find } & X' \\ \text{Where } & \text{mod}(X' + (a - 1)C + c - (k - 1)Q - q, R) = 0 \\ & 0 \leq X' < 2^{\lfloor \log_2 R \rfloor} \end{aligned} \quad (3)$$

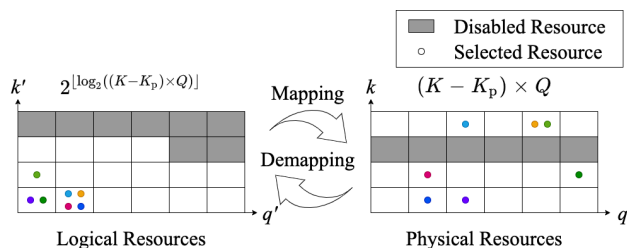


図 1. 提案手法の動作例

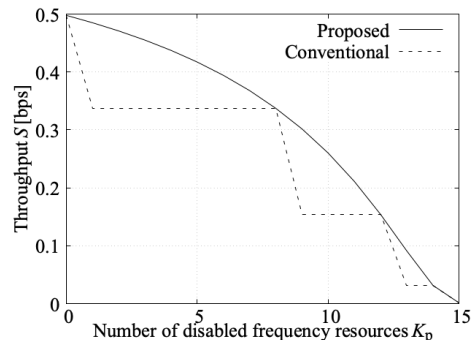


図 2. 使用禁止周波数チャンネル数 K_p に対するスループット S

次に, X' を次式に代入して (k', q') を求める.

$$(k', q') = (\lfloor X'/Q \rfloor, \text{mod}(X', Q)) \quad (4)$$

3 数値計算

一般性を失うことなく, 全 EN が同一の送信周期でランダムに生じたビット系列を送信すると仮定する. この時, 提案手法の理論スループット S [bps] は次式で表せる.

$$S = \left(1 - \frac{1}{(K - K_p)Q}\right)^{N-1} \cdot (\lfloor \log_2((K - K_p)Q) \rfloor + D) \cdot \frac{1}{T} \quad (5)$$

ここで N は EN 数, D はパケットサイズ [bit], T は送信周期 [sec] である. 図 2 に $N = 100, K = 16, Q = 16, D = 80, T = 120$ のときの, 使用禁止周波数チャンネル数 K_p に対するスループット S を示す. 提案手法は従来手法で利用できなかった周波数・時間リソースを有効に活用できるため, スループットを向上させていることが分かる ($K_p = 1$ の時, 約 1.44 倍).

4 まとめ

本稿では, PLIM におけるビットマッピング手法を提案し, 従来手法と比較してスループットが改善することを示した. 今後の課題として, 計算量やメモリ消費量の評価が挙げられる.

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] U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview," *IEEE Commun. Surv. Tut.*, vol. 19, no. 2, pp. 855-873, 2017. [2] K. Adachi et al., "Packet-Level Index Modulation for LoRaWAN," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 12601-12610, 2021.