

パケット型インデックス変調におけるクロックドリフト補償法

Clock Drift Compensation for Packet-Level Index Modulation

鶴見康平¹ 蕪木碧仁¹ 安達宏一¹ 田久修² 太田真衣³ 藤井威生¹
 Kohei Tsurumi 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

著者らは LoRaWAN(Long Range Wide Area Network)において、パケット型インデックス変調 (PLIM: Packet-Level Index Modulation) を提案した [1]. これは LoRaWAN において各端末が送信するパケットの時間間隔が一般的に大きいこと着目した伝送方法である. 各端末において、送信データ系列に基づいてパケットの送信周波数チャネルおよび送信スロットの組み合わせ (インデックス) を決定し、送信する. ゲートウェイ (GW: GateWay) ではどの周波数チャネルと時間スロットを用いてパケットが送信されたかを推定することでインデックスの情報を得る. しかしながら一般的に、GW と端末の持つクロックの進み具合には、ずれが生じる [2]. このクロックの進み具合の違い (クロックドリフト) によって GW において正しく時間インデックスを推定出来ない可能性がある. 本稿では、クロックドリフトを考慮した時間インデックス推定法を提案する.

2 システムモデル

PLIM では、時間インデックスを検出のため GW と端末との間で同期を行う必要がある. しかしながらこの同期はクロックドリフトによってずれてしまう. そこでクロックドリフトの補償を行うことで i 回目の時間インデックスの推定値 \hat{q}_i は次のように求めることができる.

$$\hat{q}_i = \left\lfloor (t_i - i \times T_{\text{frame}} - \Delta \hat{T}_{d,i-1} - T_0 + T_{\text{offset}}) / T_{\text{slot}} \right\rfloor \quad (1)$$

ここで、 t_i [sec] はパケット i の受信開始時刻、 T_{frame} [sec] はパケットの送信間隔、 $\hat{T}_{d,i-1}$ [sec] は $i-1$ 回目までの送信で蓄積されたクロックドリフト、 T_0 [sec] はパケット 0 の受信時刻、 T_{slot} [sec] はタイムスロット長、 T_{offset} [sec] はオフセットを表す. もし、 $\hat{q}_i < 0$ の場合は $\hat{q}_i = 0$ に、 $\hat{q}_i > q_{\text{max}} - 1$ (q_{max} は時間インデックス数) の場合は $\hat{q}_i = q_{\text{max}} - 1$ に補償を行う.

3 提案手法

クロックドリフトの推定値 $\hat{T}_{d,i}$ [sec] は GW で T_{frame} と T_{slot} 、 t_i 、 \hat{q}_i を既知として次のように表せる.

$$\Delta \hat{T}_{d,i} = \Delta \hat{T}_{d,i-1} + (\hat{T}_i - \hat{T}_{i-1}) - T_{\text{frame}} \quad (2)$$

ここで \hat{T}_i [sec] はパケット i が送信されるフレーム開始時刻の推定値で $\hat{T}_i = t_i - \hat{q}_i \times T_{\text{slot}}$ である. 式 (2) を用いることでクロックドリフトの影響を把握して正しいインデックスを推定することが可能となる.

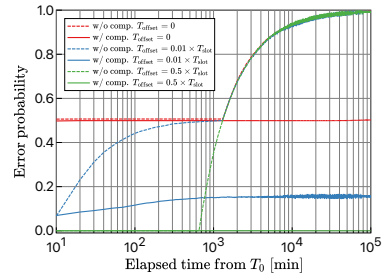


図 1 クロックドリフトの影響の低減効果.

4 計算機シミュレーション

i 回目の送信時に加わるクロックドリフト $\Delta T_{d,i}$ [sec] は次式で与えられる [2].

$$\Delta T_{d,i} = (t_i - T_0) \times a \quad (3)$$

ここで、 a は $[-T_{d,\text{max}}, T_{d,\text{max}}]$ で一様分布しているとすると ($T_{d,\text{max}}$ は単位時間あたりの最大のクロックドリフト). 今回は初期検討として端末台数を 1 台として計算機シミュレーションを実施した. 送信回数を 10,000 回行うことを 1 回のシミュレーションと定義しこれを 10,000 回繰り返した. 拡散率は 10, 送信間隔は $T_{\text{frame}} = 10$ [min], $T_{d,\text{max}} = 10^{-5}$, T_{offset} はパラメータとした. 他のシミュレーション値は [1] と同じである. 補償を行なった場合と補償を行わなかった場合の結果を図??に示す. 補償を行わない場合はクロックドリフトが蓄積され続けるので経過時間と共に誤り確率が上昇するが、補償を行なった場合は誤り確率の上昇を抑えられているとわかる. 経過時間が短いうちに発生する誤り確率の山はフレーム開始時刻をタイムスロットの始めに設定しているために負のクロックドリフトが発生した場合に起こるものであり時間が経過してから発生する誤り確率の山はクロックドリフトがスロット長よりも大きくなることで起こるものである. 提案法では、 T_{offset} を十分に取ることで誤りの発生を抑圧できていることが分かる.

5 まとめ

本稿では、PLIM において端末のクロックドリフトにより生じる時刻同期ズレを補償しつつ時間インデックスを検出する手法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を示した.

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] K. Adachi et al., "Packet-Level Index Modulation for LoRaWAN," *IEEE Access*, 2021. [2] J. Haxhibeqiri et al., "Low Overhead Scheduling of LoRa Transmissions for Improved Scalability," *IEEE Internet Things J.*, vol.6, no.2, pp.3097-3109, Apr. 2019.