

令和3年7月9日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

IoTの課題解決に新通信方式 —省電力で伝送データ量を増大—

電通大の先端ワイヤレス・コミュニケーション研究センターは、IoT（モノのインターネット）の課題を解決するパケット型インデックス変調方式による新通信技術を開発した。端末のバッテリー消費量を増大させることなく伝送可能なデータ量を増大させ、安価な端末を用いた場合でもインデックスの誤検出を抑圧できるもので、特許出願を行った。

ポイント

- ・近年注目されている省電力広域ネットワーク（LPWAN: Low Power Wide Area Network）の一種であるLoRaWAN(Long Range Wide Area Network)の標準化規格を変更することなく、伝送可能なデータ量を増大させる伝送方式です。
- ・Society 5.0において重要な役割を担うLPWANにおいて、複雑な処理を行えない安価な端末（EN: End Node）を用いた場合でもより多くのデータを伝送できるようになります。
- ・送信したい情報ビット系列に基づき、パケットを送信する時間スロットおよび周波数チャネルを設定するパケット型インデックス変調¹(PLIM: Packet-Level Index Modulation)という方式を考案することで、伝送可能な伝送データ量を最大30%程度増大できることを確認しました。
- ・実用化に際して問題となるENとゲートウェイ（GW: GateWay）間で生じるクロックの同期ずれをGW側で補償することにより、時間スロットインデックスの誤検出を抑圧する方法を提案しました。

（概要）

IoTシステムでは、観測対象となる環境の変化などの現象を伝えるために長距離伝送が求められます。またあらゆる場所にIoT端末を配置する必要があることからバッテリー駆動が求められるため省電力で動作することが不可欠です。

¹ インデックス変調：信号自体ではなく、どの伝送媒体（アンテナやサブキャリアなど）を利用するかで情報を表現する変調方式

この条件を満たす通信規格として、省電力広域ネットワーク (LPWAN: Low Power Wide Area Network) が知られています。なかでもLPWAN規格の一種であるLoRaWAN (Long Range Wide Area Network) は、導入コストの低さなどから広く使われています。

ところでLoRaWANでは、各端末 (EN: End Node) が自律分散的にパケットをゲートウェイ (GW: GateWay) に送信するため、複数のENが通信チャネルの空きを事前に感知するキャリアセンスに失敗し、同時にパケットを送信した場合には、GWにおいてパケット衝突が発生し、パケット配信率 (PDR: Packet Delivery Rate) の低下を導くという問題がありました。また、各ENにはパケットを送信できる時間比率 (DC: Duty Cycle) が決められているので、伝送データ量を増大させたくとも単純に送信パケットを増やすことは難しい、などの課題がありました。

その一方、ENの機能やバッテリー容量は限られているため、伝送容量を増やすために複雑な方法は採用できません。そのため、各ENにおいてバッテリーを可能な限り消費せず、伝送データ量を増大させる送信方法を検討する必要性がありました。

今回、LoRaWAN の各ENが送信するパケットの時間間隔が一般的に大きいことや、複数の周波数チャネルを用いた通信が可能であるという特徴に着目して、パケット型インデックス変調 (PLIM: Packet-Level Index Modulation) という方式を提案しました。これは、これまでパケットとして伝送を行っていたデータ量に加えて、送信データ系列に基づき周波数チャネルと時間スロットの組み合わせ (インデックス) を選択しパケットを送信することで、より多くのデータを伝送しようとする手法です。また時間領域で擬似ランダムな情報ビット系列に基づき時間スロットを決定するため、周期的な送信に起因するパケット衝突を避けることが可能となります。

本方式により、高度な機能を持たない安価なENを使用しつつ、既存の標準化技術を変更することなく伝送データ量を増大することを可能としました。

同技術を開発したのは、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 安達宏一准教授、藤井威生教授、霧見康平氏 (大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻博士前期課程1年)、角田真一朗氏 (大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻博士前期課程1年)、蕪木碧仁氏 (大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻博士前期課程2年) らで、特許出願を行いました。

(開発の内容)

1つのGWと複数のENで構成されるLoRaWANシステムを想定します。各ENはあらかじめ決められた複数周波数チャネルの中からランダムに1つのチャネルを選択し、ある一定の時間周期内に1回パケットを送信します。

LoRaWANでは、物理層の変調技術として、時間とともに周波数が変化するチャープ信号によって信号を拡散して送信するチャープスペクトラム拡散 (CSS: Chirp Spread Spectrum) が採用されています。CSSでは、1シンボルあたりの伝送ビット数を表す拡散率 (SF:

Spreading Factor) を高くすることによって雑音や干渉に対する耐性を強めることができるため、通信可能距離が長くなります。一方で、データレートが低下してしまうというトレードオフが存在します。ところで、920 MHz 帯のアンライセンスバンドで動作する LoRaWAN では他システムとの周波数共用のために、一定時間内に送信可能な送信時間比率 (DC) が規定されており、通信頻度が EN 毎に制限されています。そのため、パケットサイズを大きくしたり、パケットの送信間隔を短くすることでデータレートを向上させることは出来ません。この影響は、特に通信環境が劣悪な環境で、高い拡散率を用いなければいけない場合に顕著となります。

今回提案するパケット型インデックス変調 (PLIM: Packet-Level Index Modulation) は、各 EN から送信されるパケットが周期的に生起する点、時間的に連続するパケット間の時間が比較的長い点に着目しています。PLIM では、パケットの送信周期を複数の時間スロットに分割します。その後、従来のパケットにより伝送される情報に加えて、送信したい情報ビット系列に基づいて送信する時間スロットと周波数チャネルの組み合わせ (インデックス) を選択し、パケットを送信することによって、伝送データ量を増加させることを可能としました。

図 1 に、PLIM でのパケット送信の概念を示します。この図では例として EN の利用可能な周波数チャネルと時間スロットがそれぞれ 4 つの場合を示しています。それぞれの周波数チャネルと時間スロットには情報ビットが 2 ビットずつ割り当てられています。1 つ目のパケットでは、“1001” という追加情報ビットを送りたいので、“10” を表す周波数チャネルと “01” を表す時間スロットにおいてパケットを送信します。これにより従来のパケットによるデータ伝送に加えて、新たにインデックスの組み合わせとして 4 ビットのデータを伝送することが出来ます。また周波数チャネルとタイムスロットの分割方法によっては、それ以上のビット数を増加させることが可能です。

伝送可能な伝送データ量は CSS の拡散率に依存しますが、例えば拡散率 10 の場合、PLIM によって、従来方式と比較して伝送可能な伝送データ量を約 32%程度増加できることを計算機シミュレーションで確認しています。

また、既存の LoRaWAN では周期的にパケットを生成、送信するので、一度衝突が発生すると後続の送信でパケット衝突が発生する確率が高くなりました。PLIM では送信ビット系列に基づいてパケットを送信する時間スロットを選択するため、疑似ランダム的にパケットを送信できるので、周期的な送信に起因するパケット衝突を避けることが可能となります。

ところで、PLIM では、GW と EN との間でクロックの時間ずれ (クロックドリフト) が生じると、時間スロットの検出誤差をもたらします。そのため、時間スロットの正確な検出には、クロックの時間ずれを補正する必要があります。

従来の場合でも、GW と EN、あるいは EN 間でクロックドリフトが生じる場合、何らかの方法を用いて同期を取り直す必要がありましたが、EN にはそれに対応する同期機能が必要でした。今回提案する PLIM では、EN 間での同期は必要なく、各 EN と GW の間の同期のみが必

要となります。そのため、今回各 EN との間で生じるクロックドリフトを補償する機能を GW 側に持たせる方法を考案しました。これにより、GW と EN 間の同期合わせの機能を EN 側では不要としています。そのため、安価な EN を用いながら、GW と EN との間でのクロックドリフトに起因する時間スロットインデックスの検出誤りを抑制することを可能にしました。

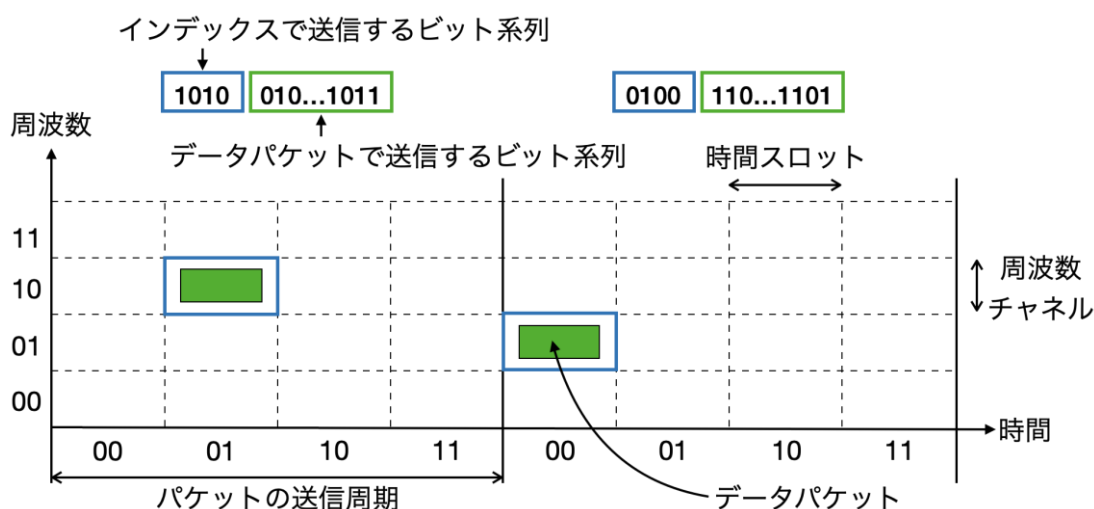


図 1 PLIM でのパケット送信の概念図

(研究開発の結果)

計算機シミュレーションを行い、従来のLoRaWANと比較して1パケットあたりで伝送可能な情報データ量を向上できること、ならびに安価なENを用いた場合に生じるクロックドリフトの影響を適切に補償しつつ伝送を行えることを確認しました。

従来のLoRaWANに対する、PLIMの伝送可能データ量の向上割合を計算機シミュレーションにより求めたものを図2に示します。EN数は1000台とし、各ENはそれぞれ送信周期30sec毎にパケットを生起するものとしています。縦軸に従来のLoRaWANと比較した時の改善率を、横軸には拡散率を示しています。パケットによって伝送可能なデータ量は拡散率が高いほど減少するため、インデックスによって送ることのできる情報の割合は、拡散率が高いほど大きくなります。特に拡散率が10の場合、PLIMによって伝送可能なデータ量が従来方式と比較して約32%増加していることが分かります。

単位時間当たりのクロックドリフトの大きさによる影響を図3に示します。ここではEN数を1台とし、単位時間当たりのクロックドリフトをパラメータとしています。単位時間当たりのクロックドリフトが大きいと、時間スロットインデックスの誤検出率が増大します。また補償を行わなかった場合、時間経過とともにクロックドリフトが蓄積され、誤り確率が増大します。一方で今回の補償法を適用した場合、時間スロットの誤検出確率を抑えることが可能となることを示しています。

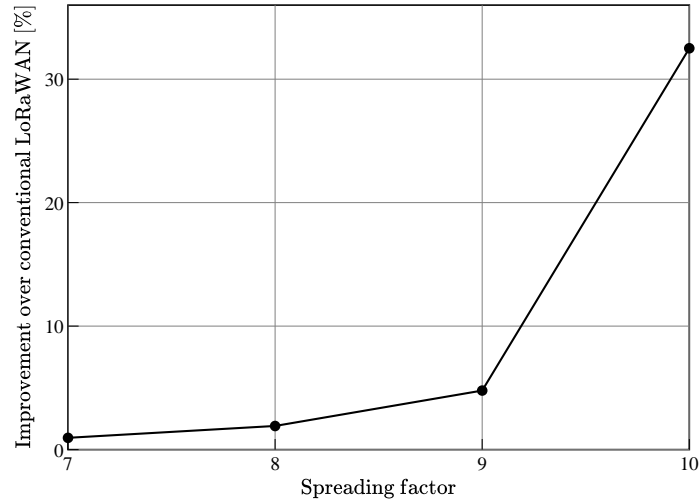


図2 従来のLoRaWANと比較した際の1パケットで伝送可能なデータ量の向上割合

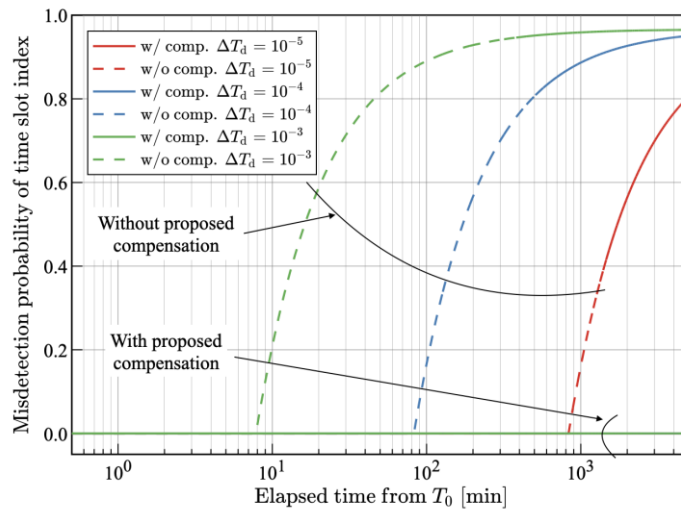


図3 提案クロックドリフト推定&補償法による効果

(研究開発の効果)

長距離伝送及びバッテリー駆動のための省電力な伝送が要求されるIoTシステムの実現に寄与することが期待されます。

具体的な適用先としては、端末が周期的にパケットを送信するセンサネットワークや、特定のイベントを検知した際にパケットを送信するセンサネットワークが考えられます。

例えば川の水位等の環境モニタリング、高齢者の徘徊や転倒等のモーションモニタリン

グ、農作物管理、工場での動作異常検知、スマートメーターなど様々な用途を想定しています。

(特許)

出願番号 (出願日) : 特願 2020-197256 (2020 年 11 月 27 日)

出願番号 (出願日) : 特願 2021-84513 (2021 年 5 月 19 日)

(外部資金情報)

本研究開発は総務省 SCOPE (受付番号 JP205004001) の委託によるものです。

(お問合わせ先)

研究内容に関すること

国立大学法人 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

准教授 安達宏一

電話 : 042-443-5819

E-mail : adachi@awcc.uec.ac.jp

報道に関すること

国立大学法人 電気通信大学 総務企画課広報係

電話 : 042-443-5019

E-mail : kouhou-k@office.uec.ac.jp