

# 消失訂正符号を用いた高効率ファームウェア配信方式の検討

角 武憲<sup>†‡</sup> 永井 幸政<sup>†‡</sup> 峰野 博史<sup>‡</sup>

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所<sup>†</sup>  
静岡大学 創造科学技術大学院<sup>‡</sup>

## 1. 背景

920 MHz 帯無線は、位置、温度、水位計、メーター等の比較的少量のデータを通信するサービスで使用されている。現行の920 MHz帯無線は、数十 kbps といった比較的低レートな通信方式が用いられているが、大容量インフラ監視データの取得や、映像伝送、IoT 機器のファームウェアアップデート等の新たなユースケースの実現に向け、数 Mbps 程度までの通信速度の高速化が計画されている[1]。920 MHz 帯無線は数百 m~数 km という広範囲の通信が可能であるため、ファームウェア配信においては、広範囲に点在する多数の端末への配信を実現する必要があり、配信の効率化が課題となる。本稿では、消失訂正符号を用いてファームウェア配信効率を向上させる方式について報告する。

## 2. 消失訂正符号を用いた高効率ファームウェア配信方式

### 2.1. 概要

ファームウェアアップデートでは、同一のファームウェアデータを多数の IoT 機器に配信する必要がある。ユニキャストを用いて個別に IoT 機器へファームウェアデータを配信すると、1 台あたりの送信時間の台数倍の時間がかかるため非効率である。ここで、ブロードキャストを用いて、多数の IoT 機器へ一度に配信する方法が考えられる。しかしながら、無線通信では受信電力の低下や干渉により、パケット誤りが発生することがあるため、一度の送信で全端末に対して、すべてのファームウェアデータを配信することは難しい。そのため、各 IoT 機器のパケット誤り発生箇所を再送することになるが、図 1 に示すように、パケット誤り箇所は各 IoT 機器で異なるため、再送するパケット数が増大し、ブロードキャストを用いた場合も配信効率に課題がある。

本稿では、ファームウェアデータに消失訂正符号化を行い、再送時に消失訂正符号化により生成した冗長パケットを配信することにより、

送信パケット数を削減する方式を提案する。

### 2.2. 消失訂正符号

図 2 示すようにファームウェアデータ（図中の情報パケット）に対して、消失訂正符号化を行うことにより、冗長パケットが生成される（図中①）。この時、各情報パケット、冗長パケットのデータ長は同じであり、情報パケット数  $K$  と冗長パケット数  $M$  はそれぞれ異なる数で良い。受信端末で一部の情報パケットが欠落しても、受信した情報パケット数と冗長パケット数の合計が  $K$  以上であれば、復号処理を行うことで、情報パケット、つまりファームウェアデータを復元することが可能である。

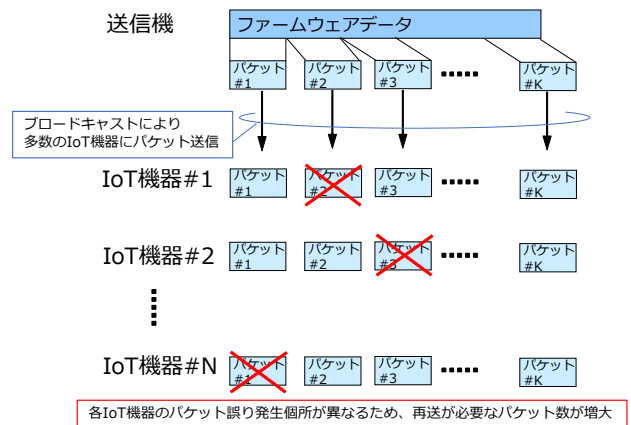


図 1 ブロードキャストによるファームウェア配信

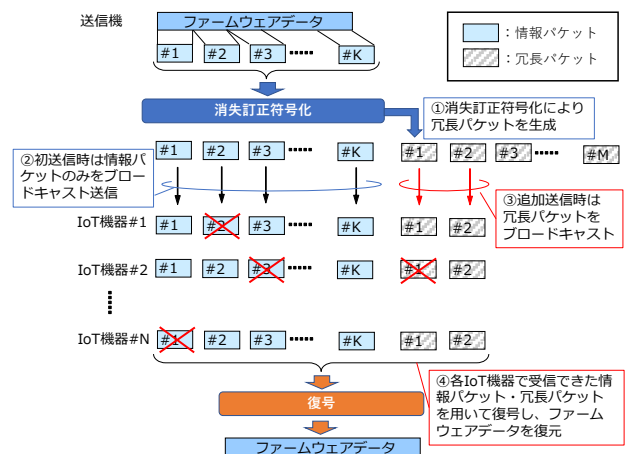


図 2 消失訂正符号を用いたファームウェア配信

Research on Efficient Firmware Distribution with Erasure Coding.

<sup>†</sup> Takenori Sumi, Yukimasa Nagai, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation.

<sup>‡</sup> Takenori Sumi, Yukimasa Nagai, Hiroshi Mineno, Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University.

### 2.3. ファームウェア配信方式

消失訂正符号を用いたファームウェア配信方式を図2を用いて説明する。消失訂正符号化における情報パケットは、元のファームウェアデータであるため、初送時は情報パケットのみをブロードキャストを用いてIoT機器へ送信する(図中②)。ここで、パケット誤りが発生しなかった場合は、情報パケットがすべて受信できた段階でファームウェア配信が完了する。

しかし、情報パケットの一部が欠落した場合は、欠落した情報パケットを復元するために、追加のパケット送信が必要となる。欠落する情報パケットは前述の通り、各IoT機器で異なるため、追加送信時に情報パケットではなく冗長パケットを送信することにより、すべてのIoT機器が復号を行う上で有用なパケットを送信することが可能となる(図中③)。なお、冗長パケットは消失訂正符号化により生成したM個すべてを送信する必要はなく、各IoT機器で復号が可能となる数で良い。

各IoT機器は、受信できた情報パケット、および冗長パケットを用いて復号を行い、元のファームウェアデータを復元する(図中④)。

以上により、送信パケット数を削減し、効率的なファームウェア配信が可能となる。

## 3. 計算機シミュレーション評価

### 3.1. シミュレーション諸元

表1にシミュレーション諸元を示す。ファームウェア配信を行うIoT機器数を16台、消失訂正符号にはRate-Compatible QC-LDPC符号[2]を用いた。ファームウェアデータを情報パケット360個に分割し、消失訂正符号化により生成する冗長パケット数を360個とした。従来のユニキャストによるファームウェア配信、およびブロードキャストによるファームウェア配信では、元のファームウェアデータである情報パケットのみを送信することで評価した。各方式の配信効率、ブロードキャストを用いた配信において再送無しで送信した場合のスループットで正規化したスループットを用いて評価した。

### 3.2. 評価結果

シミュレーション結果を図3に示す。横軸がパケット誤り率、縦軸が正規化スループットである。

ユニキャストを用いたファームウェア配信では、16台の端末に個別にファームウェアデータを配信する必要があるため、スループットは誤り率が0の場合でも1/16となる。

ブロードキャストを用いたファームウェア配信では、パケット誤りが5%で正規化スループッ

トが0.62、10%で0.50まで低下する。920MHz帯で用いられるIEEE 802.15.4g[3]等の無線規格では、運用時のパケット誤り率を10%程度に設定することが多いが、ブロードキャストを用いたファームウェア配信では、システムスループットの半分の効率しか実現できない。

一方、消失訂正符号を用いたファームウェア配信では、パケット誤り率10%であっても正規化スループットは0.86であり、ブロードキャストを用いたファームウェア配信に比べ、約1.7倍のスループットで配信を完了することが可能となる。

なお、今回は端末数16台で評価を行ったが、端末数が増えるほど、消失訂正符号を適用した際の配信効率は増加すると考えられる。

## 4. まとめ

本稿では、広範囲の通信が可能な920MHz帯無線における、多数のIoT機器へのファームウェア配信に向けた、消失訂正符号を用いた効率化方式について報告した。計算機シミュレーションにより、従来のブロードキャストを用いたファームウェア配信方式と比較し、約1.7倍のスループットが実現できることを確認した。本報告では、送信機から直接通信できる範囲に存在するIoT機器に対するファームウェア配信について評価を行ったが、今後はマルチホップ環境でのファームウェア配信について検討する。

### 参考文献

- [1] 総務省：情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 920MHz帯電子タグシステム等作業班（第13回）資料920作13-1,入手先 <[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000758529.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000758529.pdf)>（参照2021-12-22）。
- [2] Wataru Matsumoto, Rui Sakai, Hideo Yoshida: Rate Compatible QC-LDPC codes, SITA 2006, pp.387-390 (2006).
- [3] IEEE Computer Society: IEEE Standard for Low-Rate Wireless Network, IEEE Std 802.15.4-2020 (2020).

表1 シミュレーション諸元

パラメータ	内容
IoT機器数	16台
消失訂正符号	Rate-Compatible QC-LDPC符号
情報パケット数	360
冗長パケット数	360

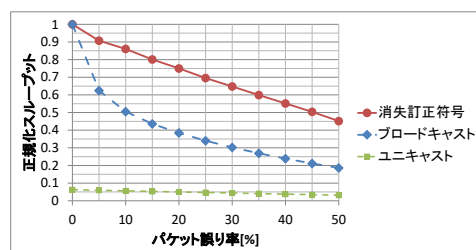


図3 ファームウェア配信効率