

# OpenFlow を利用した UDP における低遅延再送方式の検討

## Low Latency UDP Retransmission Control Scheme Using OpenFlow

鈴木 悟<sup>†</sup>      栗原 公紀<sup>†</sup>      蔭山 佳輝<sup>†</sup>      原嶋 秀次<sup>†</sup>  
 Satoru Suzumoto      Kiminori Kurihara      Yoshiteru Kageyama      Shuji Harashima

### 1. まえがき

地域内で合理的なエネルギー管理をするために、BEMS のような建造物監視制御システムの相互連携が進んでいる [1]. これにより、LAN で閉じていたセンサからの監視情報の通信は、WAN を超えて行われるようになる。このようなシステムでは、機器性能の制約から UDP が使用される場合がある [2]. UDP による通信では、エラーが発生したパケットを回復する手段をプロトコル利用者が実装しなければならない。WAN では、LAN と比べてパケットロスや経路の通信遅延の影響が大きいので、WAN を使用した監視制御システムは、リアルタイム性を考慮したエラーパケットの回復手段が必要である。

本稿では、OpenFlow [3] による中継機を用いた UDP における低遅延再送方式について提案する。また、プロトタイプの実装とシミュレーションにより提案手法の通信性能を計測し、本手法を適用した場合は、単一経路でパケットロスが発生した場合に通信時間が減少したことを示す。

### 2. WAN を使用した監視制御システム

WAN を使用した監視制御システムでは、多数のセンサが監視制御機器に対して通信することが予想される。多数の通信の中でも設備の制御で使用されるセンサの通信では、信頼性とリアルタイム性の高い通信が必要だと考えられる。したがって、WAN を使用した監視制御システムでは、通信の重要度に応じた QoS 制御や、経路を柔軟に設定するための仕組みが必要になる。

監視制御システムの通信プロトコルとしては、機器性能に関する制約から UDP が使用される場合もある [2]. WAN を使用した監視制御システムでは、さまざまなセンサから監視制御機器に対して通信が行われることから、多種多様な UDP 通信に適用可能な信頼性向上の仕組みが必要である。

### 3. OpenFlow を利用した UDP 再送方式

#### 3.1. 監視制御システムに求められる UDP 通信

UDP で信頼性が高い通信をしたい場合は、FEC(前方誤り訂正) や ARQ(自動再送要求)[4] をプロトコルの利用者が実装する必要がある。FEC は、訂正符号をパケット付与する複雑な処理が必要になるので、機器性能に制約が存在する場合に適用が難しい。ARQ は、エラーが発生したパケットを再送するので、経路の通信遅延の影響を受けることからリアルタイム性が低い。

機器性能に制約が存在するときは、機器性能の制約が緩い FEC か、リアルタイム性を考慮した ARQ が必要とされる。本稿では、このうちリアルタイム性をある程度確保した ARQ に着目する。

#### 3.2. 提案する手法

この節では、OpenFlow を利用した中継機を経由する再送制御機構を提案する。OpenFlow は、プログラマブルにネットワークを制御することができるので、経路制御や QoS 設定が柔軟に行える。本手法では、図 1 のように制御装置・センサ側ゲートウェイ・中継機・監視制御機器側ゲートウェイから構成される。制御装置は、センサから監視制御機器までの経路を決定し、経路の情報をセンサ側ゲートウェイ・中継機・監視制御機器側ゲートウェイに通知する。センサ側ゲートウェイ・中継機・監視制御機器側ゲートウェイは、ARQ の機能を提供するサーバ、OFSW(OpenFlow Switch)、OFC(OpenFlow Controller) から構成される。

始端サーバと中継サーバは、パケット再送機能を持ち、中継サーバと終端サーバは、応答確認機能を持つ。また、センサ側ゲートウェイの始端サーバは、再送するパケットを特定する識別子を UDP ヘッダの長さフィールドに埋め込む機能を持ち、監視制御機器側ゲートウェイの終端サーバは、識別子が書き込まれた UDP の長さフィールドを復元する機能を持つ。識別子を WAN 上のルータで利用されない UDP ヘッダの長さフィールドに書き込むことで、UDP 通信は、装置を経由するだけで ARQ を利用できる。

経路の信頼性を高めたい場合は、複数経路を使用するように OFC から OFSW を設定する。複数経路を利用する他の利点としては、通信遅延がほぼ等しい経路を使用するとリアルタイム性を低下させる通信遅延のゆらぎを抑制することがあげられる [5].

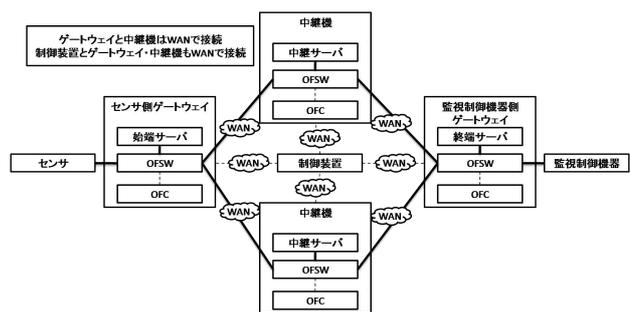


図 1: 装置の構成図

### 4. 実験と評価

ここでは、単一経路において中継機を増やすことで再送をしたときの通信時間が短くなるのかを検証する。

#### 4.1. 実機による実験

実験環境は、図 2 のような構成になる。WAN エミュレータは、パケットロス率と経路の通信遅延時間を設定して使用する WAN の模擬装置になる。通信時間は、NIC(Network Interface Card) を 2 つ搭載した計測機の片方からパケットを送信し、別の NIC で受信するま

<sup>†</sup>株式会社東芝 ソフトウェア技術センター, Corporate Software Engineering Center, TOSHIBA CORPORATION

での時間で計測した。

今回の実験は、計測機から計測機までの経路全体の通信遅延を100(ms)、パケットロス率を30(%)とするために、2つのWANエミュレータに経路の通信遅延を50(ms)、パケットロス率を $1 - \sqrt[0.7]{0.7}$ (%)に設定している。パケットがロスをしたと判断して再送を行う条件は、装置間の経路に設定された通信遅延を4倍した時間以内に前の装置から到達確認が送られてこないという単純なものにしている。各装置間で行われる再送回数の最大値は、1回に設定している。実験は、再送しない、アプリケーションで再送、センサ側ゲートウェイと監視制御機器側ゲートウェイで再送、中継機も含めた再送の4つを行っている。計測は、それぞれの実験で1万個のパケットを計測機から送信し、計測機まで戻ってきたパケットの通信遅延を測定した。

図3は、実験結果を表したパケットごとの通信時間の度数分布になる。中継機を含めた再送では、アプリケーションでの再送やセンサ側ゲートウェイと監視制御機器側ゲートウェイによる再送と比べて、パケットロス時の通信時間は、500(ms)のパケットが少なくなり、代わりに300(ms)のところパケット数が現われる。この結果から、パケットロスが発生した場合の通信時間は、減少したといえる。これは、中継機を入れると各装置間の通信遅延が短くなり、各装置間の再送待ち時間を短くできたことが原因だと考えられる。

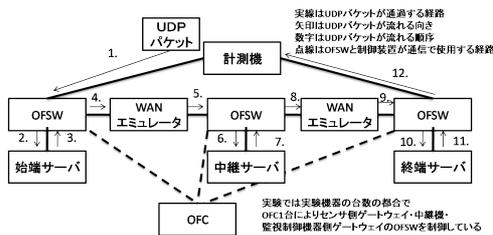


図2: 実験環境

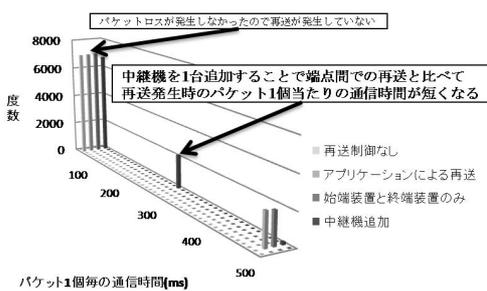


図3: 計測結果

#### 4.2. シミュレーションによる評価

シミュレーションによる評価は、実機では物理的に留意することが難しい中継機数を増やしたときの効果について示す。シミュレーションによる評価は、図2の環境で中継機の台数を増加させた環境を模擬したもので行う。このシミュレーションでは、4.1の実機による実験と同様に、計測機から計測機までの経路全体の通信遅延を100(ms)、パケットロス率を30(%)とする。パケットロスと判断して再送する条件や、各装置間の最大再送回数も、4.1の実機による実験と同じである。WANエ

ミュレータに設定する値は、中継機数を  $n$  とすると、装置間の経路の通信遅延を  $\frac{100}{n+1}$  (ms)、装置間の経路のパケットロス率を  $(1 - \sqrt[n]{0.7}) \cdot 100$ (%)になる。

図4は、実験結果を表したパケットごとの通信時間の度数分布になる。この結果からは、中継機が増加するごとに再送が発生したときの通信時間が短くなる傾向であることを読み取れる。これは、中継機から再送するので、再送の通信遅延自体も抑えられたことや、パケットロス時の再送間隔を短くできることが原因だと考えられる。

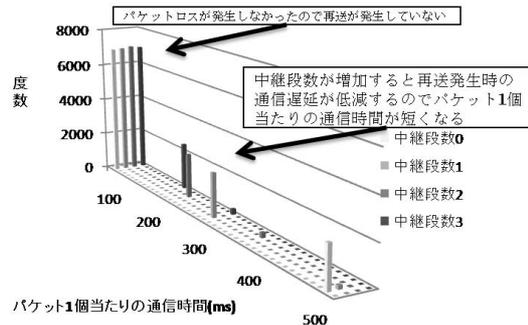


図4: シミュレーション結果

#### 5. おわりに

本稿では、OpenFlowを利用したUDPにおける低遅延再送方式について述べた。本手法を適用するとUDPヘッダに再送に必要な識別子を書き込むので、UDP通信は、装置を経由するだけでARQを利用できる。また、単一経路において中継機を利用すると、再送が発生したときの通信時間を抑えられることを示した。

今後は、実際の回線を用いた実験や、複数経路を使用するときパケットを再送するときの条件について検討と評価を行っていく。

#### 参考文献

- [1] 野田肇, 関義朗, 飯野穰. ビル群のエネルギー管理を実現する次世代のBEMS技術特集 スマートコミュニティの実現に向けて. 東芝レビュー, Vol. 67, No. 9, pp. 7-10, 2012.9.
- [2] 中里淳一, 泉泰一郎, 松澤克哉. スマートコミュニティ向けゲートウェイ装置. 東芝レビュー, Vol. 68, No. 7, pp. 47-51, 2013.7.
- [3] Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar, Larry Peterson, Jennifer Rexford, Scott Shenker, and Jonathan Turner. Openflow: enabling innovation in campus networks. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, Vol. 38, No. 2, pp. 69-74, 2008.
- [4] 久保田周治. 誤り訂正技術の応用. 電子情報通信学会「知識ベース」, 4群1編5章, 2010.
- [5] Takafumi Okuyama, Kenta Yasukawa, and Katsunori Yamaoka. Nearly equal delay path set configuration (need-pc) for multipath delay jitter reduction. *IEICE transactions on communications*, Vol. 91, No. 3, pp. 722-732, 2008.3.