

# 移動環境におけるデータ配信効率化のための MPQUIC パケットスケジューラ

## MultiPath QUIC Packet Scheduler for Efficient Data Delivery in Mobile Environments

松浦 薫† Onur Alparslant 佐藤 健哉†  
Kaoru Matsuura Onur Alparslan Kenya Sato

### 1 はじめに

通信プロトコルの QUIC では、通信インタフェースの変更に伴う IP アドレスの変化の際に、TCP のように新たなコネクションを再度確立するためにアプリケーションデータの通信を中断することなく、同じコネクションで通信を継続するマイグレーション機能が備わっている [1]。ただし、車両走行中や歩行中といった移動環境下では、単一の通信経路のみで高い通信速度を持続させることが難しい場合がある。そこで、複数の通信経路を同時に使用できるマルチパス拡張 (MPQUIC) によって通信帯域を集約し、高い通信速度を安定的に供給することが期待される [2]。MPQUIC には、経路の利用優先度を設定し通信相手に通知する機能が備わっている。しかしながら、特定の優先経路の通信状況に基づいて動的に非優先経路の併用を選択するための仕組みを欠けているため、無料で利用できる Wi-Fi のみでアプリ要件を満たすことができる際にも、従量課金性のセルラー回線を冗長に利用してしまう。

そこで本研究では、複数の通信経路が利用可能な移動環境において安定的な配信を継続しつつ、非優先経路の冗長な通信を避けるために、優先経路の受信信号強度によって各通信経路の利用を動的に選択するパケットスケジューラを提案する。

### 2 関連研究

松下らは、移動により通信圏外に突入する直前に送信されたパケットが転送中に通信経路を切断されることで遅延や損失を起し、スループット低下を発生させる問題を指摘した。そして、受信信号強度 (以下、RSSI) が閾値より低い無線通信インタフェースの利用を停止する手法を提案した [3]。

この提案手法では、転送遅延を抑制するパケットスケジューラと組み合わせることでスループット向上を実現しているが、ユーザの経路利用優先度については考慮されていない。

### 3 提案手法

#### 3.1 概要

本研究では、モバイルデバイス側の Wi-Fi の通信インタフェース上で取得される RSSI に基づいて通信経路を

動的に選択するパケットスケジューラを提案する。このスケジューラでは、 $T_1$  と  $T_2$  の 2 つの RSSI 閾値を設けて通信状況の分類を行う。RSSI が  $T_1$  よりも高い場合は優先経路のみで通信し、RSSI が  $T_1$  以下で  $T_2$  よりも高い場合は非優先経路を併用して通信し、RSSI が  $T_2$  以下の場合は優先経路の利用を停止して非優先経路のみで通信する。

#### 3.2 動作手順

提案手法の動作手順の概要を図 1 に示す。RSSI の分類により、クライアント側で利用優先度が変化した経路は、MPQUIC の仕様内で定義される PATH\_AVAILABLE または PATH\_STANDBY フレームによってサーバへ通知される。

### 4 評価

#### 4.1 評価環境

ネットワークエミュレータの Mininet-WiFi を用いて 2 つのホストが Wi-Fi リンクと TC (Traffic Control) リンクの 2 種類の通信経路で接続されたネットワークトポロジを構築し、MPQUIC を組み込んだ HTTP/3 で 20MiB のファイルを転送する実験を行った [4]。クライアント側のホストは、通信開始直後の 3 秒間アクセスポイント直下の地点で静止し、その後通信圏外へ向かって毎秒 10m の速度で移動する。

安定的な配信の継続性と非優先経路の冗長利用の抑制という 2 つの観点から、「データ転送完了時間」、「受信スループット推移」、「非優先経路の通信量比率」の 3 項目を評価する。比較対象を以下に列挙する。

- 通常のマイグレーション ( $T_1$  と  $T_2$  を  $-90$  dBm)
- 早期のマイグレーション ( $T_1$  と  $T_2$  を  $-75$  dBm)
- 従来の MPQUIC ( $T_1$  と  $T_2$  なし)
- 提案手法の MPQUIC ( $T_1$  を  $-75$  dBm,  $T_2$  を  $-90$  dBm)

#### 4.2 結果と考察

非優先経路の通信量比率とデータ転送完了時間を図 2 に、クライアントの受信スループット推移を図 3 に示す。

早期にマイグレーションを行う場合は、通常のマイグレーションに比べて、非優先経路のオーバーヘッドを 24.3% 増加させたが、MPQUIC よりもデータ転送完了時間が長くなった。また、受信スループット推移では、Wi-Fi のスループットが劇的な低下を起す前に通信経路を切り替えることでスループットの維持に成功したが、単一の通信経路を使用しているため、輻輳による突発的なスループットの低下が見られた。

† 同志社大学大学院 理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University

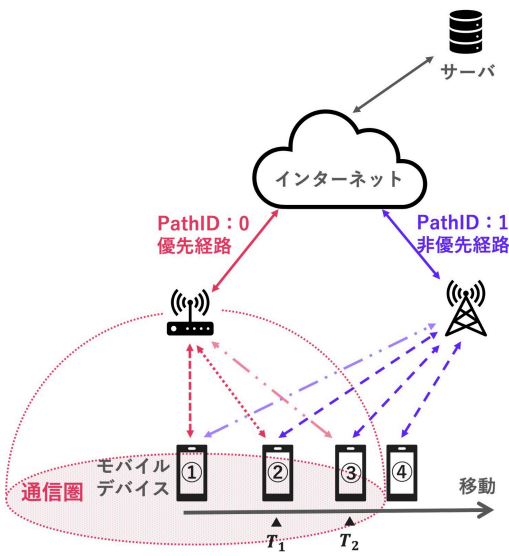


図1 提案手法の概要図

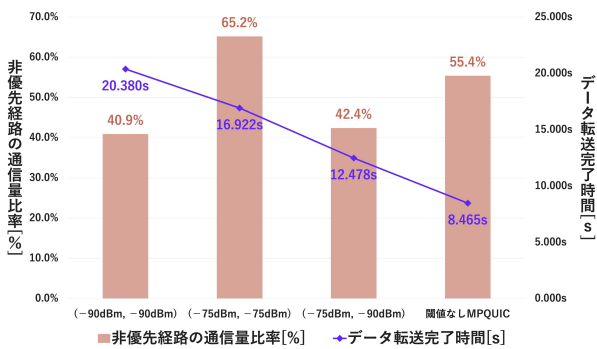
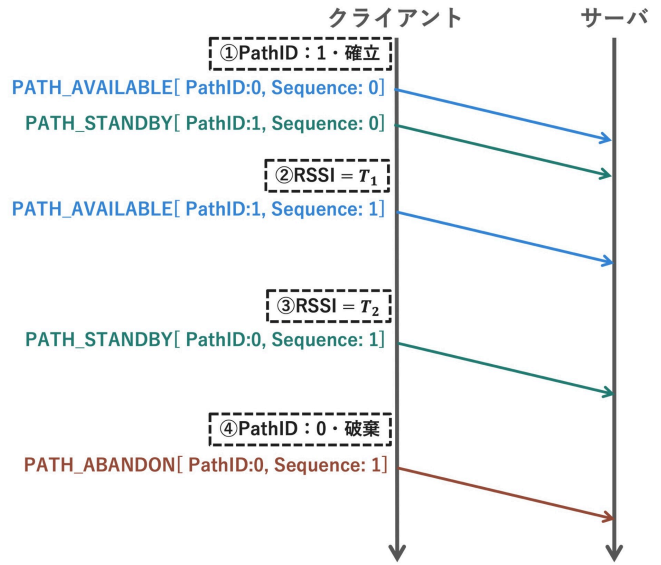


図2 非優先経路の通信量比率とデータ転送完了時間

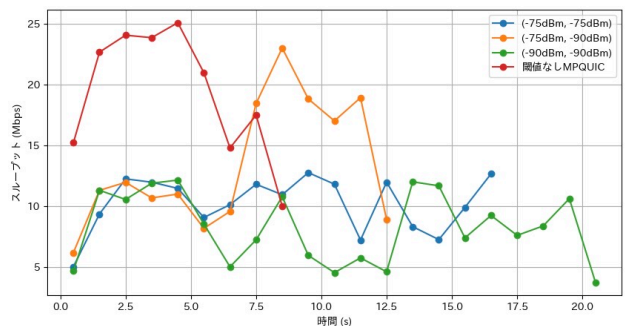


図3 受信スループット推移

RSSI 閾値を設けない従来の MPQUIC では、通常のマイグレーションに比べてデータ転送時間を短縮したが、非優先経路のオーバーヘッドを 14.5% 増加させた。ここで受信スループット推移を見ると、通信開始時から複数経路を併用した結果 Wi-Fi の安定時にも冗長に TC リンクを利用してスループットを向上させたことがわかる。

提案手法の MPQUIC では、従来の MPQUIC には劣るが転送完了時間を大幅に短縮し、非優先経路のオーバーヘッドを 1.5% に抑えた。また、受信スループット推移から、常に 10Mbps 前後のスループットを維持し、急激なスループットの停滞を回避していることを検証した。

以上の結果より、提案手法は安定的な配信の継続と非優先経路の冗長な利用の抑制の両立が可能であることを検証した。

## 5 まとめ

移動環境下で動画等の大容量データ配信を行う際に、Wi-Fi やセルラー回線といった複数の通信経路の同時使用を可能にする MPQUIC を導入し、安定的な配信品質を維持することが期待されるが、現状の仕様ではユーザーにとって冗長なセルラー回線の通信容量の消費を

促してしまう課題がある。そこで本研究では、無料で利用できる Wi-Fi の受信信号強度に応じて、複数の通信経路を併用するかどうかを動的に選択するパケットスケジューラを提案した。実験結果から、本提案手法は通常の QUIC と比べて非優先経路のオーバーヘッドを 1.5% に抑えつつ、安定的にデータ配信を継続することを検証した。

## 参考文献

- [1] Jana Iyengar and Martin Thomson, "QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport", RFC 9000, Internet Engineering Task Force(IETF), May, 2021. DOI:10.17487/RFC9000.
- [2] Yanmei Liu and Yunfei Ma and Quentin De Coninck and Olivier Bonaventure and Christian Huitema and Mirja Kühlewind, "Multipath Extension for QUIC", Work in Progress, Internet Draft, draft-ietf-quic-multipath-14, IETF, Apr, 2025 (Accessed: 2025-06-04).
- [3] 松下 翔太, 藤 睿, 佐藤 健哉, "移動環境におけるビデオストリーミング品質向上のための受信信号強度に応じた MPQUIC スケジューラのシミュレーション評価", 電子情報通信学会論文誌 B Vol.J107-B, No.3, pp.218-225 (2024)
- [4] Fontes, Ramon R. and Afzal, Samira and Brito, Samuel H. B. and Santos, Mateus A. S. and Rothenberg, Christian Esteve, "Mininet-WiFi: Emulating software-defined wireless networks," 2015 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM), pp.384-389, DOI: 10.1109/CNSM.2015.7367387.