

# 無線通信における複数インタフェース使用時の制御手法

宮崎悦子 (指導教員：小口正人)

## 1 はじめに

モバイルインターネットの発展により、様々な無線通信技術が開発されている。例えば無線 LAN に用いる IEEE 802.11, 近距離無線通信の Bluetooth や携帯電話での通信に利用される CDMA (Code Division Multiple Access) などである。

これまでの研究により、一つのインタフェースから別のインタフェースへスムーズなハンドオフを行うことについては議論されているが [4], 同時に複数の無線技術を用いて通信することについては未だに実用化されていない。様々な無線技術が開発されている一方で、有線の場合と比べるとネットワークそれぞれの帯域幅は未だに乏しく、広帯域の無線は利用可能なシーンが限定されているのが現状である。同時に複数の無線技術の適用範囲がオーバーラップしたとき、ユーザが一つのインタフェースだけでなく複数のインタフェースを選択して利用できればこれらの制限から解放され、より充実したモバイルサービスを受けることができる。

そこで提案されているのが適用範囲にある無線技術の帯域幅を複数同時に使用することでより大きいスループットを得ようとする BAG (Bandwidth Aggregation) である。また、複数の無線技術を同時に使用することで、帯域幅集約の他に可動性のサポート、信頼性の向上やリソース共有などのメリットを享受することができる。

## 2 研究背景

同時に複数のインタフェースを用いて無線通信を行った場合、複数の性質が異なる無線インタフェースのパケットが混ざった状態で到着すると TCP からはパケットが抜けてしまったように見え、不必要な輻輳ウィンドウ制御をおこなってしまう。これは BAG により得ることを期待されたスループットを下げってしまう原因となる。

そこで、TCP の性質を考慮し、パケットを見積もられた配達時間を元にスケジューリングするアルゴリズムとして EDPF (Earliest Delivery Path First) が提案されている [1]。EDPF を用いることで、パケットロスがない状態であるとほぼ理想通りの BAG の性能を発揮したスループットを得ることができるが、パケットロスが起こった際の一つのコネクションのスループットの低下が他の全てのコネクションのスループットも下げってしまう。さらにこの問題を解決するために提案されている方式が PET (Packet-Pair based Earliest-Delivery-Path-First algorithm for TCP applications) と BMP (Buffer Management Policy)[2] である。

PET はそれぞれの経路でのパケットの配達時間を見積もり、最速で届けるための経路をスケジューリングすることでパケットの再要求を最小化し、BMP は PET で完全に防ぎきれなかった TCP からのパケットの再要求を隠し、順番がバラバラなパケットをネットワーク層で緩和して順番どおりに TCP に渡す役割を果たす。PET と BMP を用いた場合、EDPF と比べると

とパケットロスが起こった際の複数コネクションのスループットの低下を防ぐことができているが、パケットロスが集中するとロスが分離できずに複数のコネクションのスループットが下がってしまうことが問題点となっている。既存研究では、この問題に対して他の仕組みで無線のロスを減らすことができれば期待した性能を発揮することができるとしているが、本研究では明らかになっている問題点の検証を行い、よりすぐれた実装を考案することで帯域幅集約の性能を上げるための手法を検討する。

## 3 研究概要

本研究では既存研究で行われた実験をシミュレーションで実行することにより提示されている問題点の解決方法を見つけることを目標とする。既存研究ではネットワーク層のアプローチにより、いかに帯域幅集約の性能を上げるかを議論している。しかし同一の TCP プロトコルスタックを利用している限り、あるコネクションに起こった問題の影響が、他のコネクションに波及することを避けるのは困難である。

そこで本研究では輻輳ウィンドウをコネクションごとに分けるなど必要に応じて TCP にも改良を加えて実験を行う。現実の実装としては、TCP レベルにおける複数のコネクションをミドルウェアで統合し、単一のインタフェースをアプリケーション層に提供することが考えられる。また、パケットをより適切な順序で TCP に渡すためにパラメータの変更、新しいモデルの考案やアルゴリズムの改良により帯域幅集約の性能を上げる。

### 3.1 QualNet

実験環境として無線ネットワークのシミュレーションソフトウェアである QualNet を使用する [3]。QualNet は米国 Scalable Network Technologies 社が販売しており高速かつ大規模な通信ネットワークシステムのシミュレーションが可能である。また物理層からアプリケーション層までの通信プロトコルモデルをソースコードで提供しており、カスタマイズにより独自プロトコルを実装しシミュレーションすることができる。

### 3.2 評価シナリオ

本実験では図 1 で示されるシナリオを実行した。node3 は 3 つの無線インタフェースを持っており、それぞれ node3, node4, node5 と最大通信速度が 2Mbps である IEEE 802.11b の無線規格で接続されている。その他の実線で示された接続は最大通信速度 1Gbps の IEEE 802.3 の有線 LAN で接続されている。node1 から node3 へ 25 秒間、512bytes のファイルを送信し続けるアプリケーションを動かした。

### 3.3 実験概要

実行するアプリケーションの種類をそれぞれ変更してどれだけファイルが転送されるか調べた。シミュレーションモデルの 1 つ目はトランスポート層のプロトコルに UDP を採用したマルチキャストのアプリケーション

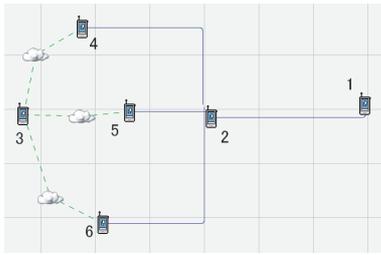


図 1: 評価シナリオ

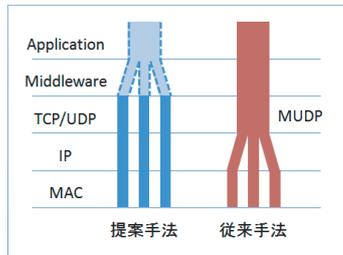


図 2: 提案手法の実装

ンで3つの経路を同時に使用して同じパケットを送信している。2つ目は同じくUDPを用いたアプリケーションを経路の本数分実行したものである。3つ目はトランスポート層のプロトコルにTCPを用いたアプリケーションを2つ目の場合と同じく経路の本数分実行した。

これは図2のような提案手法の実装を評価することを念頭に置いている。提案手法の点線部分(ミドルウェア層以上)は现阶段ではシミュレーションモデルには含まれておらず、また従来手法はマルチキャストのモデルであり、UDPのみで評価している。

#### 4 実験結果

アプリケーションの種類を変更した場合のnode3のデータ受信速度をを図3に示した。UDPを採用したマルチキャストのアプリケーションをMUDP、UDPを採用したシングルキャストの3つのアプリケーションをそれぞれUDP1,UDP2,UDP3、TCPを採用したシングルキャストの3つのアプリケーションをそれぞれTCP1,TCP2,TCP3とした。

UDPのアプリケーションがTCPのアプリケーションより多くのデータを受信することができるということがわかった。その中でも3つの経路を使用して送信したMUDPの値が最も高くなっている。

#### 5 まとめと今後の課題

本研究では複数の無線インタフェースを同時に用いた通信に関する評価を行うためにシミュレーションによる実験を行った。これによりアプリケーションの種類を変更した場合、トランスポート層のプロトコルとしてTCPを用いるよりUDPを用いる方が同じ時間でより多くのファイルを転送できるということがわかった。これはTCPが信頼性を確保する接続型のプロトコルであり、確認応答が行われ、無線通信でパケットロスが発生した場合には輻輳ウィンドウ制御に基づき再送が行われるのに対し、UDPは接続レス型のプロトコルであるためである。また、同じ

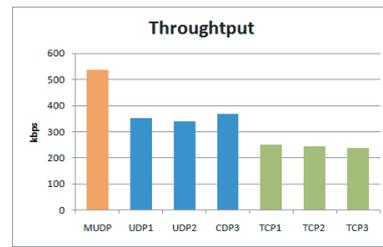


図 3: 実験結果

UDPを用いた場合には3つのアプリケーションを動かした場合より、1つのアプリケーションのパケットを3つの経路で同時に転送した方がより多くのファイルを転送できるということがわかった。これは経路が3つあるおかげで1つの無線サブネットでパケットロスが発生しても他の経路からパケットを受信して補うことができるからである。この結果により無線環境での通信はUDPを用い、複数の経路で送信することで効率が良いということがわかった。现阶段で提案手法はミドルウェアで統合されていないが、これを統合すれば通信効率が格段に向上すると期待される。

またUDPは接続レス型のプロトコルで信頼性が確保されていないのでデータの一部でも抜けることの許されないファイル転送などには適さない。そこでUDPで保証されていない信頼性を確保し、既存研究で指摘されているような無線環境下でのTCPの振る舞いを回避したアルゴリズムを考案し、実装することが今後の課題である。

さらに既存研究では1つのアプリケーションのパケットをネットワーク層で分割して複数経路に配信しているのに対して、本実験では1つのアプリケーションの同じパケットのコピーをネットワーク層で複数経路に配信したり、経路ごとにアプリケーションを配信しているという点で既存研究の実験とは異なる。従ってより既存研究に近い形のシナリオを作成して提示されている問題点を確認していく。また、QualNetをカスタマイズし、パラメータの変更、新しいモデルの考案やアルゴリズムの改良をすることで提示されている問題点の解決方法を見つける。

#### 参考文献

- [1] Chebrolu, K. and Raman, B.: Bandwidth Aggregation for Real-Time Applications in Heterogeneous Wireless Networks, in *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 5, NO. 4* (2006).
- [2] K. Chebrolu, B. R. and Rao, R.: A Network Layer Approach to Enable TCP over Multiple Interfaces, in *J. Wireless Networks (WINET)* (2005).
- [3] QualNet, : <http://www4.kke.co.jp/qualnet/>.
- [4] Stemm, M. and Katz, R.: Vertical handoffs in wireless overlay networks, in *Mobile Networks and Applications 3* (1998).
- [5] 宮崎悦子, 小口正人: 無線通信における複数インタフェース使用時の制御手法の一検討, DEIM2009, 2009年3月発表予定.