

複数インタフェースを用いた無線通信の コネクション集約ミドルウェア

宮崎悦子^{†1} 小口正人^{†1}

近年、様々なモバイルネットワークアプリケーションの実行に必要なスループットはますます増加している。それを受けて IEEE 802.11, Bluetooth や CDMA などの様々な無線技術が開発されており、WAN, LAN ないし PAN 上のデータ通信に広く利用されている。しかし各々の帯域幅は未だに乏しいものが多く、また広帯域を確保している無線通信は使用可能なシーンが限定されているのが現状である。さらに既存する多くの技術は、同時に一つの無線技術を使用することに限られている。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。しかし BAG を行う際に TCP の性質による性能の低下がみられることが分かっている。この問題を解決するためのネットワーク層の手法として EDPF や PET-BMP などが提案されているが、それらの手法も問題点の完全の解決には至っていない。そこで本研究では既存研究で明らかになっている問題点を解決し、よりすぐれた実装を行うことを目標として、ミドルウェアを用いた複数コネクションの制御手法を提案し、無線シミュレーションによる実験を行った。

Bandwidth Aggregation Middleware using Multiple Interface over Wireless Connection

ETSUKO MIYAZAKI^{†1} and MASATO OGUCHI^{†1}

Recently, higher throughput is required for executing various mobile network applications. Accordingly, variety of wireless technologies such as IEEE 802.11, Bluetooth, and CDMA are developed and widely used for data communications in WAN, LAN and PAN environments. However, each bandwidth is still low, and as for a wireless communication with wide bandwidth, the scene that can be used is limited. In addition, most research in this domain has been confined to single interface used at any time to meet the connectivity requirements of the mobile client. Bandwidth Aggregation (BAG) is proposed that obtains large throughput using the bandwidth of a multiple wireless connections simultaneously. However, when BAG is evaluated, the lower performance by the

characteristic of TCP is observed. Thus EDPF and PET-BMP are proposed as a technique at the network layer to solve this problem. However, the problem can not be solved completely even with these methods. The goal of this research is solve the problem clarified by an existing research is solved, and it is evaluated by a wireless simulation.

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¹⁾、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各々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1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可能となる。

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に到着すると TCP から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。

^{†1} お茶の水女子大学
Ochanomizu University

そこで、TCP の性質を考慮し、見積もられた配達時間を元にパケットを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²⁾。EDPF を用いることで、パケットロスがない状態であるとはほぼ理想通りの BAG の性能を發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には一つの接続のスループットの低下が他の全ての接続のスループットも下げってしまう。

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)³⁾ である。PET は各々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する。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、順番がばらばら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 と比べるとパケットロスが起こった際の複数接続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接続のスループットが下がってしまうことが問題となっている。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發揮することができるとしているが、現実には無線のロスを減らすことは大変困難である。そこで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で明らかになっている問題点の解決方法を見つけ、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などにより帯域幅集約の性能を上げることを目標とする

3.1 ベースとなる提案手法

既存研究ではネットワーク層におけるアプローチを用いていかに帯域幅集約の性能を上げるかを議論している。これによりトランスポート層へは接続がひとつであるように見せることができ、帯域を集約していることをアプリケーションが意識することなく通信可能であることがメリットとなっている。しかし同一の TCP プロトコルスタックを利用してはいる限り、ある接続に起こった問題の影響が、他の接続に波及することを避けるのは困難である。

そこで本研究では経路ごとに独立した TCP の接続を持つ、図 1 に示される手法を提案する。TCP レベルにおける複数の接続をミドルウェアで統合することで、帯域を集約していることをアプリケーションが意識することなく通信可能であるという従来手法のメリットを残すことができる。さらにパケットロスが起こった場合に複数経路のスループットが下がってしまう原因となっている輻輳ウィンドウを経路ごとに持たせることで、提示されている問題点を回避する。

この手法は、既存の TCP を作り変えて、複数の接続をトランスポート層で 1 本に束ねるアプローチでも実現可能である。しかしミドルウェアで統合することを考えれば既存の TCP をそのまま利用して目的を達成することが可能であると考えられる。

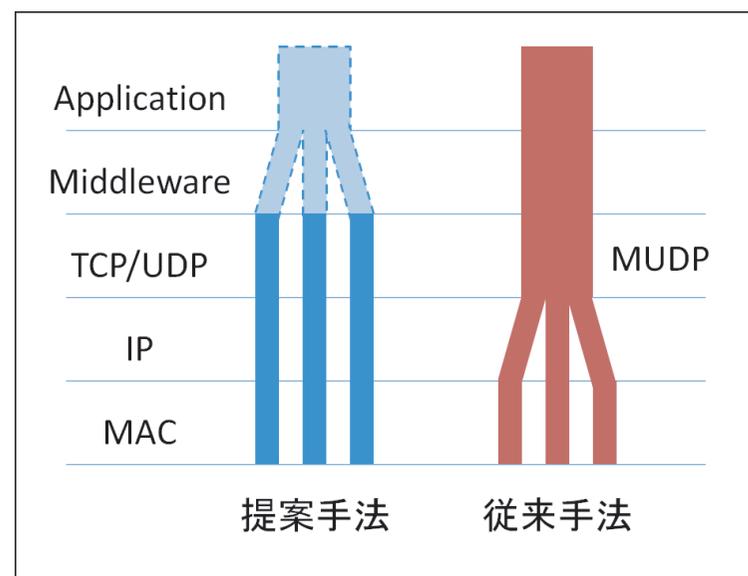


図 1 提案手法

3.2 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。QualNet は米国 Scalable Network Technologies 社⁴⁾ 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。

QualNet のライセンスは Microvision 社の FLEXnet を用いたフローティングライセンス形式を用いており、サーバ用とクライアント用のライセンスファイルをそれぞれの端末に入れておき、クライアント端末がシミュレーションを実行するたびにサーバ端末のライセンスファイルへアクセスする。この仕組みを用いることでたとえば 1 つのライセンスしか持っていない場合でも、時間が重なっていなければ多数のマシンでシミュレーションを動かすことが可能である。

3.3 実験 1

まず図 2 で示されるシナリオを実行した。node1 と node2 は伝送速度 1Mbps の IEEE 802.11b の無線規格で接続されている。node1 から node2 へ 2048Bytes のファイルを 10000 個送信するアプリケーションを動かした。

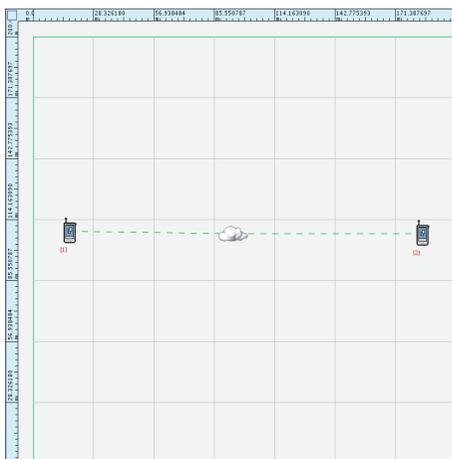


図 2 1 つの経路を持つシナリオ

3.4 実験結果 1

実験 1 において node2 で受信されたスループットをアプリケーション層で観測しグラフにしたものを図 3 へ示した。

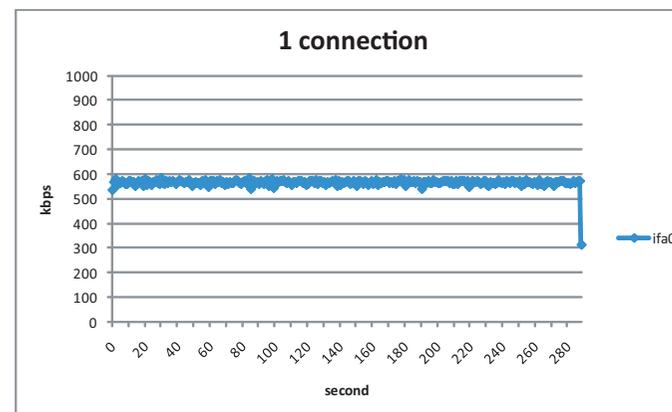


図 3 1 つの経路の実験結果

全体を通して 570kbps 程度のスループットで通信が行われていることがわかる。MAC 層での最大通信速度が 1Mbps で、端末間の物理的な距離が 200 メートル程度離れている状況では妥当な速度であると考察する。

3.5 実験 2

次に図 4 で示されるシナリオを実行した。node1 と node2 は ifa0, ifa1, ifa2 の 3 つの無線インタフェースを持っており、伝送速度 5.5Mbps の IEEE 802.11b の無線規格で接続されている。そこで提案手法のミドルウェアを実装するために QualNet であらかじめ用意されている FTP のアプリケーションを改良し、指定した本数の経路を同時に使用してデータを送信するアプリケーションを作成した。それを用いて node1 から node2 へ 2048Bytes のファイルを 10000 個送信するシナリオを実行した。

3.6 実験結果 2

実験 2 において node2 で経路ごとに受信されたスループットをアプリケーション層で観

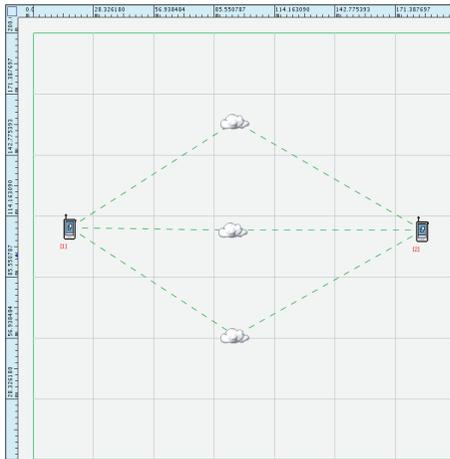


図 4 3つの経路を持つシナリオ

測しグラフにしたものを図 5 へ示した。

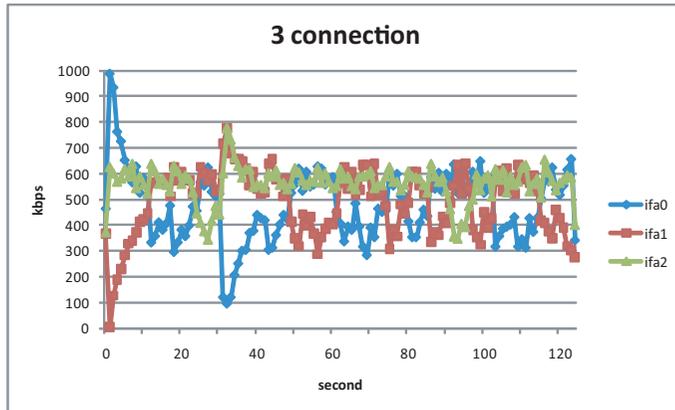


図 5 経路ごとの 3つの経路の実験結果

さらに図 5 の経路ごとの値を合計したものを図 6 へ示した。

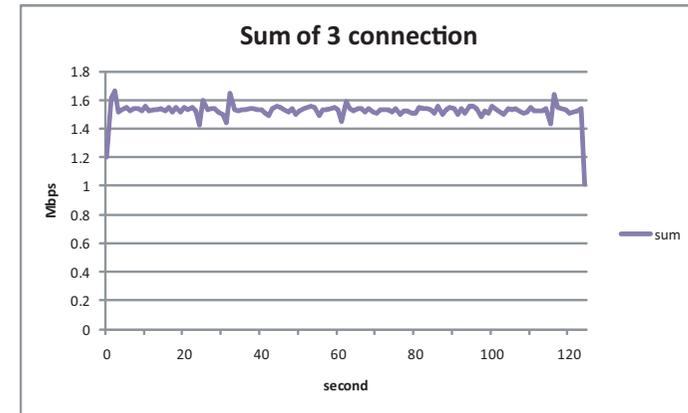


図 6 3つの経路の実験結果

3本の経路それぞれのスループットは、どの経路も全体を通して平均 570kbps 程度を示しており、それを合計した図 6 では 1.55Mbps 程度のスループットで通信が行われていることが分かる。経路を 3本利用する際に 1本で通信した場合より約 3倍の速度で通信されたことが示された。

4. まとめ

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。

提案手法のミドルウェアを実装し、1本の経路を用いて通信を行った場合と3本の経路を用いて通信を行った場合を比較し、3本の経路を用いた通信では、1本の経路を用いた通信の約3倍の速度でデータを送信することができたということから、複数経路を用いて通信を行うと、同時に使用した経路の本数倍だけスループットが高くなることを確認した。

5. 今後の課題

本実験では経路の本数を増やす際に IEEE 802.11b の伝送速度を 1Mbps から 5.5Mbps へ

変更しているがこれはシミュレーションの性質により、伝送速度を変えずに経路の本数を増やしても期待した性能を得ることができなかったからである。伝送速度を 11Mbps に設定し 1 本の経路を用いた通信と複数経路を用いた通信と比較すると、1 本の経路を用いた通信のスループットは全体を通して 1.9Mbps 程度であったが、3 本の経路を用いた場合の受信側で観測したスループットは 1 本のみを用いた場合とほとんど変わらず 1.9Mbps 程度であった。詳しく見ていくと、送信側では経路の本数分多くデータを送信しており毎秒 5.7Mbit 程度の送信を行っていることがわかった（図 7） また、全く通信を行っていない経路が存在

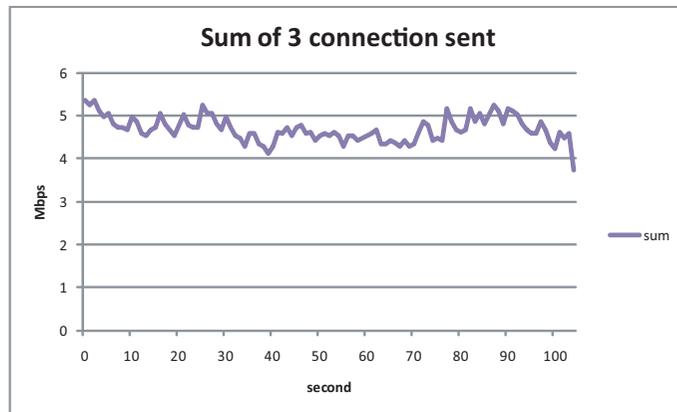


図 7 3つの経路を用いて送信したスループット

してしまっていないかを調べるために、経路ごとに受信されたスループットを調べると、3つの経路がほぼ平等に使用されていることが分かった（図 8） この現象は IEEE 802.11b の伝送速度を 1Mbps, 2Mbps, 5.5Mbps, 11Mbps と変化させた場合でも常に起こっていることからシミュレーションでの端末の処理能力がインタフェース 1 つの伝送速度に依ってしまっていると考えられる。この問題を解決することが今後の課題の 1 つである。

また、既存研究で指摘をされているような無線環境下での TCP のふるまいを回避したアルゴリズムを考案・実装する。

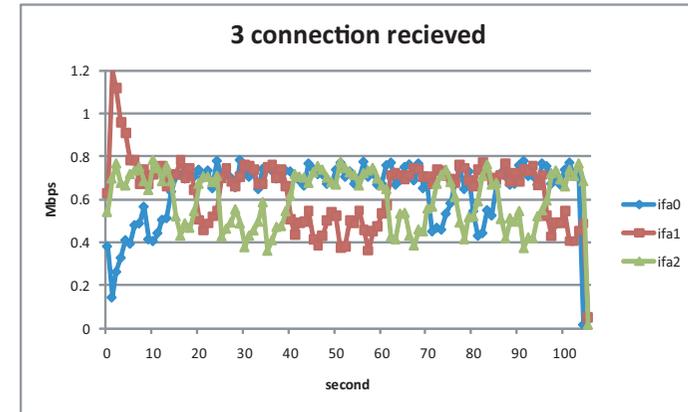


図 8 経路ごとに受信できたスループット

参考文献

- 1) M. Stemm and R. Katz :“ Vertical handoffs in wireless overlay networks, ”Mobile Networks and Applications Vol.3, No4, pp.335-350, Jan. 1998.
- 2) K. Chebrolu and B. Raman :“ Bandwidth Aggregation for Real-Time Applications in Heterogeneous Wireless Networks, ” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.5, No4, pp.388-403, April 2006.
- 3) K. Chebrolu, B. Raman, and R.R. Rao :“ A Network Layer Approach to Enable TCP over Multiple Interfaces, ” J. Wireless Networks (WINET), Vol.11, No5, pp.637-650, Sept. 2005.
- 4) Scalable Network Technologies :
<http://www.scalable-networks.com/>