

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

宮崎 悦子[†] 小口 正人[†]

[†] お茶の水女子大学

〒 112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: †etsuko@ogl.is.ocha.ac.jp, ††oguchi@computer.org

あらまし 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. しかしそれぞれ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. さらに現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.

キーワード ネットワークアーキテクチャ, TCP, モバイルコンピューティング, シミュレーション

A Study of control method over Multiple Interfaces for wireless networks

Etsuko MIYAZAKI[†] and Masato OGUCHI[†]

[†] Ochanomizu University

2-1-1 Ohtsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, Japan

E-mail: †etsuko@ogl.is.ocha.ac.jp, ††oguchi@computer.org

Abstract 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. Then, 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.

Key words network architecture, TCP, Mobile Computing, 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 [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する。BMP は PET で完全に防ぎきれなかった TCP から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、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コネクション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。

そこで本研究では経路ごとに独立した TCP のコネクションを持つ、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コネクション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、複数のコネクション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。

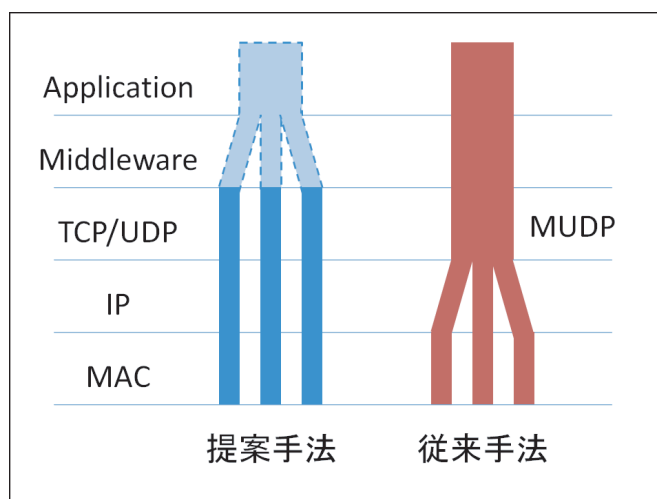


図 1 提案手法

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（図 2）。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。

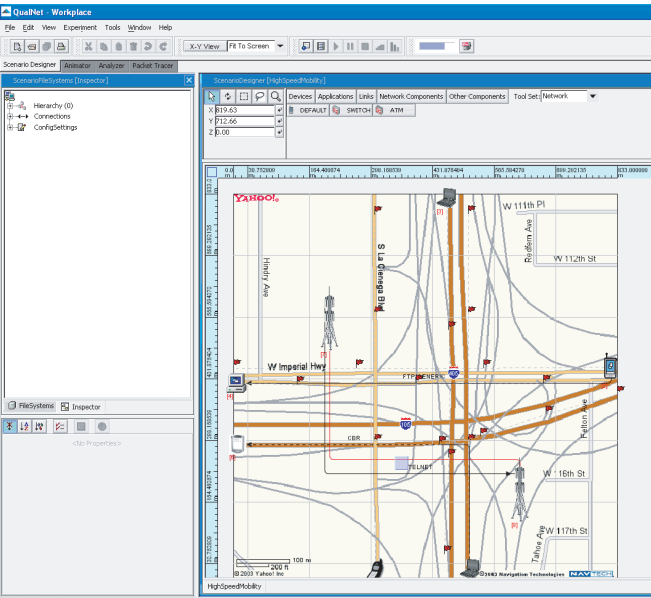


図 2 QualNet の GUI

3.3 実験概要

複数経路を用いて通信を行う場合、次の2つのケースが考えられる。ひとつはそれぞれの経路に同じ内容の packets を送信することで、二つ目は既存研究で行われているように、異なる内容の packets を送信することである。通常複数経路を用いて通信を行う場合は、異なる内容の packets を送信してスループットを稼ぐことを考えるが、不安定な無線環境下では複数の経路に同じ内容の packets を送信することで信頼性をあげることができると期待される。そこで本実験では、トランスポート層のプロトコルとして UDP を採用したアプリケーションで、複数経路に同じ packets を送信した場合のスループットを調べた。これはすなわち、宛先が同じ3本の接続に対しマルチキャストを行っている形である。また、無線通信環境での TCP と UDP の性能を調べるために、経路ごとにアプリケーションを実行した場合のトランスポート層のプロトコルをそれぞれ変更してスループットを調べた。

3.4 評価シナリオ

本実験では図3で示されるシナリオを実行した。node3 は ifa0, ifa1, ifa2 の3つの無線インタフェースを持っており、それ

ぞれ node4, node5, node6 と伝送速度 2Mbps の 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 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。評価する通信コネクションとしては、今回は先に示した提案手法の基礎となる部分を取り上げた。すなわち、図1において、点線で示されるミドルウェアより下の部分を評価対象とした。具体的な評価モデルを以下で述べる。

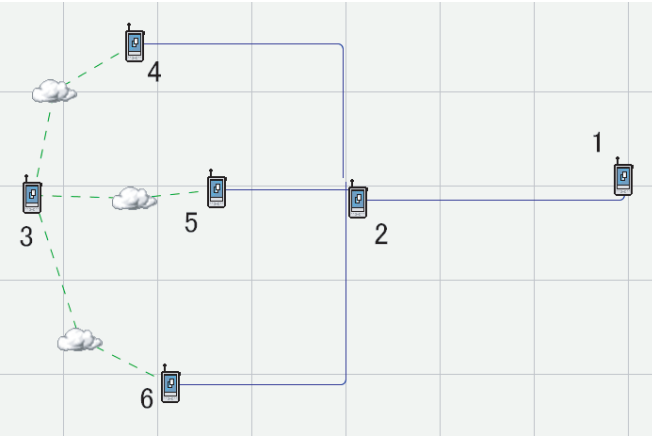


図 3 評価シナリオ

3.5 実験条件 1

TCP を用いたアプリケーションを経路ごとに、計3つ動かした際のスループットを観察した。また、同様に UDP を用いたもののスループットを観察した。

3.6 実験条件 2

UDP を用いて3つの経路に同じ packets を送信する1つのアプリケーションのスループットを観察した。これは同一宛先に複数経路でマルチキャスト配信を行っているのと同じ状態である。以下 MUDP と呼ぶ。

4. 実験結果

4.1 実験 1

経路ごとにアプリケーションを実行した場合のトランスポート層のプロトコルを TCP と UDP とそれぞれ変更した結果のスループットを表1へ示した。

UDP1	UDP2	UDP3	TCP1	TCP2	TCP3
353.97	340.48	367.10	250.88	244.74	238.25

表 1 実験結果 1 [kbps]

また、表1の値をグラフにしたものを図4に示した。

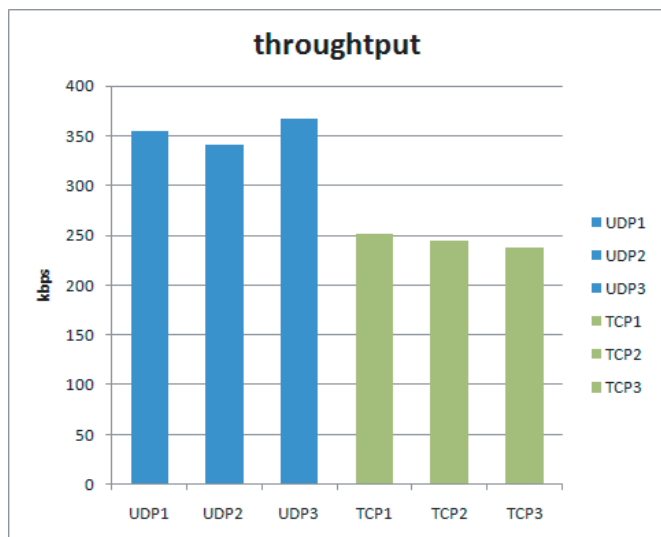


図 4 実験結果 1

トランスポート層のプロトコルとして UDP を用いたものの方が TCP を用いたものより高くなった。これは TCP は信頼性を確保するコネクション型のプロトコルであり、無線通信においてはパケットロスが起こった場合輻輳ウィンドウ制御に基づき再送が行われるためスループットが上がりにくいからであると考えられる。一方 UDP はコネクションレス形のプロトコルなのでパケットロスが起きても再送は行われない。パケットロスが頻繁に起こる環境においては、到達しないパケットが多く存在することになるが、それでも確実にパケットを届けようと再送を行う TCP よりスループットは高くなることがわかる。

4.2 実験 2

UDP を用いて 3 つの経路に同じパケットを送信する 1 つのアプリケーションである MUDP と実験条件 1 の経路ごとのアプリケーションを UDP で実装したものの比較を表 2 に示した。

MUDP	UDP1	UDP2	UDP3
535.38	353.96	340.48	367.10

表 2 実験結果 2 [kbps]

また表 2 より経路ごとの UDP の値の平均値を求め、MUDP と共にグラフに表したものを 5 に示した。

図 5 より、複数の経路に同じパケットを送信した MUDP の方がスループットが高くなっている。これは、1 つの無線サブネットではパケットロスが発生した場合でも、複数経路で同じパケットを送信していれば他の経路からのパケットで補うことができるからである。複数の経路に同じ内容のパケットを送信した場合、パケットロスが全く無い経路であれば、1 経路のみを使った場合とスループットは変わらず、単に帯域を消費しているだけとなる。しかし無線環境のようにパケットロス率が高い場合、複数経路に同じ内容のパケットを送信することはスループットを高めるために有効であることがわかる。

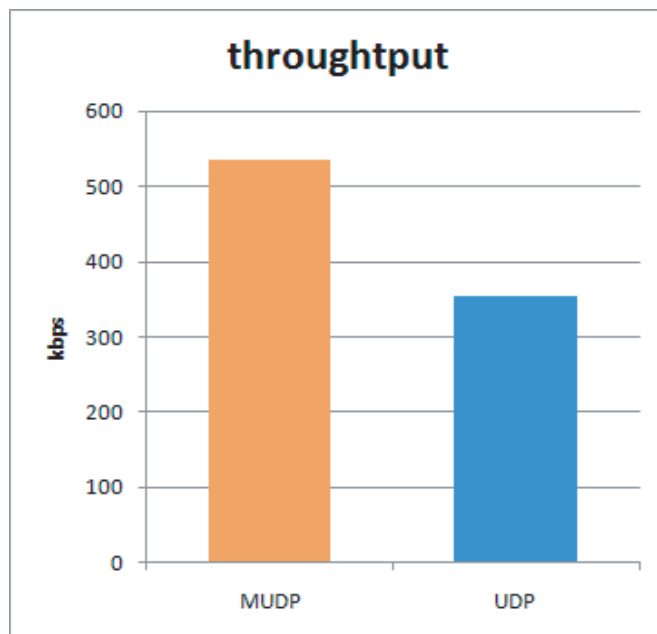


図 5 実験結果 2

ットを高めるために有効であることがわかる。

5. 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。

まず無線通信環境での TCP と UDP の性能を調べるために、経路ごとにアプリケーションを実行した際のトランスポート層のプロトコルをそれぞれ変更した場合、TCP よりも UDP を用いた場合の方がスループットが高くなることがわかった。これにより、無線通信を行う上では到達確認やパケットロスの際の再送を行う TCP の性質による性能の低下がみられることを確認した。

次に、複数経路に同じ内容のパケットを送信すると、経路ごとに別々のアプリケーションで通信した場合よりも品質の良い通信を行えることを UDP を用いた場合で確認した。これにより、同じ内容のパケットを送信した場合であっても、複数経路を用いることで、同時に 1 つのインタフェースを使うよりも大きなスループットを得ることができるということがわかった。さらに提案手法のミドルウェアを実装し、異なる内容のパケットを送信すれば格段に通信効率が向上すると期待される。

6. 今後の課題

複数経路に同じ内容のパケットを送信すると、経路ごとに別々のアプリケーションで通信した場合よりも品質の良い通信を行えることを UDP を用いた場合では確認したため、TCP でも同様の結果が得られるか確かめることが今後の課題である。さらに提案手法のミドルウェアを実装し、異なる内容のパケットを送信することで通信効率の向上を目指す。

その他，パラメータの変更を行うために QualNet をカスタマイズする．また，既存研究で指摘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．

文 献

- [1] M. Stemm and R. Katz :“ Vertical handoffs in wireless overlay networks ”, Mobile Networks and Applications 3, 1998.
- [2] K. Chebrolu and B. Raman :“ Bandwidth Aggregation for Real-Time Applications in Heterogeneous Wireless Networks ” IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING, VOL. 5, NO. 4, 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), Sept. 2005.
- [4] Scalable Network Technologies :
<http://www.scalable-networks.com/>
- [5] Kazunori TAKEUCHI, Tadayuki FUKUHARA, Shingo NOMURA, Shu YAMAMOTO : “Cognitive Radio Using Multi-transmission Links - A novel approach effective in metropolitan areas - ”, Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2007.
- [6] Seishi Hanaoka, Naruhito Nakahara, Masashi Yano, Satoshi Yoshizawa and Tetsuhiko Hirata, Central Research Laboratory Hitachi Ltd. : “Proposal and Testbed System of Inter Radio System Switching for Cognitive Radio”, Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2007.
- [7] 株式会社 KDDI 研究所, 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 : “コグニティブ無線におけるメディア選択方式の一検討”, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2008 年 9 月.