

# 複数無線インタフェース使用時のネットワーク層における コネクション集約に関する評価

宮崎 悦子<sup>†</sup> Onur Altintas<sup>‡</sup> 小口 正人<sup>†</sup>

お茶の水女子大学<sup>†</sup> 株式会社トヨタ IT 開発センター<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

モバイルインターネットの発展を受けて、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帯域幅集約 (Bandwidth Aggregation) が提案されている。これまでの研究により、1つのインタフェースから別のインタフェースへの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。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受けることができると考えられる。

## 2 研究背景

### 2.1 帯域幅集約の概要

帯域幅集約は様々な層において実現することが考えられるが、それぞれに利点と欠点が存在する。データリンク層でのアプローチ[2]では集約の効率は良いが、全てのノードに専用のハードウェアを導入しなければならないという欠点を持つ。ネットワーク層での集約では TCP や UDP へ透過的に振る舞うことができるのが利点であるが、トランスポート層のプロトコルとして TCP を用いた場合、その性質によりスループットを大幅に下げることが明らかになっている[3]。トランスポート層での集約は各経路に応じた効率的なパケットの分配や再転送を行うことができるがエンド間でのオペレーティングシステム内の実装が不可欠である[5]。アプリケーション層より容易に帯域幅集約を実現できる[6]が、様々なアプリケーションに適した集約の実装を行うのは大変困難である。

### 2.2 ネットワーク層での帯域幅集約

性質の異なる無線インタフェースを複数同時に用いて通信を行った場合異なる経路からのパケットは送信された順以外でパケットが到着する可能性がある。パケット受信側の TCP は、次に期待していたパケットより後のパケットを先に受信してしまうと、パケットが抜けたと認識してしまう。それにより TCP は本来不要であるはずの再転送を要求し、期待した集約結果を得ることができない。

そこで提案されているのが EDPF (Earliest Delivery Path First) [3]である。EDPF は送信側からパケットを送信する際、経路が分岐するノ

ドにおいて実装される。分岐ノードは分岐する先の経路の帯域幅や遅延、使用率を元に、パケットがどの経路を通れば最短で受信側ノードへ届くかを計算する。パケットは常に最短で届くと見積もられた経路へ配信されるので受信側 TCP は常に送信側で送信された順にパケットを受け取ることができる。この手法により、パケットロスの無い環境では期待通りの帯域幅集約の性能を発揮できることが確認されている。

### 2.3 無線環境での帯域幅集約

無線環境で通信を行った場合、有線の場合と比較してパケットロスが多く起こってしまうことが知られている。ネットワーク層以下で帯域幅集約を行う際にパケットロスが起こると、TCP は特定の経路のパケットロスであることを認識できず輻輳制御を行ってしまう。その結果ウィンドウサイズが下がるのでスループットを下げる原因となり、期待した帯域幅集約の性能を得ることができない。

この問題を解決するために提案されているネットワーク層の方式が PET (Packet-Pair based Earliest-Delivery-Path-First algorithm for TCP applications) と BMP (Buffer Management Policy)である[4]。PET は EDPF で行っていた経路の見積もりを、より厳格に、動的に行う。BMP はパケット受信側のノードへ実装され、受信したパケットを並び替えが必要なものか、それともパケットロスなのかを判断する役割を果たす。

次に到着する筈のパケットのシーケンス番号より大きいシーケンス番号のパケットがすべての経路から到着すれば、それは確かにパケットロスであることを BMP が TCP へ報告する。そうでなければ順番どおりに並び替えたパケットを TCP へ渡す役割を果たす。

PET と BMP を実装した場合、EDPF を用いた場合と比較すると、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。しかし、パケットロスが集中した場合複数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、ほか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

検証を行うために、ネットワークシミュレータである QualNet[7]による追実験を行い、よりすぐれた実装の検討を行った。

### 3 実験

#### 3.1 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。

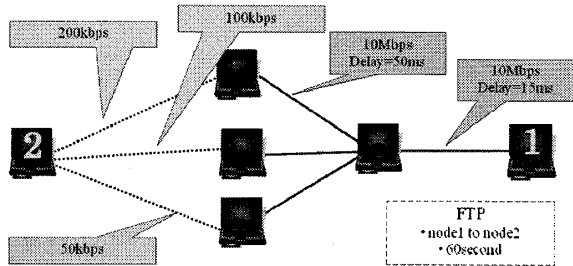


図 1 評価シナリオ

ノード 1 と 2 の間には 3 本の経路が存在し、通信のボトルネックとなる無線経路部分の帯域幅はそれぞれ 200kbps, 100kbps と 50kbps である。

#### 3.2 EDPF の帯域幅評価

使用経路選択のアルゴリズムとして重みつきラウンドロビン (WRR) と EDPF を使用した場合の比較を行った測定結果を表 2 に示した。

表 2 EDPF の評価

アルゴリズム	Thr (kbps)	Dup Acks	Retransmitted
EDPF	329	0	0
WRR	265	522	96

3 つの経路の帯域幅を単純に合計すると 350kbps なので、WRR ではそれと比較して 75.7% の性能しか出ていないのに対し EDPF では 94.0% の性能を発揮することができている。これは Duplicate Ack が発生していないので不必要な再転送が行われていないためである。この実験により、既存研究と同様に EDPF が高い性能を発揮することを確認した。

#### 3.3 EDPF のパケットロス発生時の振る舞い

経路使用のアルゴリズムとして EDPF を使用した場合にパケットロスが起こった際のふるまいを観察し、各経路のスループットをグラフに表したものを図 2 に示した。

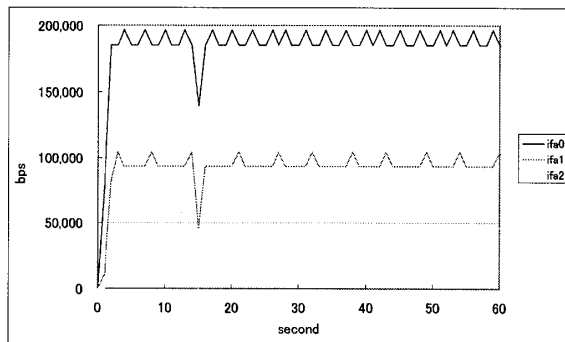


図 2 経路ごとのスループット

14 秒に一つのパケットロスを起こした際に、すべてのインタフェースのスループットが下がって

しまっていることを確認した。これはどれか 1 つの経路で起こったパケットロスを、TCP はどこの経路で起こったものか理解できず、全体のスループットを下げているためである。この実験により、既存研究と同様に EDPF を実装してもパケットロスのある環境では期待した性能を発揮しないということを確認した。

### 4 まとめと今後の課題

本研究ではネットワークシミュレータを用いて、既存研究で提案されている、ネットワーク層で帯域幅集約を行う手法についての追実験を行い示されている有効性、問題点を確認した。EDPF を実装して通信を行った場合に、より単純な手法である WRR を用いた場合よりも効率の良い通信を行えることを確認した。また、EDPF を実装してもパケットロスが発生するとすべてのインタフェースのスループットが下がってしまうという問題点を確認した。

今後は明らかになっている問題点を解決するために既存研究で提案されている PET-BMP を実装して実験を行う。パケットロスが多い環境だとすべてのインタフェースのスループットを下げってしまうという問題点を解決するために新たな解決法を考案する。トランスポート層より下の制御では、パケットロスを経路ごとに分離するのは難しいことが明らかになったので、より上位層での制御方法に着目する。

### 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] IEEE P802.3ad Link Aggregation Task Force : <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/ad/>
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Junwen Lai Ming Zhang and et al : "A transport layer approach for improving end-to-end performance and robustness using redundant paths." USENIX 2004 Annual Technical Conference, pages 99-112, 2004.
- [6] 野澤高弘, 本多倫夫, 榊原寛, 中澤仁 and 徳田英 : "ARMS: Application-level Concurrent Multipath Utilization on Reliable Communication"
- [7] Scalable Network Technologies : <http://www.scalable-networks.com/>