

ハンドオーバを考慮した TFRC 通信のための ACK 管理方式

藤川 知樹[†] 兼子 和巳[†] 甲藤 二郎[†] 泉川 晴紀[‡]

[†]早稲田大学大学院理工学研究科 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

[‡]KDDI 研究所 YRP リサーチセンター 〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 7-1

E-mail: [†]{tomoki, kaneko, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, [‡]izumikawa@kddilabs.jp

あらまし 近年、リアルタイム性を必要とする IP 通信の輻輳制御手法として、TFRC や DCCP が注目されている。また、移動通信においてもモバイル WiMAX といった高速無線システムの登場や FMC の普及に伴い、リアルタイム系サービスの急増が予想される。一方、筆者らは、異種無線ネットワークのハンドオーバ特性に着目している。そのような環境では、特に端末とハンドオーバ後の AP 間のリンク遅延が大きい場合、 unnecessary レート削減とタイムアウトの発生が起こることがある。また、TFRC がハンドオーバ後の環境にあった ACK を即座に生成できないため、送信レートを過大にし、ハンドオーバ先のネットワークに悪影響を与える可能性もある。本稿では、 unnecessary レート削減を抑制する AP 介在型 ACK 管理方式、それをもとにハンドオーバ先のネットワークも適切に対応できる ACK 管理継続方式、パケット廃棄率更新方式を提案し、評価を行う。

キーワード TFRC, MIP, ハンドオーバ

An ACK Management considering Wireless Handover for TFRC Streaming

Tomoki FUJIKAWA[†] Kazumi KANEKO[†] Jiro KATTO[†] and Haruki IZUMIKAWA[‡]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

3-4-1 Okubo, Shinjyuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

[‡] KDDI R&D Laboratories Inc. YRP Bldg.No.3,7-1 Hikari-no-oka, Yokosuka, Kanagawa, 239-0847 Japan

E-mail: [†]{tomoki, kaneko, katto}@katto.comm.waseda.ac.jp, [‡]izumikawa@kddilabs.jp

Abstract Recently, as congestion control methods for realtime communication in IP network, many researchers have an interest in TFRC (TCP-Friendly Rate Control) and DCCP (Datagram Congestion Control Protocol). In addition, rapid increase of real-time services for mobile terminals is expected together with the spread of FMC and WiMAX. Therefore, we pay our attention to handover characteristics in heterogeneous networks. Especially, when the delay is too large between a mobile terminal and an AP (Access Point) after handover, unnecessary rate reduction and timeout will happen. Since a TFRC receiver cannot immediately generate feedback packets adapted to the heterogeneous environment after handover, it might increase sending rate too large and negatively impacts the targeted network. In this paper, we therefore propose a ACK management method that can reduce unnecessary rate reduction, and furthermore, we also propose a continuous ACK management method and a packet loss rate notification method that can adequately applied to the heterogeneous environment after handover.

Keyword TFRC, MIP, handover

1. はじめに

近年、インターネットの高速化に伴い、テレビ会議やストリーミングといった、リアルタイム性を必要とするアプリケーションが急速に普及しつつある。これらのアプリケーションは主に、トランスポート層プロトコルとして UDP を用いている。しかし、UDP は単にデータを転送するためのプロトコルであり、ネットワークの輻輳に対する制御を行っていない。TCP と UDP との混在環境では、帯域制御を行っている TCP のトラフィックが UDP によって阻害され、場合によっては輻輳崩壊を起こす恐れがある[1]。そのため UDP は、

その機能を別途実装する必要がある。

この輻輳制御を実現するために、RAP[2], TEAR[3], VTP[4], TFRC (TCP-Friendly Rate Control) [5], DCCP (Datagram Congestion Control Protocol) [6]といった、トランスポート層通信プロトコルが設計されている。これらのプロトコルは、送信者の送信レートをネットワークの通信状態に合わせ、TCP の AIMD アルゴリズムや平衡状態のレート式を用いることで、TCP との公平性を実現するという特徴を持っている。筆者らは、本検討では、トランスポート層通信プロトコルの中でも、RFC として標準化が行われている TFRC/DCCP に

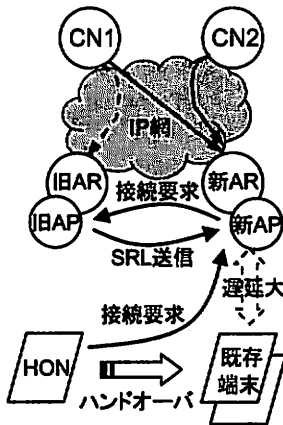


図 2.1 異種ネットワーク間ハンドオーバー

注目している。

一方、携帯電話などの移動通信においても、FMC(Fixed Mobile Convergence)やモバイル WiMAX の普及に伴う通信速度の向上により、リアルタイム系サービスの急増が予想される。移動通信では、利用者が移動するのに伴い、アクセスポイント(Access Point : AP)を切り替えるハンドオーバーが必要となる。このハンドオーバーを用い、次世代ネットワーク環境において、利用可能な通信帯域や往復遅延時間が大きく異なる異種無線ネットワークを統合することが考えられている。しかし、異種無線ネットワーク間で TFRC/DCCP を利用した場合、ハンドオーバー端末(HON)が移動前のネットワークの packets 廃棄率を元にレートを更新させるため、移動後のネットワークに悪影響を与える可能性がある。また、端末とハンドオーバー後の AP 間の遅延が大きい環境下においては、不要なタイムアウトやレート削減が発生する可能性がある。

本稿では、HON と新 AP 間のリンク遅延が大きい場合に着目し、HON が不要なレート削減とタイムアウトの発生を抑制することで、HON による移動後のネットワークへの影響を減少させる手法を提案する。

以下、本稿では、2 章では TFRC のレート制御について説明を行い、3 章では提案方式の説明を行う。続いてシミュレーションによる評価を 4 章で記述し、最後にまとめと今後の課題を述べる。

2. 研究背景

2.1. TFRC レート制御

TFRC のレシーバ側では、パケット廃棄率を計測し、これを TFRC ACK (Feedback Packets) としてセンダ側に通知する。このとき、センダ側では、送信レートを主に以下の式に基づき変更する。

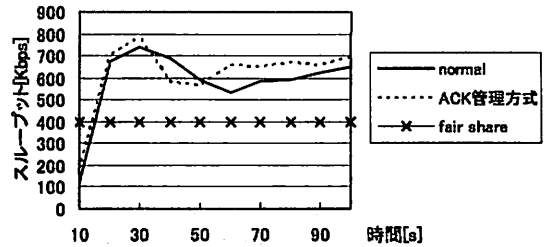


図 2.2 TFRC のハンドオーバー後のスループット

$$X = \frac{s}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3}} + t_{rto} (3 \sqrt{\frac{3bp}{8}} p (1 + 32p^2))} \quad (1)$$

ここで、 X は伝送レート、 s は TFRC のパケットサイズ、 t_{rto} はセンダ側が計算する再転送タイムアウト時間、 p はパケット廃棄率、 b はパケット毎に返される ACK 数である。

TFRC のレシーバ側では、TCP の WALI(Weight and Lifestyle Inventory)や EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)[7]などがパケット廃棄率の生成アルゴリズムとして用いられている。

これらのアルゴリズムでは、時間経過やパケット損失などによって定まる現在のパケット廃棄率を、過去のものと同平均化して、パケット廃棄率として算出している。この制御により、TCP の AIMD 型ウィンドウコントロール制御によるラウンドトリップ時間での急激なレート変動に比べ、TFRC は変動の少ないレート制御を実現している。

2.2. TFRC と異種ネットワーク間ハンドオーバー

本稿では図 2.1 に示すように、IEEE 802.16-2005 といった、広帯域で低遅延な AP から、携帯電話網といった、相対的に狭帯域で高遅延な AP へとハンドオーバーするような環境を想定している。このような異種ネットワーク間におけるハンドオーバー前後では、TFRC のレシーバは、ハンドオーバー前の情報を元にパケット廃棄率を算出してしまうため、ハンドオーバー後のネットワークでは、その情報が正しくないことがある。特にハンドオーバー前の使用回線帯域が、ハンドオーバー後に比べて大きい場合、HON のハンドオーバー後のスループットが他のフローと不公平になる可能性がある。

図 2.2 は、MIPv4 を用い、ハンドオーバー前の往復伝播遅延、回線帯域を 30[ms], 10[Mbps], ハンドオーバー後の往復伝播遅延、回線帯域を 300[ms], 2[Mbps], 移動後の既存 TCP フロー数を 4 本とした場合の、HON のスループットを示している。通常の TFRC、及び後述する ACK 管理方式[8]を用いた場合で、公平な帯域である 400[Kbps]を 200[Kbps]近く上回っており、その

分既存 TCP フローのスループットを押し下げる傾向があることが分かる。

また、HONとハンドオーバー後のAP間の遅延が大きい環境下では、ハンドオーバー手続き後、HONから送られるフィードバックパケットがCNに届くまでに時間がかかり、不要なレート削減やタイムアウトを引き起こす可能性がある。これはセンダの保持するRTTとタイムアウト時間が、ハンドオーバー後のHONとハンドオーバー後のAP間の遅延より小さい場合に生じる。もしタイムアウトが発生すると、センダではレートを半分に設定するため、不要なレート削減が起こる。

そのため、(1)CNにフィードバックパケットが届くまでの遅延を減らすことで、不要なレート減少を抑え(2)パケット廃棄率の情報をハンドオーバー後の環境に対応させ、既存TCPフローへの影響を軽減する、ことを可能にする手法を考える必要がある。

そこで、まずHONと新AP間のリンク遅延が大きい場合に、不必要なレート削減とタイムアウトの発生を抑制するACK管理手法を提案する。ただし、この方式だけでは移動先の既存フローを追い出す傾向があるため、さらにハンドオーバー後の環境に対応させる方法として、APでのACK管理を継続させる手法と、APからの情報に基づき、パケット廃棄率を更新させる手法を提案し、以下で説明する。

3. 提案方式

3.1. AP介在型ACK管理方式[8]

(1) ACK管理の手順

HONは、ハンドオーバー後の新APに対して、MIP(Mobile IP)やDHCPを用いて移動登録を行う際に、送信者のアドレスとポート番号を通知する。次に、MIPやSIPモビリティを用いてHONの移動登録が完了すると、送信者から移動先へのTFRCパケットの送信が開始される。これを新APがスヌープし、適切なフィードバック情報を生成し、HONの代わりにTFRC ACKを送信者に返送する。TFRC ACKを受信した送信者は、その情報に従って迅速にレートの更新を行う。このように、APがACK生成に関与することで、とりわけHONと新AP間のリンク遅延が大きい場合に、不必要なレート削減とタイムアウトの発生を抑制することができる。

(2) パケットの廃棄手順

HONは、ハンドオーバー後の新APに対して、ネットワーク内の自身宛ての滞留パケット量を通知する。新APは、自身のパケットバッファ残量を元にパケット廃棄率を算出して、ハンドオーバー端末リスト(HandOver Node List: HONL)を更新する。新AP内に入ったパケットはHONLに従って通常のパケットと移動直後のパ

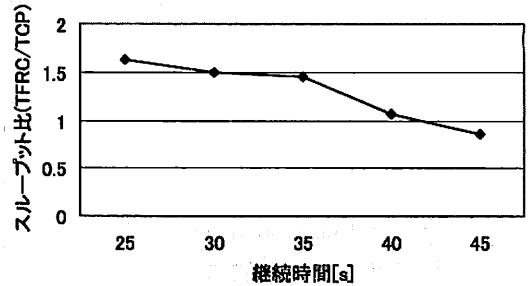


図 3.1 継続時間とスループット比

ケットに分類され、宛先がHONの場合、受信パケットはパケットドロップに送られ、設定されたパケット廃棄率に従って、ランダムに廃棄される。これによって移動直後、移動先ドメインにおける既存ノードへの影響を緩和することができる。

3.2. ACK管理継続方式

3.1によって、ハンドオーバー前後でHONと新AP間のリンク遅延が大きい場合にハンドオーバー後のHONが、その後正しいパケット廃棄率を元にしたTFRC ACKを生成できるとは限らないため、ハンドオーバー先のネットワークに悪影響を与える可能性がある。

そこで、APでのACK管理をある時間継続し、また同時に、TFRCレシーバから送信されるACKを廃棄する。これはセンダにおいて、ACK重複を避け、APによる適切な情報を持ったACKによって送信レートを計算させるためである。この動作を継続させることで、HONのパケット廃棄率の情報を徐々にハンドオーバー後の環境に対応させることができる。しかし、その動作を継続させる時間によっては、パケット廃棄率をハンドオーバー後の環境に十分適応できない場合がある。図3.1は、既存TCPフローを4本とし、ハンドオーバー前の回線帯域を10[Mbps]、ハンドオーバー後の回線帯域を2[Mbps]とし、これらの動作を25[s]から45[s]継続させた場合のTFRCとTCPフローの平均スループット比を表している。25[s]から35[s]までは、スループットが安定せず、TCPを押し下げる傾向がある。つまり、レシーバ側のパケット廃棄率の情報が、ハンドオーバー後の環境にきちんと適応できていないことが分かる。しかし40[s]から45[s]では、既存フローのスループットにほとんど影響を与えることなく、ほぼ公平な帯域使用を実現している。そこで後述するシミュレーション評価では、ACK管理の継続時間を40[s]として実験を行った。

3.3. パケット廃棄率更新方式

3.2では、APにおいてACK管理を一定時間継続し、

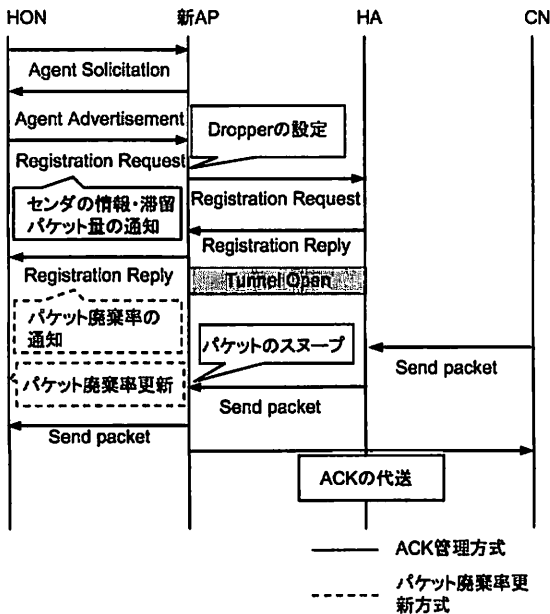


図 3.2 MIPv4 と提案手法の適用例

レシーバの packets 廃棄率の情報をハンドオーバー後の環境に対応させる手法を提案した。しかし、図 3.1 より、短い継続時間では十分にハンドオーバー後の環境に対応させることができないことがわかる。また、レシーバの packets 廃棄率が落ち着くまで AP における ACK 管理を継続すると、ACK 生成による AP の負担を大きくしてしまう可能性がある。

そこで新たに、ハンドオーバー手続きの中で、HON の packets 廃棄率を AP からの情報によって更新させ、すばやく新しい環境に適応させる packets 廃棄率後進方式を提案する。これにより AP への負荷を軽くし、よりスムーズにハンドオーバー後の環境に対応させることができる。

ハンドオーバー後の環境の packets 廃棄率は、図 2.1 の新 AP がスヌープした情報に基づいて作成する。この packets 廃棄率の情報は、新 AP から MN へとハンドオーバー手続きをする際に上乗せすれば良く、その他移動通信プロトコルにも応用が可能であると考えられる。これを AP 介在型 ACK 管理方式と組み合わせることにより、不必要なレート削減とタイムアウトの発生を抑制し、ハンドオーバー後の環境に対応させることが可能になる。

図 3.2 は、MIPv4 を用いた場合の、ハンドオーバー手続きと ACK 管理方式と packets 廃棄率更新方式を組み合わせた場合の適用例を表している。packets 廃棄率更新方式は、新 AP から MN への手続きである、Registration Reply メッセージを拡張することで、また ACK 管理方式は、MN から新 AP への手続きである、

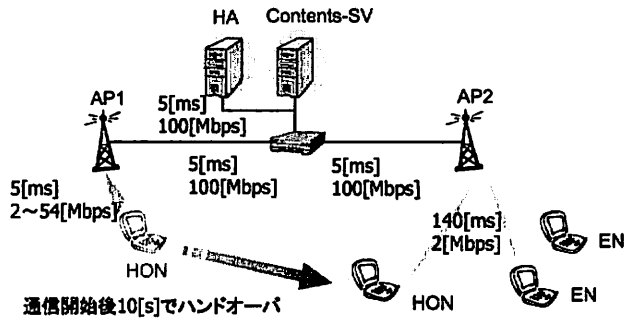


図 4.1.1 ネットワークモデル

Registration Request を拡張することで、適用可能である。

4. シミュレーション評価

本章では、通常の HON と、提案手法を加えた場合それぞれについての評価を行う。以下に示す結果は ns2[7]を用いて評価を行った。

4.1. 既存フローが存在しないときの評価

図 4.1.1 に示すネットワークモデルを用い、シミュレーションを行った。ネットワークパラメータは図 4.1.1 に示す通りで、ハンドオーバー前の往復伝播遅延時間は 30[ms]、ハンドオーバー後は 300[ms]となる。図 4.1.2, 4.1.3 では、1つの TFRC フローのみが存在する場合の、スループットを示す。図 4.1.2 はハンドオーバー前の回線帯域を 2[Mbps], 11[Mbps], 54[Mbps]と変化させた場合のスループット評価、図 4.1.3 はハンドオーバー前の回線帯域を 10[Mbps]とし、ハンドオーバー後の回線の packets 廃棄率を 10^{-5} から 10^{-1} まで変化させた場合のスループット評価である。ただし、通常の TFRC, ACK 管理方式, packets 廃棄率更新方式については、ハンドオーバー後 10[s]~30[s]間の、ACK 管理継続方式については、継続終了後 10[s]~30[s]間のスループットを計測している。また、ハンドオーバー後の新 AP が保持する情報の初期値として、回線帯域を 2[Mbps]、RTT を 300[ms]として設定した。

図 4.1.2 では、全体的に、ハンドオーバー前の帯域が大きくなるほど、ハンドオーバー後のスループットが大きくなっている。これより、HON がハンドオーバー前の packets 廃棄率の情報に影響を受けていることが考えられる。また、packets 廃棄率更新方式では、どの回線帯域でも、従来より良好なスループットを得ることができている。ただ ACK 管理継続方式では、従来よりもスループットが小さくなってしまふことがある。

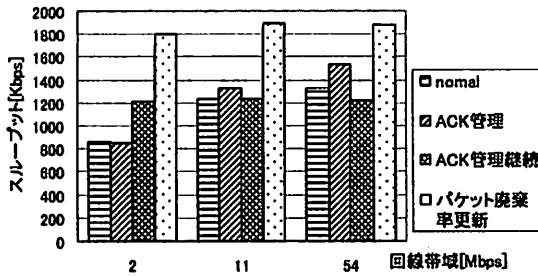


図 4.1.2 単フローの回線帯域とスループット

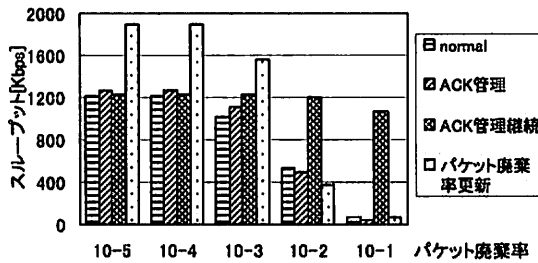


図 4.1.3 単フローのパケット廃棄率とスループット

これは、APが保持する情報の初期値によっては、パケットロスが起きる間隔を早め、ACK管理の継続後のスループットを大きく低下させることがあるためである。

図 4.1.3 では、パケット廃棄率 10^{-3} 程度までは、提案によってスループットが改善されていることが分かる。しかし、パケット廃棄率が大きくなりすぎると、TFRC 自体が帯域を有効に使うことができないため、スループットが頭打ちになる。このため、タイミングによっては、提案手法のほうが、利用帯域が小さくなる場合がある。例えば、パケット廃棄率が 10^{-2} のとき、式(1)に基づいて計算すると、TFRC が使用できるスループットは 326[Kbps]であり、使用可能帯域である 2[Mbps]を大きく下回る事となる。しかし ACK 管理継続方式では、一様に高いスループットを得ることができている。これは、一定時間 AP による、レシーバの情報に依存しない ACK によって送信レートが計算されるため、一時的にこのように優れた結果が得られたと考えられる。ただし、その後は TFRC が使用可能なスループットへと収束していく。

4.2. 既存フローが存在するときの評価

図 4.1.1 のネットワークモデルで、ハンドオーバー後の AP である AP2 に競合 TCP フローを付加した場合の評価を行う。図 4.2.1 はハンドオーバー前の回線帯域を 2[Mbps], 11[Mbps], 54[Mbps] と変化させた場合、図

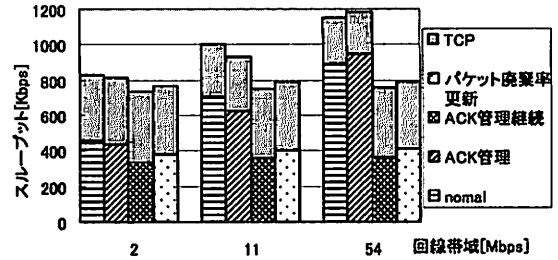


図 4.2.1 既存フロー存在時の回線帯域とスループット

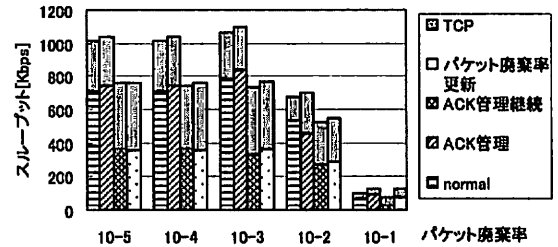


図 4.2.2 既存フロー存在時のパケット廃棄率とスループット

4.2.2 はハンドオーバー前の回線帯域を 10[Mbps] とし、ハンドオーバー後の回線のパケット廃棄率を 10^{-5} から 10^{-1} まで変化させた場合のスループット評価結果を示している。

図 4.2.1, 図 4.2.2 とともに、競合 TCP フロー数は 4 とする。また、図 4.2.3 は競合する TCP フローの本数を 4 本から 20 本まで変化させた場合のスループット評価である。ただし、4.1 と同様に、通常の TFRC, ACK 管理方式、パケット廃棄率更新方式については、ハンドオーバー後 10[s]~30[s]間の、ACK 管理継続方式については、継続終了後 10[s]~30[s]間のスループットを計測している。図 4.2.1 から、通常の TFRC, ACK 管理方式の場合、ハンドオーバー前の回線帯域が大きいほど、ハンドオーバー後に影響を残し、TCP のスループットを押し下げていることが分かる。一方 ACK 管理継続方式、パケット廃棄率更新方式では、ハンドオーバー前の回線帯域に関わらず、ほぼ公平な帯域使用を実現していることがわかる。

図 4.2.2 では、図 4.1.3 とほぼ同様にパケット廃棄率が大きくなるにつれて、使用帯域が小さくなっている。ACK 管理継続方式についても、AP が保持する回線情報が、既存フローから得られるものに基づいているため、既存フローと同様に、パケット廃棄率に反比例して使用帯域が小さくなっている。また、その中でも ACK 管理継続方式、パケット廃棄率更新方式について

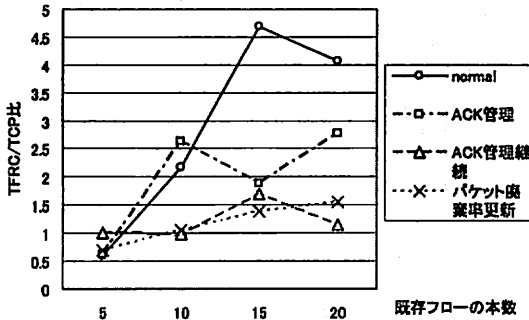


図 4.2.3 既存フロー数とスループット比

は、パケット廃棄率に関わらず、既存 TCP フローのスループットを押し下げる傾向があることがわかる。一方、ACK 管理継続方式、パケット廃棄率更新方式では、ほぼ公平な帯域使用ができています。図 4.2.3 では、既存フローが増えるにつれて、通常の TFRC と ACK 管理方式では、既存フローに与える影響が大きくなっていくことが分かる。一方、ACK 管理継続方式、パケット廃棄率更新方式では、他のフローに影響をあまり与えることなく、公平な帯域使用を実現している。

5. まとめと今後の課題

本稿では、AP の ACK 管理手法を元に、TFRC レシーバの保持する情報を、適切にハンドオーバー後の環境に対応させる手法を提案した。1つは AP での ACK 管理を継続し、もう1つはレシーバ側のパケット廃棄率を AP の情報を元に更新させるものである。本提案では、AP と HON、TFRC の拡張が必要となるが、送信端末、アプリケーションへの変更は不要である。それぞれについてシミュレーションを行い、パケット廃棄率、ハンドオーバー前の使用可能な回線帯域、既存 TCP フロー数に依らず、その有効性を示した。ただし、AP での ACK 管理を継続する方式では、既存フローが存在しない場合、適切に対応できない可能性があることが分かった。また、パケット廃棄率が高すぎる場合、TFRC のレート限界によって、十分に帯域を使用することが出来ないことが分かった。

今後の課題として、より実際の環境に近い条件での実験を行い、また、TCP についての ACK 管理手法の提案を行うことを考えている。

文 献

[1]S. Floyd and J. Kempf: "IAB Concerns Regarding Congestion Control for Voice Traffic in the Internet," 2003.

[2]D. E. Reza Rejaie, Mark Handley: "RAP: An End-to-end Rate-based Congestion Control Mechanism for Realtime Streams in the Internet," IEEE INFOCOM'99 (1998).

[3]I.Rhee, V.Ozdemir, and Y.Yi: "TEAR: TCP emulation at receivers - flow control for multimedia streaming," NCSU Technical Report, Apr.2000.

[4]G. Yang et al: "Smooth and efficient real-time video transport in the presence of wireless errors," ACM Trans. on Multimedia Computing, Commun. And Applications, pp.109-126, May.2006.

[5]M. Handley, S. Floyd, J. Padhey, and J.Widmer: "TCP Friendly Rate Control (TFRC): Protocol Specification," RFC 3448, 2003.

[6]E. Kohler, M. Handley and S. Floyd: "Designing DCCP: Congestion Control Without Reliability," Submitted to ICNP (2003).

[7]Barbera, M.,Licandro, F.,Lombardo, A. and Schembra, G.: "A fluid-flow analytical model of networked multimedia TFRC traffic sources," GLOBECOM '05. IEEE

[8]藤川知樹, 兼子和巳, 甲藤二郎, 泉川晴紀: "ハンドオーバーを考慮した TFRC 通信のための ACK 管理方式," 電子情報通信学会, B-7-62, Mar.2007

[9]"ns-2 network simulator(ver.2),"

<http://www.mash.cs.berkeley.edu/ns>