

無線 LAN ハンドオーバー時の予測情報を用いたレート制御方式の検討

田村 大輔[†] 宮本 剛^{††} 石原 進^{†††}

[†] 静岡大学大学院工学研究科

〒 432-8561 静岡県浜松市城北 3-5-1

^{††} 情報通信研究機構

〒 239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 3 番 4 号

^{†††} 静岡大学創造科学技術大学院

E-mail: [†]{tamura,ishihara}@ishilab.net, ^{††}miyamoto@nict.go.jp

あらまし 無線ネットワークにおいて、移動端末は遅延や帯域幅、パケットロス率などが異なる無線アクセスポイント間を相互にハンドオーバーする。マルチメディア通信のような使用帯域の大きい通信を行っている移動端末が空いている AP から混雑した AP へハンドオーバーした場合、利用可能帯域幅が急激に減少し、データ送信者がレート変更を行わない限りフレームロスが発生してしまう。さらに移動先アクセスポイントに先に接続している端末にも多大な影響を及ぼすと考えられる。そこで、筆者らは、ネットワーク主導でハンドオーバーを指示することができるネットワーク環境での利用を前提に、ハンドオーバー発生通知および移動先アクセスポイントでの利用可能帯域幅などの予測情報を用いたレート制御手法を提案している。本論文では、複数台の端末が無線チャネルを共有し、かつ各端末が個別にレート制御を行っている無線環境における予測情報を用いたレート制御手法の検討および評価を行う。キーワード 予測レート制御、ビデオストリーミング、無線 LAN、ハンドオーバー、QoS 制御

Study on Rate Control using prediction on handover in wireless LANs

Daisuke TAMURA[†], Goh MIYAMOTO^{††}, and Susumu ISHIHARA^{†††}

[†] Graduate School of Engineering, Shizuoka University

^{††} National Institute of Information and Communications Technology

^{†††} Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

E-mail: [†]{tamura,ishihara}@ishilab.net, ^{††}miyamoto@nict.go.jp

Abstract On wireless LAN, mobile nodes handover between access points where characteristics such as delay, bandwidth, and packet-loss rate are different. A mobile node that sending or receiving video stream that requires wide bandwidth handovers to a congested access point. The available bandwidth of the mobile node at the new access point will rapidly decrease. This cause that video frame losses at the receiver application and QoS is deterioration. We have proposed a scheme to control the application QoS of video streaming in mobile environments with help of a network triggered handover mechanism. In this paper, we study rate control schemes using predictions in wireless LANs.

Key words predictive rate control, video streaming, wireless LANs, handover, QoS control

1. はじめに

インターネットにおけるリアルタイムマルチメディア通信の普及はめざましいものがある。しかしネットワークは常に安定しているとは限らず、高品質な通信を実現するためには環境変化に応じて適切に QoS 制御を行う必要がある。例えば、ビデオストリーミングなどの蓄積型マルチメディアコンテンツでは、動画フレームの到着が再生時刻に間に合わなければ単位時間

あたりの再生フレーム数が減少し、動画再生品質が低下してしまうため、あらかじめ再生バッファに画像フレームを溜めておくことで対処している。しかし、バッファサイズを大きくすればするほどジッタに強くなる一方で、遅延が増大してしまう。双方向通信ではリアルタイム性が重要であり、遅延を小さくする必要がある。そのためバッファサイズを小さくせざるを得ず、通信環境の変動に弱くフレームロスが発生しやすい。

特に、無線ネットワークでは、移動端末は遅延、帯域幅、パ

ケットロス率などの異なる無線アクセスポイント (AP) 間を相互にハンドオーバーすることになり、ネットワーク環境の変動が大きく再生品質に多大な影響を及ぼすと考えられる。例えば、高速な無線 LAN を用いてビデオストリーミングを鑑賞している最中に、低速な 3G の AP へハンドオーバーしたとする。受信データの観測に基づくレート制御のみを用いる場合、ハンドオーバー後もしばらくはハンドオーバー前のレートを維持するため、ネットワーク上に受信側での再生に間に合わないパケットが溢れてしまう。その結果、フレーム落ちや再生停止が発生し、再生品質が著しく劣化する。無線 LAN においては、このような異種の無線 AP 間ハンドオーバーのみならず、同一の無線システムにおけるハンドオーバーであっても、同一 AP に接続している端末数、接続端末によるトラフィック量の違いなどによって利用可能帯域幅が変化することは容易に想像できる。例えば、空いている AP から混雑した AP へハンドオーバーした場合、利用可能帯域幅が極端に減少する。これは CSMA/CA などの MAC 制御を使用する無線 LAN の AP が提供する無線通信資源は、その AP に接続している端末により共有されるため、端末数の増加に伴い端末 1 台あたりのスループットが低下してしまうためである。そこで、ハンドオーバー発生時のような急激な利用可能帯域幅の変動に対応するためのレート制御機構が求められている。

筆者らは、ネットワーク主導でハンドオーバーを指示することができるネットワーク環境での利用を前提に、事前にハンドオーバー発生通知および移動後の利用可能帯域幅の予測値を含むシグナルを移動端末のアプリケーションに通知することで、ハンドオーバー直前にアプリケーション間でデータ送信レートの変更を行い、マルチメディア通信時のフレームロスの増加などの受信動画像の再生品質低下を回避する手法を提案している [1]。これまでに、ハンドオーバー後の利用可能帯域幅が一定な場合における提案手法の有効性を評価した。この評価では、CSMA/CA の無線 LAN メカニズムを無視し、安定した通信が実現可能な環境を想定していた。さらに [2] では帯域が保障されない無線環境における基礎的な評価を行った。

本稿では、無線環境におけるより詳細な評価を行い、その上で予測情報を移動端末のみならず先住端末にも適用し、より効果的なレート制御手法および基本レート制御の検討を行う。

2. 予測情報を用いた無線 LAN ハンドオーバー

従来のレート制御手法は、往復遅延時間や再生バッファ内フレーム数、パケットロス率などを受信端末が観測し、それらの観測値に基づいて送信レートの変更を行うものである。しかしこれらの手法では帯域に変動が生じた後にならなければ観測値に影響が出ないため、ハンドオーバー発生などに伴う利用可能帯域幅の急激な変化に対して対応が間に合わず、バッファ枯渇、フレームロスが起こる可能性がある。その結果、単位時間当たりの再生フレーム数の減少、再生停止といった動画像品質の低下を招く。また、このような急激な利用可能帯域の変化は、移動端末のみならず移動先 AP と通信を行っている端末 (先住端末) にも影響を及ぼすと考えられる。つまり使用帯域の大きい

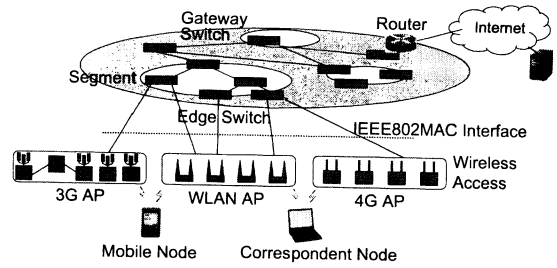


図 1 Mobile Ethernet
Fig.1 Mobile Ethernet

通信を行っている端末が不当に高いレートを維持したまま侵入してくることで、先住端末の通信を圧迫し遅延の増大やパケットロス等を招く恐れがある。

このような問題を解決する手法として、予測情報を活用したレート制御手法 (予測レート制御) を検討する。これはハンドオーバー発生を事前検知し、ハンドオーバー発生前に移動先 AP で利用可能なレートにあらかじめレート変更する手法である。本章では、[1] で提案した予測レート制御の概要について説明する。

2.1 想定環境

本手法は、ネットワーク主導でハンドオーバー処理を行うことができる環境での利用を想定している。この環境下において、ネットワーク上にある中継端末もしくは管理サーバは移動端末、および AP から定期的に接続端末数、電波強度などの無線資源の測定情報を定期的に収集している。移動端末がある AP (AP1) のカバーエリアから別の AP (AP2) のカバーエリアに近づいて行った場合、移動端末 - AP1 間の電波強度が次第に弱くなり、移動端末 - AP2 間の電波強度は強くなっていく。このような観測値から管理サーバがハンドオーバー発生を予知し、移動端末に対しハンドオーバーの発生、移動先 AP および移動タイミングを通知する。移動端末はその指示に基づきハンドオーバーを行う。

ネットワーク主導でハンドオーバー処理を行うことができるネットワーク環境の例として、情報通信研究機構 (NICT) が提案する Mobile Ethernet がある [3]。Mobile Ethernet は広域 Ethernet をベースとして、同一の IP ネットワークプレフィックスをもつ大規模な 2 層ネットワークを構成し、広範囲に渡る移動端末の移動透過性を第 2 層でのモビリティ制御により実現するものである。

2.2 予測レート制御機構

本手法では、移動端末はネットワーク上の管理サーバの指示に従ってハンドオーバーを行う。管理サーバは各端末から電波強度やトラフィック量などの無線資源の測定情報を収集することによって、移動先 AP およびタイミングを決定する。さらに、収集した情報からハンドオーバー後の利用可能帯域幅を予測し、移動端末に通知する。ハンドオーバーが行われない場合、アプリケーション層でのレート制御はネットワーク側からの情報を利用しないで、レート制御を行う。これを基本レート制御と呼

ぶ、ハンドオーバーが行われる時は、以下のようにしてレート制御が行われる。移動端末の MAC 層モジュールは管理サーバから 2 層シグナルを受信し、移動先 AP における利用可能帯域幅の予測通知に基づいてアプリケーション層でビデオストリーミングのデータ転送レートの調節を行う。この動作の後、管理サーバは移動端末にハンドオーバーするように指示する。これら一連の流れにより、移動端末は事前にハンドオーバー発生およびハンドオーバー後の通信レートを予測することができ、ネットワーク環境が変化する前にレート制御を行うことが可能となる。本手法を用いることによって、移動端末のみならず移動先 AP にいる先住端末にも効果が期待される。

本手法ではハンドオーバー後の利用可能帯域幅の正確な予測が重要となる。利用可能帯域幅の予測値を小さく見積もると無線資源を効果的に活用できない。逆に予測値を大きく見積もってしまうと、従来手法と同様に高いレートを維持したままハンドオーバーすることになり先住端末に多大な影響を及ぼす。したがって、予測値を適切に設定することが重要である。

以下、3 章で基本レート制御の手法について述べ、この基本レート制御を用いた場合の予測レート制御機構の効果ならびに予測情報を用いた場合の性能改善手法について検討を行う。

3. 観測値に基づくレート制御手法

予測情報を活用したレート制御手法の評価・検討を行う前に、本稿での実験で利用する基本的なレート制御の動作概要を述べる。本稿では基本的なレート制御手法として、再生バッファ内フレーム数に基づいて定期的にエンド・エンドの端末間によるレート制御を用いる。

まず、受信端末は送信端末から画像フレーム受信開始後、再生バッファ内に閾値 Q^* まで画像フレームを溜める。閾値までフレームが溜まったら受信端末はフレームレート f_p で再生を開始する。再生バッファ内フレーム数 Q のカウントの際には、フレームを構成するパケットの一部が欠落し到着してなくても、そのフレームが受信されたとみなす。ここで閾値とは再生開始時点での再生バッファ内フレーム数であり、レート制御を行う上での再生バッファ内フレーム数の基準となる値である。

例えば、 $Q(i)$ を i 番目のフレーム再生後の再生バッファ内フレーム数とすると、再生バッファの予測値は下式で与えられる。

$$Q(i+1) = \max \left\{ 0, Q(i) - 1 + \frac{f_r(i)}{f_p} \right\} \quad (1)$$

ここで、 $f_r(i)$ は次のフレームを再生するまでに受信した再生可能フレーム数とする。最適値は $f_r(i) = f_p$ の時、つまり再生フレーム数と受信フレーム数が等しく、 $Q(i+1) = Q(i) = Q^*$ となる時である。しかし、ハンドオーバーなどによって利用可能帯域が変動し、減少した場合には $f_r < f_p$ となりバッファ枯渇が発生してしまう。この場合には送信レートを変更する必要がある。

そこで、受信端末は再生バッファ内フレーム数を定期的に確認し、以下のように送信レートを計算し、送信端末に向けてレート変更要求および新たな送信レートを 64 バイトの UDP

パケットで通知する。また、送信レート変更は通常のレート制御では RTT 毎に行われるが、RTT 毎にレート変更を行った場合、頻繁に動画像レートを調整することになり動画像品質の変動が激しくユーザが感じるアプリケーションレベルの通信品質が極端に劣化する。これはレート制御が上位のアプリケーションに及ぼす影響を考慮していないためである。そこで動画像通信を行う際には、急激な変動を抑えるためにレート変更間隔を考慮する必要があり、本稿におけるシミュレーションでは 1 秒毎にレート変更を行うこととした。

受信端末が管理している送信レートを S とすると、新たに計算された送信レート S_{new} は以下のように求められる。

- **Case I:** $Q < Q^*$. 再生バッファ内フレーム数が閾値より少ない場合：次の再生バッファ内フレーム数の確認、およびレート変更までに不足分 $Q^* - Q$ を補うように、画像品質を下げ送信レートを減少させる。つまりレート変更間隔の間にこれまでは f_p で送信していたものを不足分だけ増加させる必要があるので $f_p + (Q^* - Q)$ 送る必要がある。現在のネットワーク状態(実効帯域)を B とすると、 $B = S/f_p \times (f_p - Q^* + Q)$ となる。1 フレームあたりのデータ量は $B/(f_p + Q^* - Q)$ とすれば良く、これを実現する送信レートは $S_{new} = B/(f_p + Q^* - Q) \times f_p$ となる。これを整理すると、新たな送信レートは以下の式で表される。

$$S_{new} = \max \left\{ S \frac{f_p - Q^* + Q}{f_p + Q^* - Q}, S_{min} \right\} \quad (2)$$

- **Case II:** $Q \geq Q^*$. 再生バッファ内フレーム数が閾値以上の場合：利用可能帯域に余裕があるため、送信レートを上昇させ、画質・再生品質を向上させる。 α は定期的に送信レートを増やすための値である。この値を小さくするとバッファが安定している際にはレート上昇が緩やかになり安定した通信が長時間可能であるが、ひとたびレートが減少してしまうと回復するまでに長い時間を要してしまう。逆に α を大きくすると短時間で輻輳状態に陥ってしまい、レート変動が激しくなる。したがって α をいくつに設定するかは慎重に決定しなければならない。

$$S_{new} = \min \{ S + \alpha, S_{max} \} \quad (3)$$

ただし、フレームを構成するパケットの一部が欠落しているなどの不完全な画像フレームが再生バッファ内に含まれる場合には、送信レートの上昇を行わず case1 におけるバッファ残量が閾値よりも 1 フレーム少ない ($Q^* - Q = 1$) 場合と同様に以下のようなレート制御を行うものとする。

$$S_{new} = \max \left\{ S \frac{f_p - 1}{f_p + 1}, S_{min} \right\} \quad (4)$$

シミュレーション評価では、 α , S_{max} , S_{min} , Q^* をそれぞれ 16kbps, 953kbps, 31kbps, 10frames とする。

送信端末は、受信端末からレート変更要求を受信後、即座にレート変更を実行し、要求レートを満たす最大のビットレート、もしくは選択できる最小のビットレートの動画像を送信する。

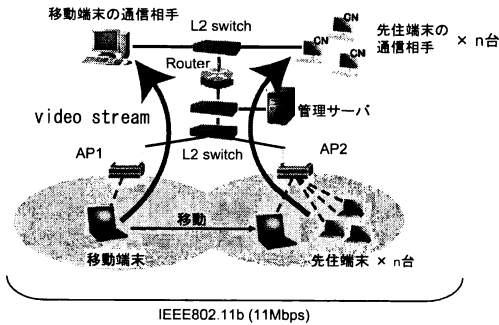


図2 ネットワーク構成
Fig.2 Network topology

4. シミュレーション評価・検討

予測情報を用いたレート制御手法をシミュレーションによって評価し、その上で検討を行う。ここでは、ハンドオーバーを行う端末のみならず、移動先 AP に先に接続済みの端末の通信に及ぼす影響を考慮する。

4.1 ネットワークモデル

シミュレータとして MIRAI-SF [4] を用いた。図 2 にシミュレーションで使用したネットワーク構成を示す。有線側にある端末に向けてビデオストリームを送信している移動端末が空いている AP (AP1) から混雑した AP (AP2) へハンドオーバーする。AP2 には複数台の端末が存在し、移動端末と同様に有線側にある端末に向けてビデオストリームを送信しているものとする。

4.2 ビデオデータ送信モデル

本論文での評価ではテレビ電話のような UDP によるビデオストリーミングアプリケーションをターゲットとする。シミュレーションでは、ビデオデータの送信モデルは MPEG のようなフレーム間予測符号を考慮せず、全てのフレームは motion JPEG のような I フレームとした。送信レートは 31kbps ~ 953kbps の範囲の 31 段階の値に変更可能であり、送信レートに応じて画像品質が変更できる可変ビットレートの動画画像を想定した。送信端末は受信端末から要求された送信レートを超えない最大のビットレートを選択し、各画像フレームデータを最大 1500 バイトの IPv6 の UDP パケットで送信する。送信レートの変化に伴う動画品質の変化は空間解像度を変化させることで対応し、フレームレートは 30frames/sec に固定した。

4.3 シミュレーション結果

予測情報を活用した場合と基本レート制御のみの場合における比較を行う。先住端末のシミュレーション開始時の送信レートは 600kbps、端末数は 10 台とした。移動端末はシミュレーション開始 37 秒後に AP1 から AP2 へとハンドオーバーする。

図 3 に 8 回シミュレーションを行ったときの先住端末の平均送信レートを示す。予測情報を用いる場合には予測値を 200kbps、レート変更時刻をハンドオーバー発生 0.5 秒前とした。グラフより移動端末のハンドオーバー直後において顕著に違いが見

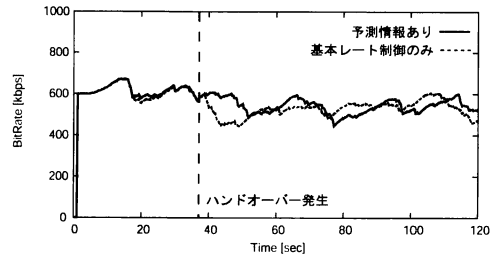


図3 先住端末の平均送信レート
Fig.3 Average send rate of preexistent nodes

られる。予測情報を用いた場合には移動前にレートを減少させているため先住端末に及ぼす影響が軽減され、その結果、送信レートの減少が抑制されていると考えられる。一方、基本レート制御のみであれば、移動端末は高いレートを維持したまま進入してくるため、先住端末に及ぼす影響が強く、送信レートが大きく減少してしまっている。また、ハンドオーバーによる影響から回復した後は、基本レート制御のみの場合も予測情報を用いた場合とほとんど差がなく、400kbps から 600kbps の間で推移している。

次に予測値、およびレート変更時刻による影響を評価する。図 4 に基本レート制御のみの場合、異なる予測値 (S_p)、レート変更時刻 (δt) を用いた場合の送信レート変化を示す。太線が移動端末、その他の線が先住端末である。 $\delta t = 0$ がハンドオーバーと同時刻とし、 $\delta > 0$ の場合にはハンドオーバー以前にレート変更していることを示す。さらに図 6 に先住端末の平均送信レートを示す。基本レート制御のみの場合には、移動端末が AP2 へとハンドオーバーしてくることで帯域が圧迫され、数秒間レートを維持した後、移動端末だけでなく先住端末の大部分の端末が最小値にまで減少している。一方、予測情報を用いた場合には、レート変更タイミングに関わらず、移動端末のハンドオーバー後も高いレートを維持し続けている先住端末も存在し、先住端末に与える影響を軽減できていると言える。ただし、レート変更時刻をハンドオーバー発生よりも遅くに設定した場合には予測情報を用いない時と同様にレート変更が間に合わず移動端末において連続的なレート減少が発生している。したがって、レート変更はハンドオーバー前に行われるべきである。図 5 に各端末における累積再生不能フレーム数を示す。再生不能フレームとは再生までに受信が間に合わなかった画像フレームのことである。予測情報を利用した場合ハンドオーバー直後の連続的なフレームロスの発生が避けられている。特に、移動端末のハンドオーバー直後のフレームロスが 80 フレーム近く発生していたのに対して予測情報を利用することで大幅に解消されている。先住端末においてもハンドオーバー発生時点でのフレームロス発生を半分以上にまで抑制することができている。シミュレーション全体の最終的な累積フレームロス数も予測情報を用いた場合 140 フレーム近くロスしてしまっている端末が存在するものの、全体的な平均では基本レート制御のみよりも予測情報を利用した方が少なく済んでいる。

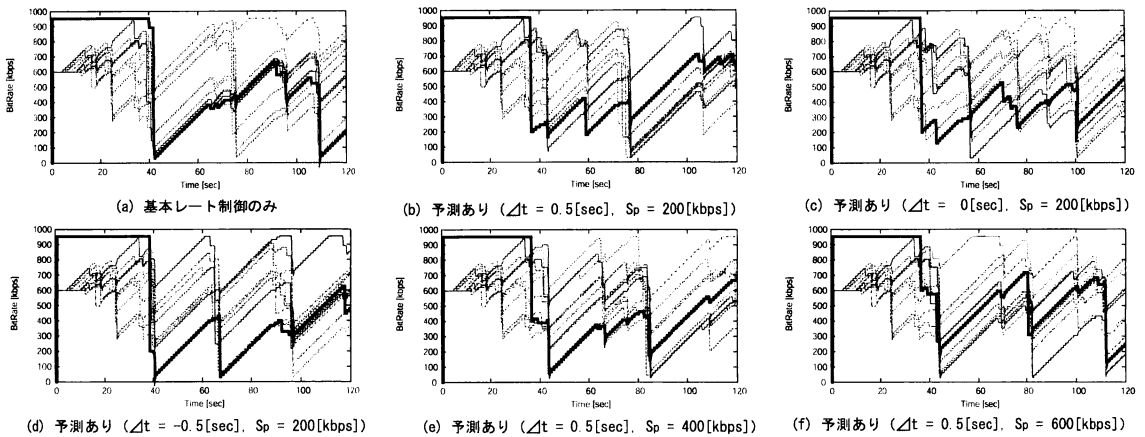


図 4 各端末の送信レートの変化 (太線=移動端末)

Fig. 4 Sending rate of each node (heavy line = mobile node)

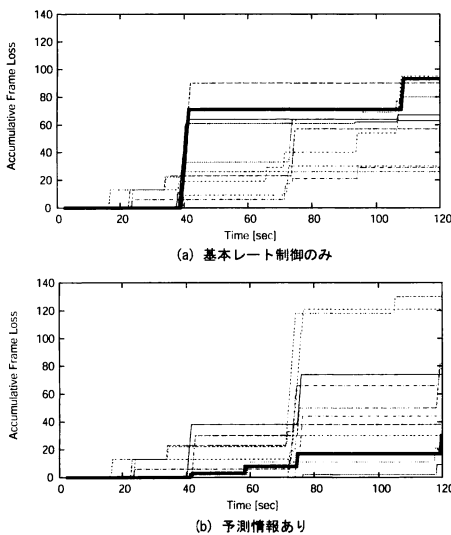


図 5 各端末における累積再生不能フレーム数
 Fig. 5 Accumulative Frame Loss of each node

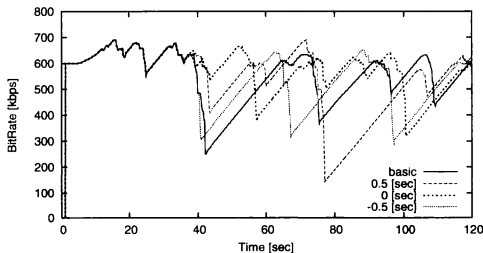


図 6 先住端末の平均送信レート

Fig. 6 Average send rate of preexistent nodes

4.4 検 討

4.4.1 予測情報の先住端末での利用

これまで用いていた予測レート制御では移動端末のみに予測

情報を通知し、ハンドオーバーに伴うレート制御の振る舞いを変化させてきた。しかし、端末がハンドオーバーすることを先住端末に対しても通知すればさらなる改善が見込めるはずである。そこで予測情報に基づきハンドオーバー発生の前後数秒間、移動端末および先住端末の送信レートの増加を一時停止させる。ただし移動端末に関してのみ、ハンドオーバー前のレート増加の停止は行わないものとする。これは、移動端末は移動前の AP において利用可能帯域幅が十分にあるためである。

図 7 に先住端末の平均送信レートの変化を示す。basic が基本レート制御のみの場合を示し、1[sec], 2[sec], 3[sec] は増加を停止させている時間を示す。つまり 1[sec] であれば、ハンドオーバー前後で合計 2 秒間送信レートを増加させないようにしていることを示す。停止させている時間が長いほどレート減少に転じるまでの時間が長くなるのが分かる。また、どの条件においてもハンドオーバー後の減少を抑制できていることが確認できる。この要因として 2 つの事柄が考えられる。

まず 1 つめとして、移動端末がハンドオーバーしてくる前の数秒間 (t_{stop}) 停止させることにより、移動先 AP において ($t_{stop} \times \alpha \times$ 先住端末数) だけ停止させなかった場合よりも帯域に余裕が生まれ、移動端末がスムーズにハンドオーバーできる環境が構築されたと考えられる。

2 つめに、ハンドオーバー後の送信レートの増加を数秒停止させることで、本来ならば増加するはずの先住端末の送信レート増加分だけ、帯域を確保することができた。この確保した帯域を送信レートを減少させている端末に割り当てられることで減少幅が小さくなっていると考えられる。

このように混雑した AP へのハンドオーバーを想定した場合には、ハンドオーバー前後数秒間、送信レート増加を停止させることは有効であると言える。ただし、移動先 AP が空いていた場合には帯域に余裕があるにもかかわらずレートを増加させないため、ハンドオーバー後、長時間レートを増加させないようだと帯域を有効活用できない可能性が出てくる。したがって増加を停止させる時間は慎重に設定しなければならない。

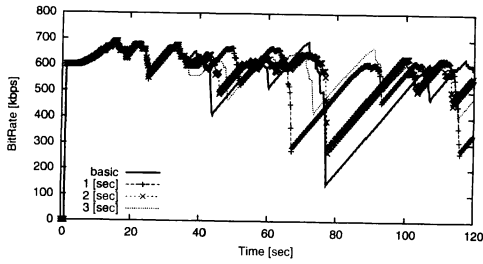


図 7 ハンドオーバー前後の送信レート増加を停止させた場合の先住端末の平均送信レートの変化
Fig.7 Average send rate of preexistent nodes with suspend of accession in handover

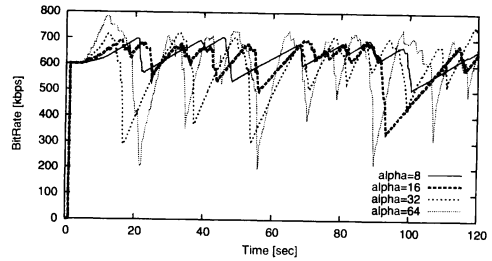


図 8 α の値を変更した時の送信レートの変化
Fig.8 Sending rate at using various alpha

4.4.2 基本レート制御におけるレート増加量

- レート増加量 α の選択

レート制御では利用可能帯域幅に応じて送信レートを増減させることでパケットロスが発生しにくい仕組みが施されている。例えば TCP の輻輳回避モードでは RTT 毎に 1 パケットずつ増加させており、これによって高レートを長時間維持できるように工夫されている。送信レート増加量の設定は帯域の有効活用およびスループットの向上の観点から最も重要な要素の 1 つであると言える。そこで、バッファ閾値以上であった場合の送信レートの増加量 α の値を決めるための指針を得るために α の値を変更しシミュレーションを行った。

先住端末の平均送信レートの変化を図 8 に示す。 α の値が大きいほど急激に増加していき、輻輳に陥りやすいものの回復が早い。逆に α の値が小さい場合には高レートを長時間維持することが可能であるが一度減少してしまうと、回復に時間を要する。また、 α の値が大きいと輻輳状態に陥ったときの送信レートの減少幅が大きい。これは、 α が小さい場合であれば輻輳の初期段階にレート減少へと遷移することが可能であるため減少幅は小さくて済むものの、 α が大きいと増加が急激なために深い輻輳状態に陥り、減少幅が大きくなってしまふと考えられる。ただし、 α の値が大きいと常に減少幅が大きくなるとは限らない。これは全ての端末が高い送信レートであった場合には輻輳を解消するのに多くの時間を要するが、各端末の送信レートにバラつきがあった場合には、輻輳を解消する時間は少なくとも済む。その場合には、送信レートの減少幅は小さく留まる。

また、 α の値に関係なく、通信開始後、初期の輻輳における増減の周期・幅がその後も続いている。したがって振幅は通信開始後、初期段階である程度決まることが分かる。これは、多くの端末が一斉に減少し始めると減少幅が大きく、輻輳段階を抜けると今度は一斉に増加に転じるため、周期が同じになってしまうためと考えられる。

- ハンドオーバー時の α の変更

全ての受信端末のバッファ残量が閾値以上のとき、増加量の総和 (β) は $\beta = \alpha \times$ 接続端末数 によって計算されるため、増加量を固定にすると AP に接続している端末が多いほど AP にかかる負荷が急激に増加し、早く輻輳状態に陥ってしまう。そこで輻輳回避モードを長時間維持することを目的に、 α の値を

接続端末数によって変化させることを考える。過去の接続端末数を n_{old} 、新しい接続端末数を n_{new} とし、以下の式に従って各端末の増加量を決定する。

$$\alpha_{new} = \alpha_{old} \times \frac{n_{old}}{n_{new}} \quad (5)$$

このように設定することで、AP に接続している端末数に依存することなく、送信レートの増加量の総和の最大値が制限される。そのため、接続端末数が急増したとしても、単位時間あたりの増加量の総和は増えず、増加量の総和を制御することが可能となる。これらを確認するためシミュレーションを行い、各端末に対し、各々 α だけ増加させる場合に比べ、単位時間あたりの増加量が小さいことが確認できた。この手法は AP に接続している端末数の増減が激しい場合により効果的に働くと考えられる。

5. ま と め

本論文では、AP に接続している端末数や転送レート、AP の帯域幅などから得られる予測情報を活用することで、混雑した AP へハンドオーバーする場合のような無線 LAN ハンドオーバーにおける利用可能帯域の急激な変動に対処することが可能なレート制御手法の評価を行った。これにより、予測情報を用いることで動画再生品質劣化を抑制することが確認でき、再生不能フレーム数やバッファ内フレーム数においても改善が見られた。さらに、先住端末にも予測情報を通知することで、ハンドオーバー直後の品質劣化をより抑制することが可能であることが確認できた。今後、フレーム間予測符号化など、より現実的なビデオストリームの適用や双方向通信などを考慮していく必要がある。

文 献

- [1] S. Ishihara, K. Koyama, G. Miyamoto, M. Kuroda, "Predictive rate control for realtime video streaming with network triggered handover," in proc. of WCNC2005, NET-06-3, 2005-3.
- [2] 石原進, 田村大輔, 宮本剛, "無線 LAN ハンドオーバーにおけるビデオストリーム予測レート制御の効果," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 105, no. 628, pp. 97-102, March 2006.
- [3] M. Kuroda, M. Inoue, A. Okubo, T. Sakakura, K. Shimizu, F. Adachi, "Scalable Mobile Ethernet and Fast Vertical Handover," in proc. of IEEE WCNC2004, A27-3, 2004.
- [4] MIRAI-SF Simulator, <http://mirai-sf.go.nict.go.jp/index.html>