

# IEEE802.11b 屋外無線システムを用いたストリーミング配信における動的レート制御手法の評価

## An Evaluation of a Dynamic Rate Control Scheme for Video Streaming on IEEE802.11b Inter-Building Wireless Network

高橋 雄一†      杉本 武之†      山口 実靖‡      浅谷 耕一‡  
 Yuichi TAKAHASHI   Takeyuki SUGIMOTO   Saneyasu YAMAGUCHI   Koichi ASATANI

### 1. はじめに

無線 LAN において用いられている 2.4GHz 帯は、ISM 機器や Bluetooth, アマチュア無線等にも利用されている。そのため、それらの機器に起因する電波干渉により無線 LAN においてパケットロス、遅延やジッタが生じることがある[1], [2]。特にストリーミング配信のようなアプリケーションの通信を行う場合は、パケットロスによる映像品質の劣化が発生すると考えられる。以上のことから、屋外無線のように実効帯域が変動する環境下においてパケットロス等による映像品質劣化を抑え高品質なストリーミング配信を行うためには、伝送路の状態に応じて送信データ量の制御を動的に行うことが重要である。

そこで我々は実効帯域が変動する環境下で良好な映像を配信することを目的として、映像配信の動的送信階層数制御手法を提案してきた[3]。

本稿では、工学院大学新宿キャンパス(以下、工学院大)ー早稲田大学大久保キャンパス 55 号館 (以下、早大) との間に構築した IEEE802.11b 準拠 2.4GHz 帯屋外無線システムを用いて、映像配信実験を行い提案手法の有効性を検証する。

### 2. 屋外無線システムにおける映像配信実験

#### 2.1 屋外無線システムの実効帯域変動

屋外無線システムは、工学院大と早大との間を IEEE802.11b 準拠 2.4GHz 無線ブリッジによって接続している。工学院大、早大の直線距離は約 2.0km である。図 1 に屋外無線システムの構成を示す。屋外無線システムを用いて実効帯域の測定を行った。実験結果を図 2 に示す。

実験結果より屋外無線システムの実効帯域は最大で約 5 Mbps であり、約 2~5Mbps の間で時間的に変動することが確認された。

#### 2.2 符号化方式

映像配信には階層間独立スケーラブル符号化方式[4]を使用する。階層間独立スケーラブル符号化は動画を複数の階層に分割して符号化する手法であり、階層間に依存関係が存在しない特徴を持つ。各階層間に依存関係が存在しないため、いずれかの階層が損失しても受信した階層の情報はすべて復号することが可能である。また受信した階層数が多いほど映像品質は良質になる。

送信映像を 5 階層に階層化され、送信階層数制御時における送信階層数は最大で 5 階層、最小で 1 階層となる。

#### 2.3 送信階層数固定での映像配信実験

屋外無線システムを用いて、送信階層数固定での映像配信実験を行った。送信階層数を固定した場合の最大送信ビットレート、最小送信ビットレート、平均ビットレートを表 1 に示す。送信階層数を 1~3 に固定した場合の平均パケットロス率、動画像平均送受信ビットレートを表 2 に示す。

実験結果から、送信階層数を 1 階層固定にして映像配信を行うと、パケットロスを発生させずに送受信を行えることがわかる。送信階層数を 2 階層固定もしくは 3 階層固定にして映像配信を行うとパケットロスが発生していることがわかる。これは無線リンク上の実効帯域の減少時に、実効帯域よりも送信ビットレートが高い状況にあるためである。

#### 2.4 送信階層数固定の映像配信の問題点

屋外無線システムの最大実効帯域に近いビットレートの送信階層数で映像配信を行うほど、実効帯域が減少しパケットロス率は増加する。また屋外無線システムは実効帯域が約 2~5Mbps であることから平均送信ビットレートが 1.4Mbps の 1 階層固定の映像配信ではパケットロスは発生していない。しかし 1 階層固定では屋外無線システムの実効帯域に空きがある。

以上のことから実効帯域が変動する環境下における送信階層数固定の映像配信では、送信ビットレートが実効帯域に比べ高い場合パケットロスにより映像品質劣化が生じ、1 階層固定の映像配信では実効帯域を効果的に使用できないことが分かる。したがって、実効帯域が変動する環境下において実効帯域を効果的に使用するためには送信レートの制御が重要であると考えられる。

### 3. 動的送信階層数制御手法の提案

#### 3.1 実効帯域と ICMP echo パケット成功率, RTT の関係

実効帯域と、ICMP echo パケット成功率(以下、PingSR)および RTT の関係について調査するために実験を行った。実験結果を図 3 に示す。

実験結果より受信レートが大幅に減少した時 PingSR は減少し、平均 RTT(以下、RTT<sub>avr</sub>)値は上昇していることがわかる。提案手法においては、実効帯域の変動を把握する手段として PingSR と RTT を使用する。

#### 3.2 制御システム

屋外無線システムにおける映像配信システムの構成を図 4 に示す。

階層符号化した映像ソースをコントローラの受信スレッドに送る。受信スレッドから送信スレッドにはコント

†工学院大学大学院

‡工学院大学

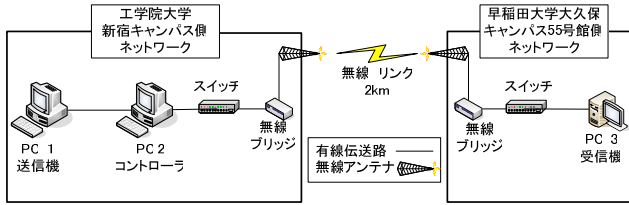


図1 実験構成

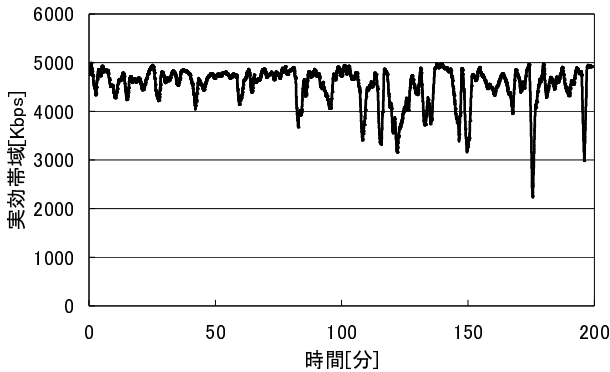


図2 実効帯域の変動

表1 最小, 最大, 平均送信ビットレート

送信階層数	最小送信レート [Mbps]	最大送信レート [Mbps]	平均送信レート [Mbps]
1	1	1.5	1.4
2	1.2	3.2	2.8
3	1.4	4.8	4.1
4	1.5	6.3	5.3
5	2.6	7.6	6.5

表2 無線システムにおける送信階層数固定時の送受信ビットレートおよび平均パケットロス率

	平均送信ビットレート [Mbps]	平均受信ビットレート [Mbps]	平均パケットロス率 [%]
送信階層数1階層固定	1.38	1.38	0.04
送信階層数2階層固定	2.72	2.53	7.13
送信階層数3階層固定	3.90	3.50	10.74

ローラが決定した送信階層数の映像データが送られる。送信スレッドは映像データを無線リンクに送信する。受信端末は映像データを復号する。

通信路モニタでは Ping を用いて受信端末に ICMP echo パケットを送信し、受信端末から返信される reply パケットを用いて無線リンクの状態を推測する。実効帯域以上にデータを送信していれば echo, reply パケットに遅延やパケットロスが起こる。よって、PingSR の低下や RTT 値の増加を観測することにより、実効帯域以上の送信を検出できる。逆に送信データが実効帯域に比べて少ない場合は、遅延、パケットロスが発生しにくくなる。そのため、PingSR は高くなり、RTT 値も減少する。

### 3.3 送信階層数決定アルゴリズム

送信階層数決定アルゴリズムは以下のとおりである。(3-1)式, (3-2)式を用いて PingSR と RTTavr を計算する。

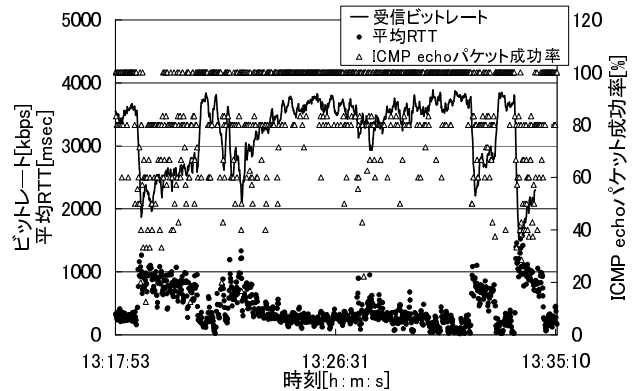


図3 実効帯域の変化に対する PingSR と RTTavr

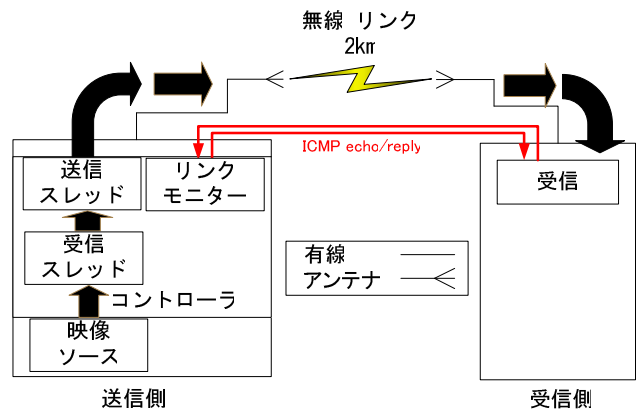


図4 屋外無線システムにおける動的階層数制御の構成

また送信階層数減少条件を(3-3)式に、送信階層数増加条件を(3-4)式, (3-5)式に示す。

$$PingSR = (Pings / Pingtotal) \quad (3-1)$$

$$RTTavr = RTTtotal / Pings \quad (3-2)$$

$$RTT > RTTthd \quad (3-3)$$

$$PingSR \geq Pingthu \quad (3-4)$$

$$RTTavr > RTTthu \quad (3-5)$$

Pings は Ping 成功回数, Pingtotal は PingSR および RTTavr 算出間隔までの ICMP echo 送信回数である。RTTtotal は PingSR および RTTavr 算出間隔までの RTT 値の合計であり、RTTthd は RTT が RTTthd を超えた場合に即時に送信階層数を減少させる閾値である。また Pingthu は PingSR と比較して送信階層数の増加判断に使用する閾値、RTTthu は RTTavr が RTTthu を超えた時に送信階層数の増加判断に使用する閾値とする。

RTT が RTTthd を上回った場合、実効帯域以上の階層数を送信していると判断して、送信階層数を減少させる。また PingSR が Pingthu 以上かつ RTTavr が RTTthd を下回る場合は実効帯域に十分な余裕があると判断して、送信階層数を増加させる。

### 3.4 閾値の決定

適切な閾値の調査のために、本実験環境における RTT と送受信ビットレートの関係性を測定した。測定結果を図 5, 6 に示す。

まず RTTthu について検討する。図 5 では、各プロット (1.0Mbps~5.0Mbps) が送信ビットレートを表している。横

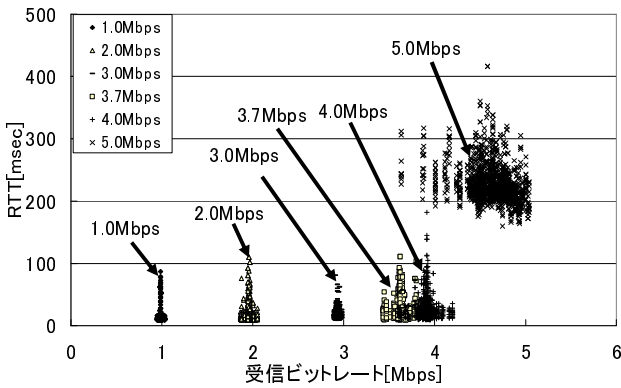


図5 RTTと受信ビットレートの関係

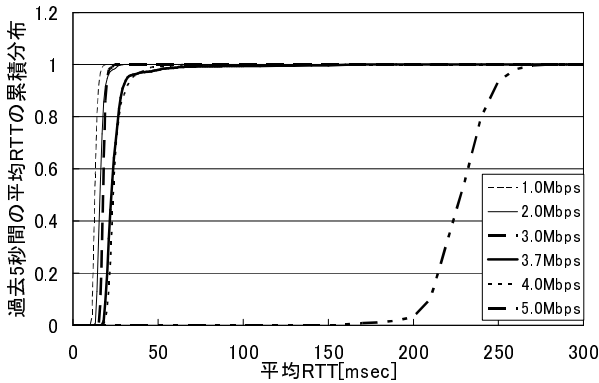


図6 RTTと受信ビットレートの関係(算出間隔5秒間)

軸が各送信ビットレートにおける受信ビットレートである。縦軸は、各測定時における RTT を表す。本測定値より送信階層数増加の閾値を決定する。表2より送信階層数を1階層増加させた時に増加するビットレートが1.3Mbps程度である。よって、実効帯域に1.3Mbps程度以上の余裕のある送信レートと、そうでない送信レートをRTTの値により判断する必要がある。実験環境では実効帯域は約5Mbpsであり、送信階層数を増加させるか否かの境界は3.7Mbps程度であると考えられる。図5においては送信レートと個々のRTT値の相関は強くないため、過去5秒間のRTT平均値と送信レートの相関を調査した。これが図6である。横軸が平均RTTであり、縦軸は各RTTが発生する確率の積分値である。横軸の値が30msの場合、縦軸はRTTが30ms以下である確率となる。測定結果よりRTT<sub>th</sub>は3.7Mbpsを含む20ms~30msが考えられ、本実験では25msとした。

次に、RTT<sub>th</sub>について検討する。図5より、送信レートが5.0Mbpsの場合、RTTはほぼ全て150ms以上である。また、送信ビットレートが5.0Mbpsなのに対し、受信ビットレートは5.0Mbps以下となっており、実効帯域以上に送信していることがわかる。逆に送信ビットレートが実効帯域より小さい4.0Mbpsにおいては、RTTのほぼ全てが150ms未満となっている。以上により、RTT<sub>th</sub>は150msとした。

最後に、PingSRとRTT<sub>avr</sub>の算出間隔を決定するため、RTT<sub>th</sub>が25ms、RTT<sub>th</sub>が150ms、算出間隔1秒間、3秒間、5秒間、10秒間、15秒間とした場合の送信階層数増加成功率を算出した。送信階層数増加成功率とは送信階

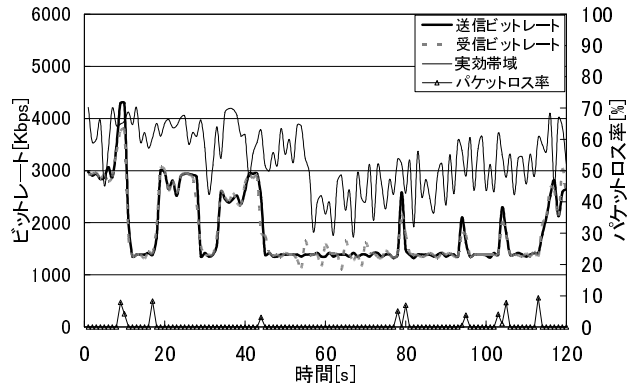


図7 提案手法における送受信ビットレート、パケットロス率

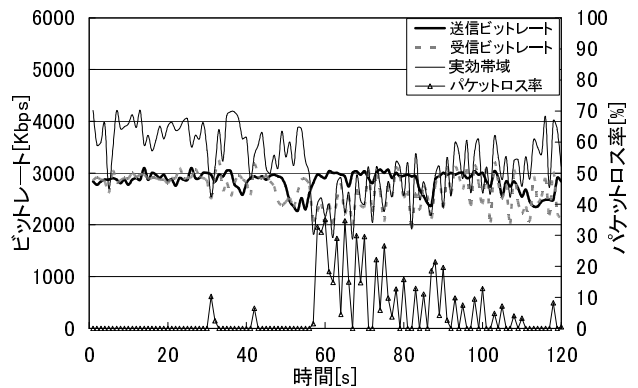


図8 送信階層数2階層固定における送受信ビットレート、パケットロス率

層数増加直後に送信階層数減少を行わなかった確率である。それぞれの送信階層数増加成功率は84.1%、89.0%、91.0%、91.5%、91.3%であった。算出間隔1秒~5秒においては、算出間隔の増加にともなう成功率の増加が確認され、算出間隔5秒以上においては成功率はほぼ一定となった。これより高い成功率が得られ、かつ実効帯域の変動に短時間で適応できる5秒を算出間隔とした。

#### 4. 動的階層数制御手法を用いた映像配信実験

##### 4.1 ネットワークエミュレータによる評価実験

ネットワークエミュレータを用いて屋外無線システムの実効帯域を再現し、提案手法および送信階層数固定手法での映像配信実験を行った。パラメータはPing<sub>th</sub>を100%、RTT<sub>th</sub>を25ms、RTT<sub>th</sub>を150ms、ICMP echoパケットを毎秒5回、PingSRとRTT<sub>avr</sub>の算出間隔を5秒間とした。提案手法による映像配信の動画像送受信ビットレート、パケットロス率の測定結果を図7に示す。同様に送信階層数2階層固定の映像配信における動画像平均送受信ビットレート、平均パケットロス率を図8に示す。実験結果より、提案手法は実効帯域の変動に適切に対応しており、その結果、実効帯域変動時のパケットロス率上昇を抑制しているのがわかる。それに対して送信階層数2階層固定の場合、実効帯域の変動に対して送信レートが対応できず、パケットロスが発生している。

提案手法、送信階層数固定手法の平均パケットロス率、

表 3 ネットワークエミュレータ実験における平均送受信ビットレートおよび平均パケットロス率

	平均送信 ビットレート[Mbps]	平均受信 ビットレート[Mbps]	平均パケット ロス率[%]
<b>動的送信階層数 制御手法</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>0.3</b>
送信階層数1階層固定	1.3	1.3	0.0
送信階層数2階層固定	2.7	2.5	7.4
送信階層数3階層固定	4.0	3.1	24.3

平均送受信ビットレートを表3に示す。表3より提案手法は送信階層数2階層固定、送信階層数3階層固定と比較して大幅にパケットロス率が減少している。また提案手法は、送信階層数1階層固定と比較して平均送受信ビットレートが0.6Mbps高いことがわかる。

#### 4.2 屋外無線システムにおける動的階層数制御手法を用いた映像配信実験

提案手法による映像配信を工学院大ー早大間屋外無線システムにて行った。使用した閾値は前節と同一である。提案手法を用いた映像配信における動画送受信ビットレート、パケットロス率の測定結果を図9に示す。また提案手法、送信階層数固定の平均パケットロス率、平均送受信ビットレートを表4に示す。

実験結果より、提案手法は送信階層数1階層固定と同様にほぼパケットロスが発生していないことが分かる。また、送受信ビットレートは2.5Mbpsであり、送信階層数1階層固定と比較して大幅に高いことも分かる。従って動的送信階層数制御手法は工学院大ー早大屋外無線システムの実効帯域変化に対して、適応することができたと考えられる。

#### 5. おわりに

本稿では、我々が提案している実効帯域の変化に適応し動的に送信階層数を制御する手法の閾値の調査を行った。そして、設定したパラメータを用いてエミュレータを用いた映像配信実験と、工学院大ー早大間屋外無線システムを用いた映像配信実験を行った。その結果、提案手法はパケットロス率をほぼ0%に保ったまま、送信階層数固定手法よりも高い送受信ビットレートを実現できることが確認された。

今後は提案手法の映像品質評価を行っていく予定である。

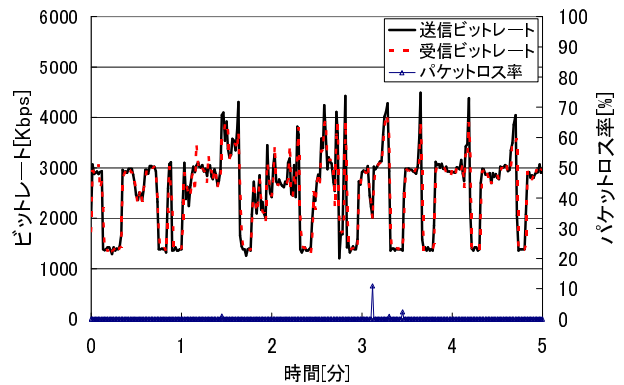


図 9 無線システムにおける動的送信階層数制御手法の送受信ビットレート、パケットロス率

表 4 無線システムにおける平均送受信ビットレート、平均パケットロス率

	平均送信 ビットレート[Mbps]	平均受信 ビットレート[Mbps]	平均パケット ロス率[%]
<b>動的送信階層数 制御手法</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>	<b>0.0</b>
送信階層数1階層固定	1.4	1.4	0.0
送信階層数2階層固定	2.7	2.5	7.4
送信階層数3階層固定	4.0	3.2	20

#### 参考文献

- [1]Axel Sikora, Voicu F. Groza, “Coexistence of IEEE802.15.4 with other Systems in the 2.4 GHz-ISM-Band”, pp1786-1791, IMTC 2005, May 2005.
- [2]Shinichi Miyamoto, Satoru Harada, Norihiko Morinaga, “Performance of 2.4GHz-band Wireless LAN System using Orthogonal Frequency Division Multiplexing Scheme under Microwave Oven Noise Environment”, pp157-162, IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, May 2005
- [3]高橋雄一, 杉本武之, 山口実靖, 浅谷耕一, “屋外無線における帯域変動耐性の高い動的レート制御手法”, “CQ20 07-32, July 2007
- [4]Nagayoshi, T. Hanamura, H. Kasai, H. Tominaga, “Scalable video transmission by separating and merging of MPEG-2 Bit stream”, Multimedia and Expo, pp 16- 19, ICME Aug. 20 01