

IEEE802.11 無線リンクにおける MPEG 映像情報の再送制御方式

石川 裕也[†] 池上 大介[†] 中里 秀則[†] 富永 英義[‡]

[†] 早稲田大学 大学院 国際情報通信学研究所 〒367-0035 埼玉県本庄市西富田大久保山 1011
E-mail: tyuya@tom.comm.waseda.ac.jp

あらまし IEEE802.11 シリーズをはじめとする無線 LAN 機器の低価格化などにより、様々な場所で無線ネットワークを利用する機会が増えている。また、近年のアクセス回線のブロードバンド化によって、利用されるコンテンツが MPEG をはじめとする動画像コンテンツへと変化してきている。本稿では、MPEG コンテンツを対象とし、その再生の特性を利用して再生品質を向上させるための、無線リンクにおける再送制御方式を提案し、その評価を行う。

キーワード IEEE 802.11, MPEG, 再送制御

A retransmission method of MPEG video sequence on IEEE 802.11 based wireless link

Yuya ISHIKAWA[†], Daisuke IKEGAMI[†], Hidenori NAKAZATO[†], and Hideyoshi TOMINAGA[‡]

[†] Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University
1011 Okuboyama Nishi-Tomida Honjo-shi Saitama 367-0035 Japan
E-mail: tyuya@tom.comm.waseda.ac.jp

Abstract Wireless network is prevalent due to low price wireless devices such as IEEE 802.11 compliant devices. Also due to broadband access networks, video contents such as MPEG are frequently transferred over the network. This paper, proposes a retransmission method on wireless link to improve the quality of playing videos, by using characteristics of MPEG video sequences.

Key words IEEE 802.11, MPEG, Retransmission method

1. はじめに

近年、ADSL や FTTH などアクセス網のブロードバンド化に伴い、従来の Web や電子メールといった比較的低容量なコンテンツに対する需要から、動画像をはじめとする大容量コンテンツに対する需要へと変化してきている。

またその一方で、IEEE802.11 a/b/g [1] をはじめとする無線 LAN 機器の低価格化などにより、一般家庭やオフィスなどで手軽に導入されるようになり、様々な環境で無線ネットワークの利用が盛んになってきている。

これらの背景を踏まえると、例えばインターネットを経由して受信した映像コンテンツの、リビングや寝室などでの視聴や、駅のホームで PDA や携帯電話などを持つユーザに対しての映像配信といった、ワイヤレスネットワーク環境下における映像配信サービスの実現が望まれている。

しかし、ワイヤレスネットワーク環境下では、有線のネットワークとは異なり、以下のような問題点がある。

- 有線リンクと比較してビットエラー率（パケットロス率）が高い

- 帯域、遅延の変動が大きい

これらの問題点は映像配信時に、その再生品質に影響を与える原因であり、解決しなくてはならない。そこで現在こうした問

題に対する改善手法として、エラーが発生しても受信側で復元させる為の方法 [2] [3] と、データ損失に対して再送を行う方法 [4] の 2 つが挙げられる。

FEC (Forward Error Correction) などを用いてエラーに対する耐性を高める方法は、少ないデータ量で損失を低減する事が可能であるが、エラーが発生しない場合でも冗長なデータが追加されてしまう。また、エラー訂正の場合にはあらかじめ定められた割合までの訂正しか行うことができず、刻々と変化するワイヤレスネットワーク環境にダイナミックにエラー訂正を適応させることは困難である。

一方で、再送を行う方法は、たとえ 1 ビットでもエラーが発生すると再送を行ってしまうが、エラーが発生した場合のみ再送を行う。この方法では、FEC のように余計な処理が必要なく、特に受信者側には特別な変更を施す必要がないという利点がある。受信者側に対して特別な変更を要求しない点は、すでに普及している無線 LAN を搭載した端末をそのまま使用できるという点で非常に大きな利点であると考えられる。また、エラー訂正とは異なり、再送発生時、つまりネットワークのエラーに応じた制御を行うことが可能である。

そこで、本研究ではエラーに対して、リンクレイヤでの再送を行う方法を採用し、映像配信に特化した再送制御方式の検討を行う。

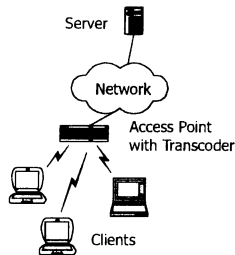


図1 想定ネットワーク環境

2. 想定環境

本研究で対象とするネットワーク環境を図1に示す。コンテンツ配信サーバからネットワークを介して、無線アクセスポイント下に存在するクライアントに対して配信を行う。

また、無線アクセスポイント下では、端末の性質上、解像度やビットレートを調整して配信するという状況が想定される。つまり、無線アクセスポイントにおいてトランスコーディングが行われることを想定できる。従って、本研究では、アプリケーションレイヤでの情報を使って下位レイヤの制御を行うことを想定する(図2)。また、本研究では、配信するコンテンツとしてMPEGのストリーミングサービスを対象とする。

3. 既存技術

3.1 MPEG 映像情報

MPEGの特徴であるフレーム間予測技術は、高効率な圧縮を実現している。それにより、各ピクチャ毎で再生時に互いに影響を及ぼしあうことになる。図3に示したように、Pピクチャは1つ前のI/Pピクチャの影響を受け、Bピクチャは挟まれているI/Pピクチャからの影響を受ける。また、当然の事ながら、映像シーケンス中のヘッダ情報に至っても同様で、ヘッダの損失によって、それ以降のデータが全く無駄になってしまう。そのため、同一のデータ損失であっても、損失する箇所によって再生時の品質に与える影響が変化する。

3.2 IEEE802.11における再送制御

現在最も普及している無線LANの規格であるIEEE802.11bは、そのチャンネル・アクセス制御方式にCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)を採用している。

また一方で、ビデオや音声といったリアルタイムアプリケー

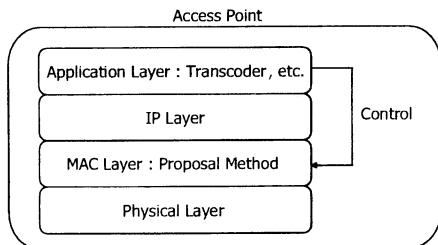


図2 提案システムレイヤ構成図

ションに対するQoS(Quality of Service)を実現するための技術として、CSMA/CAを拡張したIEEE802.11eという規格が標準化されている。

これらはどちらも無線リンクレイヤでの再送制御を行うものである。ここではCSMA/CAとIEEE802.11eについて述べる。

・CSMA/CA

IEEE802.11bの無線チャンネル・アクセス制御機能に用いられているのが、CSMA/CAである。このアクセス制御の機能を以下に挙げる。

- (1) ランダム・アクセスによる無線チャンネル競合時の送信機会の平等化
- (2) ランダム・アクセス時の隠れ端末対策(RTS/CTS(Request to Send/Clear to Send)方式)
- (3) ポーリングによる非競合アクセス
- (4) パケット同士の衝突発生時や、無線伝搬誤り時の再送制御

各端末は、データの送信時に通信中の端末が他にいないかどうかを調べる。そして、他の端末が通信中の場合にはIFS(Inter Frame Space)とランダムバックオフタイムをあわせた時間だけ待ち、再度他の端末の通信状況を調べる。これにより、フレームの衝突によるデータの損失を防止する仕組みがCSMA/CAである。また、このIFSにも優先度に応じてSIFS(Short IFS), PIFS(PCF IFS), DIFS(DCF IFS)があり、ACKなどの高優先度のデータの場合には最も短いSIFSを使用し、通常は低優先度のDIFSを使用する。また、バックオフタイム $T_{backoff}$ は、

$$T_{backoff} = \text{Random}() \times \text{time_slot} \quad (1)$$

で与えられ、 $\text{Random}()$ は乱数の発生範囲CW(Contention Window)を用いて、 $[0, CW]$ 範囲の様な分布から生成されるランダムな整数値となる。このCWは衝突などにより再送が発生する度に増加し、 n 回目の再送時のCWは以下の式で与えられる。

$$CW = (CW_{Min} + 1) \times 2^n - 1 \quad (2)$$

・IEEE 802.11e

802.11eの基本フレームワークを図5に示した。これは従来のCSMA/CA方式を改良した方法である。それぞれのトラフィックに対してプライオリティを設定し、そのプライオリティに応じてバックオフタイムを短くすることで、高プライオリティのデータの送信がされる。図中のQueueの下にあるSchedulerは、再送のタイミングが他のプライオリティと衝突してしまうVirtual Collisionsを防止するために、同時に再送が生じた場合には高プライオリティのデータを優先して送信する。

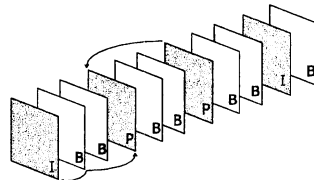


図3 各ピクチャの影響関係

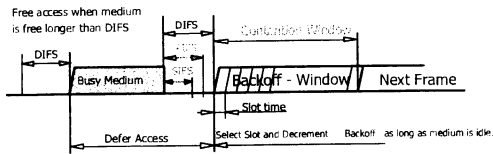


図4 CSMA/CA アルゴリズム

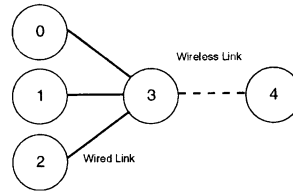


図7 シミュレーションモデル

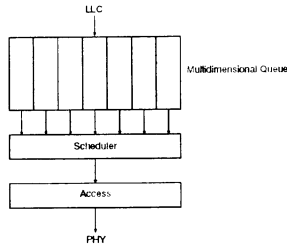


図5 IEEE 802.11e の QoS 基本フレームワーク

4. 提案方式

図6に示すように無線アクセスポイントに提案する機能を付加する。提案手法には以下の機能が含まれる。

- (1) 対象とするコンテンツのデータの分類
- (2) 各種データの重み付け
- (3) 重みに対応した再送制御パラメータの割り当て

送信者から受け取った映像コンテンツを、ヘッダ、ペイロードなどのデータの種類毎に分類し、再生品質に影響の大きいデータが優先的に送信されるように再送制御パラメータを付与する。

4.1 検討課題

提案手法実現のためには、大きく以下の2点について検討する必要がある。

■再送制御パラメータと通信品質の対応付け

再送制御を行うためのパラメータを設定し、そのパラメータと、通信品質との対応付けを行うことが必要とされる。この対応付けをもとにして、各種データ毎にそのデータが求める通信品質を提供するためのパラメータを設定する。

■映像再生品質を向上させる重み付け

配送されるコンテンツ内のデータの種別によって、再生に与える影響の大きさが異なる。今回対象としている MPEG の場合、ヘッダ情報が失われれば、コンテンツの再生を行うことができなくなってしまう。また、ピクチャ間の関係では I ピクチャ

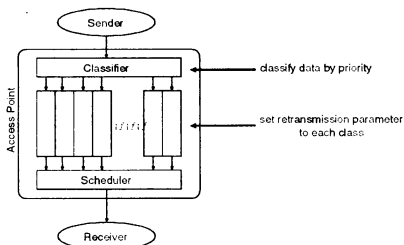


図6 システム構成概要

が欠落してしまうと、その I ピクチャに依存している P ピクチャ、B ピクチャに対して悪影響を及ぼすことになってしまう。そこで、こうした影響の及ぼす範囲を考慮して各データに重みを付け、その重みに応じて優先的な制御を行う事で再生品質の向上をはかる。

4.2 再送制御パラメータと通信品質

再送制御パラメータと通信品質の関係を導出するためのシミュレーションを行った。以降のシミュレーションには ns-2[5]を用い、変化させる再送制御パラメータは、再送のタイミングを決定する CWMin と CWMax とする。

4.2.1 シミュレーション

図7に示すモデルでシミュレーションを行った。シミュレーションは表1に示す3つのトラフィック混合パターンで行った。ここで、Best effort は CWMin=31, CWMax=1023, Video は CWMin=31, CWMax=63 とした。これは IEEE802.11e に則ったものである。

また、variable は CWMin, CWMax それぞれの値を変化させた時の影響を調べるために、CWMin=31 で固定し、CWMax=31,63,127,255,511,1023 と変化させたものと、CWMin=7.15,31.63,127,255,511 と変化させ、CWMax=1023 と固定させた2パターンで行った。さらにそれぞれの場合において、無線リンクでのパケットロスを30%、40%、50%と発生させ、すべて CBR トラフィックの場合、すべてポアソントラフィックの場合で行った。従って、計36パターンそれぞれにおいて、パケットの送信間隔と、ロス率を求め、30%と50%時の結果をグラフに示した。

4.2.2 シミュレーション結果

再送制御パラメータと、ロス率および遅延との関係を測定した。

■ロス率とパラメータ

ロス率とパラメータの関係を図8から図11に示した。いずれの場合でも Video トラフィックが含まれているものについてはロス率が高くなる傾向にあり、Video トラフィックの影響が他のトラフィックに対して悪影響を与えるという結果が得られた。

■遅延とパラメータ

それぞれのロス率、トラフィックパターンの場合の CW と遅延の関係を測定した。

表1 トラフィックセット

	Node 0	Node 1	Node 2
Set 1	Best effort	Video	variable
Set 2	Video	Video	variable
Set 3	Best effort	Best effort	variable

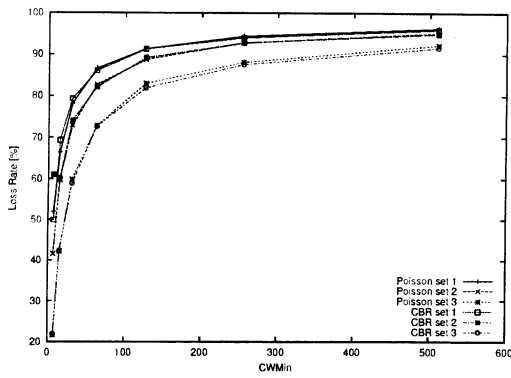


図 8 ロス率と CWMin (ロス率 30%)

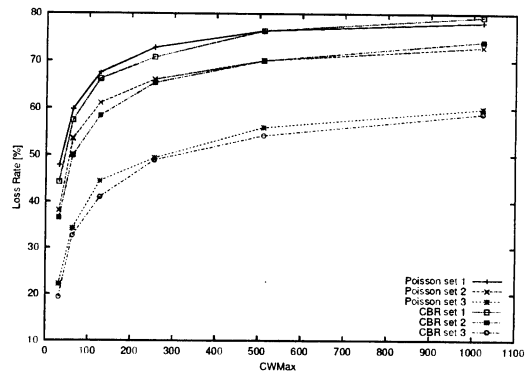


図 10 ロス率と CWMax (ロス率 30%)

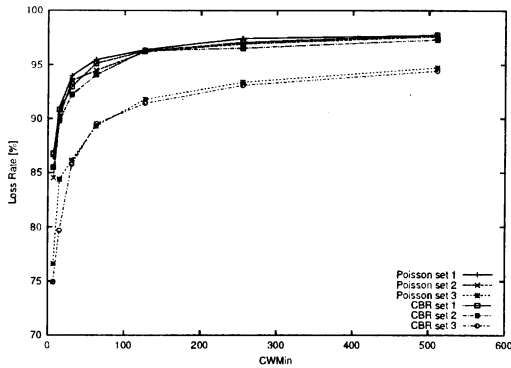


図 9 ロス率と CWMin (ロス率 50%)

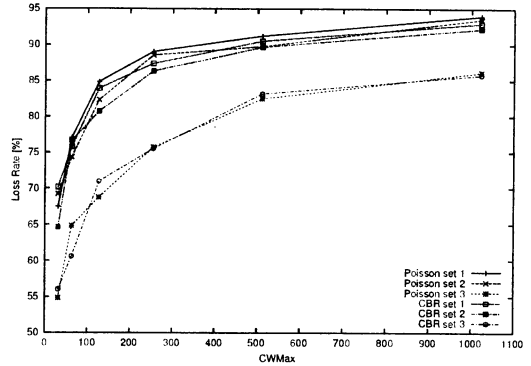


図 11 ロス率と CWMax (ロス率 50%)

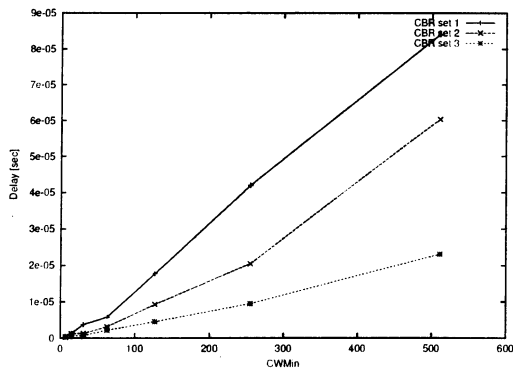


図 12 遅延と CWMin(ロス率 30%, Poisson)

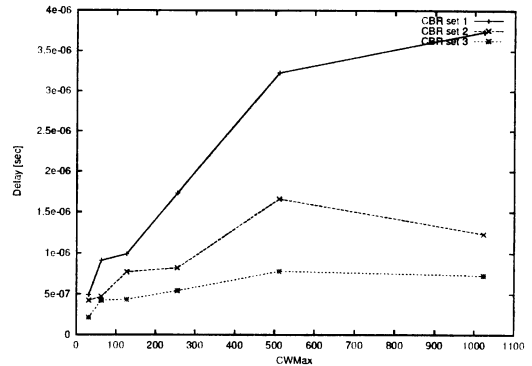


図 13 遅延と CWMax(ロス率 30%, Poisson)

ここで、許容される遅延について考えてみる。送信者からのパケット送信間隔を超えた遅延が発生してしまうと、受信者側での映像再生時にデータが間に合わない状況が発生し、映像のフレーム落ちや、最悪の場合再生が停止してしまう。従って、パケットの送信間隔が許容される遅延と考えられる。シミュレーションでは転送レートが 300Kbps、パケットサイズが 100byte となっているので、到着間隔は 0.0026[sec] となる。

この値を元にして測定結果 (図 12, 図 13) を見ると、トラフィックがポアソンの場合は遅延が 0.0026[sec] 以下になってい

るため、遅延についての影響はほとんど無いものと考えられる。一方で、トラフィックが CBR の場合には、一部で遅延が大きくなった。これは、トラフィックの性質上、送信時に同じタイミングで衝突する可能性が高いことがその理由であると考えられる。

4.2.3 再送制御パラメータと通信品質の定式化

上記のシミュレーションで得られた再送制御パラメータ CWMax とロス率の関係を関数によって近似した。再送制御パラメータ $cwmax$ で得られるロス率 $f(cwmax)$ は式 3 の様になる。

$$f(cwmax) = a \times \log_e(cwmax) + b \quad (3)$$

式3のaとbの値を表2に示した。ここでのbはベースとなるロス率に影響されるため、パラメータと品質を対応づける式の性質にはaが大きく影響する。

4.2.4 考察

ロス率については、無線リンク上でのロス率による全体的なシフトがあるものの、パラメータとロス率の関係、つまりグラフの傾向についてはいずれの場合でもほぼ同様であることがわかった。ただし、CWMinとロス率の関係では、CWMinが比較的小さな段階でロス率の飽和が発生するため、ロス率に対してあまり大きな変化を加えられないと考えられる。従って、ロス率については、主にCWMaxを変化させることで差別化を図っていくものとする。

一方、遅延については、ほとんどの場合で許容範囲内に収まっている。従って、遅延を考慮したパラメータ割り当ては基本的に行わない方針を採用する。しかし、許容される遅延を超えた遅延が発生する場合も十分に考えられるため、そうした場合での対応を考える必要がある。

4.3 重みの定義

MPEG-TS(Transport Stream)を前提としてデータの種類を分類すると、大きくヘッダとペイロードに分けられる。

ペイロードについて考えた時にさらにピクチャタイプで分類することができる。そこで、ピクチャタイプ毎のデータサイズを L_I, L_P, L_B とし、それぞれのピクチャタイプが影響を与える範囲のデータサイズを $L_{I-I}, L_{P-P}, L_{B-B}$ とすると、それぞれの重み W_I, W_P, W_B を

$$W_I = \frac{L_{I-I}}{L_I}, W_P = \frac{L_{P-P}}{L_P}, W_B = \frac{L_{B-B}}{L_B}$$

と定義し、大きい値ほど重みが増すものとする。

一方でヘッダ情報については、同様の計算を行えば自然と重みが大きくなるが、ヘッダ自身のデータ量が小さいため、本システムの分類の段階ではわざわざ計算することなく、ロス率を低減する再送制御パラメータ割り当てを行うものとする。システム中のデータ分類部分(Classifier)における制御フローを図14に示した。

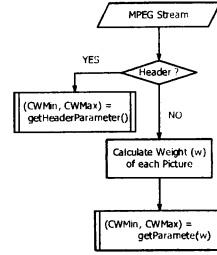


図14 Classifier制御フロー

4.4 重みとパラメータの対応付け

前出の重みを実際の再送制御パラメータに割り当てる。ここで、それぞれのピクチャの重みを W_I, W_P, W_B とし、それぞれの設定されるべきロス率を P_I, P_P, P_B としたとき、重みとロス率の積が一定になるようなロス率を設定するものとした。このとき、 W_B は1となるので、必然的に重みとロス率の積がBピクチャが設定されるべきロス率と等しくなることになる。従って以下に示す関係が成立する。なお、今回はBピクチャが設定されるべきロス率をCWMaxが511の場合とした。

$$P_{(CWMax=511)} = \text{loss rate} @ CWMax=511$$

$$W_I P_I = W_P P_P = W_B P_B = P_{(CWMax=511)}$$

ここでCWMax=511の時のロス率を80%として、テストに用いたシーケンスの実際の値(表2)に適用して考えると、

$$14 \times P_I = 2 \times P_P = 1 \times P_B = 0.8$$

$$P_I = 0.057, P_P = 0.4, P_B = 0.8$$

となる。ここで、n番目のピクチャの設定されるべきロス率を $P(n)$ とした時のパラメータ $CWMax(n)$ は式3より

$$CWMax(n) = e^{(P(n)-b)/a} \quad (9)$$

となる。

テストに用いたシーケンスの各ピクチャに対して再送制御パラメータを求めた結果を表4および図15に示した。上部の線になっている部分がBピクチャで、下部に分布している部分がPおよびIピクチャとなり、ピクチャタイプによる分布の特徴を確認することができる。

5. 提案方式使用時の通信品質の評価

実際に提案手法を用いてシミュレーションを行った。背景に300Kbpsのポアソントラフィックを1本流し、実際のコンテンツから算出した重みを元にしてCWMaxを割り当て、ワイヤレスリンクでのロス率が30%の場合と50%の場合の各CWMaxのロス率を求めた。具体的には、表3のCBRトラフィックを使用した場合の関数近似パラメータ(a=0.104, b=0.018; a=0.077, b=0.591)を式3に適用してCWMaxを算出した。グラフを図16、図17に示した。

グラフより、CWMaxの小さい場合、主にIピクチャのロス率が低く抑えられており、一方でBピクチャに割り当てられているCWMaxが大きい部分についてはロス率が高くなってお

表2 再送制御パラメータとロス率の関数近似パラメータ

		30%		40%		50%	
		a	b	a	b	a	b
CWMin	Poisson	0.1015	0.3886	0.0482	0.6988	0.0246	0.8393
		0.1222	0.2583	0.0567	0.6449	0.028	0.8181
	0.1643	-0.0205	0.0873	0.4294	0.0393	0.7186	
	0.1004	0.394	0.0517	0.6786	0.0245	0.8374	
CWMax	Poisson	0.0912	0.4153	0.0562	0.6451	0.0267	0.8211
		0.1622	-0.016	0.0898	0.421	0.0457	0.6813
	0.0846	0.2314	0.09	0.2954	0.0733	0.4588	
	0.0936	0.117	0.0892	0.272	0.0712	0.4603	
CWMax	Poisson	0.1059	-0.1062	0.1011	0.0743	0.0885	0.2622
		0.097	0.1535	0.0875	0.3085	0.066	0.792
	0.1044	0.0488	0.0915	0.2568	0.0747	0.7295	
	0.1105	-0.1486	0.1102	0.0232	0.0904	0.251	

表3 再送制御パラメータとロス率の関数近似パラメータ(平均)

		30%		40%		50%	
		a	b	a	b	a	b
CWMin	Poisson	0.129	0.209	0.0641	0.591	0.031	0.792
	CBR	0.118	0.264	0.0659	0.582	0.032	0.78
CWMax	Poisson	0.095	0.081	0.0934	0.214	0.078	0.394
	CBR	0.104	0.018	0.0964	0.196	0.077	0.591

表 4 Picture Type と割り当てられる再送制御パラメータ

Picture Type	Size [byte]	CWMax	CWMax for simulation
I	65906	1.18	31
B	28528	511	511
B	19546	511	511
P	52768	36.8	36
B	21660	511	511
B	25222	511	511
P	57482	54.0	36
B	24526	511	511
B	17958	511	511
P	55642	73.6	61
B	18852	511	511
B	16444	511	511
P	43392	86.1	86
B	12506	511	511
B	12930	511	511
P	41784	10.4	31
B	11786	511	511
B	15830	511	511
I	64514	1.24	31

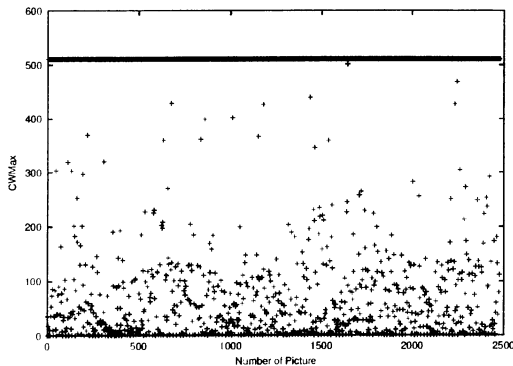


図 15 重み付けによる CWMax の分布

表 5 各ピクチャタイプ毎のペケットロス率 (%)

	I-Picture	P-Picture	B-Picture
30%	40.03	50.78	71.1
50%	69.15	75.78	93

り正しく制御できていることが確認できる。ただし、その中間となる範囲についてはロス率にばらつきが見られる。これは、それぞれの CWMax に割り当てられているペケット数が少ない為に発生していると考えられる。

さらに表 5 に、ピクチャタイプ毎のロス率を示した。映像の再生品質に影響が大きいピクチャタイプのロス率を抑えられる事を確認できた。

6. まとめと今後の課題

本研究では、ワイヤレスネットワーク環境下における映像配信時の再生品質を向上させるための再送制御方式の提案を行っ

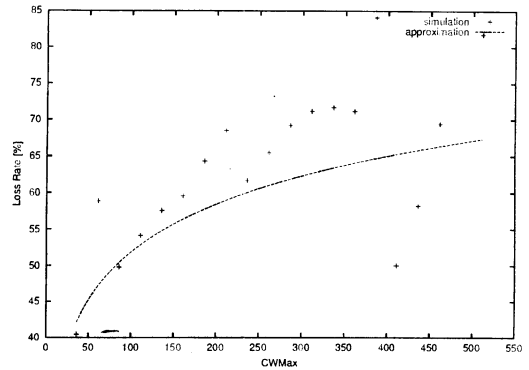


図 16 CWMax とロス率 (ロス率 30%)

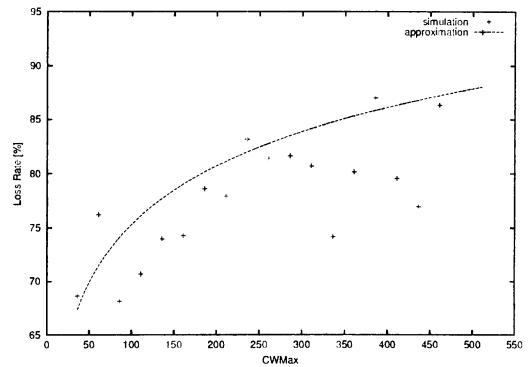


図 17 CWMax とロス率 (ロス率 50%)

た。本稿では、再送制御のパラメータと、遅延の対応関係をシミュレーションによって求め、MPEG シーケンス内でのデータ種類に応じた重み付け方法の提案を行い、実際のコンテンツに適用した場合の通信品質の測定を行った。

今後は、実際に再生される映像コンテンツの再生時の品質評価と、各データタイプに対してより差別化が図れる再送制御パラメータの対応付け手法についての検討を行っていく予定である。

文 献

- [1] International Standard ISO/IEC 8802-11:1999(E) ANSI/IEEE Std 802.11,1999 Edition
- [2] 古村 隆明, 藤川 賢治, 池田 克夫, "QoS 保証されたインターネット放送のための前方誤り訂正," 情報処理学会研究報告 2000-DPS-100, pp.81-85, November 2000.
- [3] Takuro Sato, "Wireless Video Transmission System," International Workshop on Wireless Ad-hoc Networks IWWAN'04, June, 2004
- [4] R. Kapoor, M. Cesana, M. Gerla, "Link Layer Support for Streaming MPEG Video over Wireless Links," Conference on Computer Communications and Networks ICCCN'03, Dallas, Texas, October 20-22, 2003.
- [5] NS network simulator version 2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [6] Sven Wietholter, Christian Hoene, "An IEEE 802.11e EDCF and CFB Simulation Model for ns-2," http://www.tkn.tu-berlin.de/research/802.11e_ns2/