

## 無線LANにおけるMPEGビデオ・音声のメディア同期 実験

著者	中西 博幸, 田坂 修二, 石橋 豊
雑誌名	電子情報通信学会論文誌. B-I, 通信I-情報通信システム・理論
巻	J80-B1
号	11
ページ	886-895
発行年	1997-11-20
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1476/00004523/">http://id.nii.ac.jp/1476/00004523/</a>

## 無線 LAN における MPEG ビデオ・音声のメディア同期実験

中西 博幸<sup>†\*</sup>      田坂 修二<sup>†</sup>      石橋 豊<sup>†</sup>

### An Experiment on Media Synchronization of MPEG Video and Voice in a Wireless LAN

Hiroyuki NAKANISHI<sup>†\*</sup>, Shuji TASAKA<sup>†</sup>, and Yutaka ISHIBASHI<sup>†</sup>

あらまし 本論文では、筆者らが以前に提案した無線 LAN における蓄積メディアの同期制御方式に対して、MPEG ビデオの構造を考慮した拡張を行う。この方式では、別々に蓄積されたビデオと音声の一つの複合ストリームにインタリーブし、メディアの種類を区別せずに同期制御を行う。更に、MPEG ビデオ伝送におけるトラヒック制御方式として、4 レベルの時間的解像度制御方式を扱う。これは、ネットワークの負荷状態に応じて、送信するビデオの時間的解像度を4段階に切り換えるものである。このような制御を行うためには、ふくそうを検出する何らかの方法が必要である。そのため、簡単なふくそう検出手法を提案する。これらの制御を無線 LAN 上に実装し、蓄積された MPEG ビデオと音声の伝送実験を行う。そして、同期制御の有無による性能比較を行い、拡張されたメディア同期方式の MPEG ビデオ伝送に対する有効性を確認する。また、メディア同期制御のみを行う場合と動的解像度制御を併用する場合との比較から、動的解像度制御によって高負荷時の同期品質を大幅に改善できることを明らかにする。

キーワード 無線 LAN, MPEG ビデオ, メディア同期制御, 動的解像度制御, 蓄積メディア

### 1. ま え が き

ATM に代表される高速デジタルネットワーク技術の発展に伴い、マルチメディア通信サービスへの要求が高まっている。これは、有線のみならず、無線ネットワークにおいても同様である。無線ネットワークの究極の目標は、いつでも、どこでも、だれとでも、あらゆるメディアによって通信が行えることである。このような無線マルチメディア通信の実現にあたっては、無線とマルチメディア双方にかかわる多くの技術が必要とする。例えば、マルチメディア伝送に適した無線アクセス方式や伝送方式、誤り制御方式等の検討は重要であり、これまでも多くの研究が行われてきた [1]~[3]。一方、よりマルチメディアに関連の深い技術としては、メディアの構造を維持するメディア同期制御が重要である。メディアの構造とは、例えば、一つのビデオストリーム内におけるフレーム間の時間関係（メディア内）や、音声とビデオ等、複数のスト

リーム間の時間関係（メディア間）を指す。このようなメディアの構造は、ネットワークを通じてメディアの伝送を行う際、遅延の揺らぎによって乱されてしまう。そこで、メディア出力先では、もとの時間関係が維持されるように出力時刻の調整を行う必要がある。これがメディア同期制御である。

筆者らは、文献 [4] において、無線ネットワークにおける蓄積ビデオ・音声のメディア同期制御方式を提案している。この方式では、ビデオと音声のストリームの一つの複合ストリームにインタリーブし、単一のトランスポートコネクションを用いて伝送する。このようなインタリーブによる方式では、ビデオと音声の順序が維持されるため、メディア間同期を容易に実現できる。また、単一コネクションによる伝送は実装が容易であり、処理能力の低い携帯端末との親和性が高い。筆者らは、この同期制御方式を無線 LAN 上に実装し、JPEG (Joint Photographic Coding Experts Group) で圧縮されたビデオと音声の伝送実験を行って、その有効性を確認している [4]。しかし、動画像圧縮符号化の国際標準としては MPEG (Moving Picture Experts Group) [5],[6] があり、今後提供されるであろう各種ビデオ伝送サービスにおいても、これが主流

<sup>†</sup> 名古屋工業大学工学部電気情報工学科, 名古屋市  
Department of Electrical and Computer Engineering, Nagoya  
Institute of Technology, Nagoya-shi, 466 Japan

\* 現在, 日本テレコム (株)

になると予想される。

MPEG ビデオと音声を一つのストリームにインターリーブする方式は MPEG/SYSTEM [6] でも採用されており、そこではメディア同期に必要なタイムスタンプ等に関する規定が述べられている。しかし、具体的な制御方法や同期外れからの回復方法については記述されていない。そこで、本論文では、上記の同期制御方式を MPEG の構造に合わせて拡張し、無線 LAN 上に実装する。そして、MPEG ビデオと音声の伝送実験を行い、MPEG ビデオ伝送に対する本方式の有効性を検証する。

一方、無線回線は小容量であるため、ビデオのような大量の情報をもつメディアの伝送時にはふくそうを生じやすいという問題もある。もしふくそうを生じてしまった場合には、極めて大きな遅延が発生し、メディア同期制御による時間関係の回復はもはや不可能となる。従って、ふくそうを生じないように送信トラヒック量を調節するトラヒック制御もまた、無線マルチメディア通信実現のためには不可欠な技術である。しかし、ビデオのトラヒック制御を行う際には、ビデオ伝送が単なるデータ伝送とは異なることを考慮しなければならない。一般に、ビデオ伝送においては、大きな遅延は許容できないが、ある程度の情報の欠落は許される。一方、データ伝送に対する要求は、これとは全く逆になっている。そのため、現在データ伝送に対して用いられているトラヒック制御が、ビデオの伝送に対して必ずしも有効とはならない。そこで、ビデオ伝送に適したトラヒック制御を検討する必要がある。

ビデオのトラヒック制御方式として、従来から知られている技術に動的解像度制御方式がある [7]～[10]。これは、ネットワークの負荷に応じてビデオの解像度を動的に切り換え、ふくそうを回避する制御である。筆者らは、文献 [8],[9] において、無線 LAN における JPEG ビデオの動的解像度制御方式の性能を、それぞれシミュレーションと実験によって評価している。一方、MPEG については、文献 [7] や、文献 [10] のシミュレーションによる研究が見られるに過ぎない。そこで、本論文では、MPEG ビデオに対する動的解像度制御方式の、実験による性能評価を行う。動的解像度制御を効果的に行うためには、ネットワークのふくそうをいかにして検出するかが鍵となる。そこで、簡単なふくそう検出手法を提案する。これら無線 LAN 上に実装し、メディア同期制御と併用して伝送実験を行う。その結果を用いて、動的解像度制御による同期

品質の改善効果と有効性について検証する。このようにメディア同期制御とトラヒック制御を同時に定量的に論じていることは、本論文の新規性の一つである。

以下では、2. でメディア同期制御方式を、3. で動的解像度制御方式を説明する。4. で実験システムの構成と実験方法について述べ、5. で実験結果と考察を示す。

## 2. メディア同期制御

### 2.1 仮定と定義

本論文は、文献 [4] と同じく、蓄積された連続メディア（音声・ビデオ）を対象とする。連続メディアの同期制御は、メディア内同期制御とメディア間同期制御からなる。メディア内同期制御は、単一のメディア内でメディアユニット（以下、MU と略記、例えば、一つのビデオフレーム）間の時間関係を維持する制御である。各 MU には、メディア発生源においてタイムスタンプが付与され、出力先ではそれを用いて出力間隔を発生間隔に一致させる。一方、メディア間同期制御は、複数のメディア間で相互の時間関係を維持する制御である。メディア間にはスレーブとマスタの関係が存在し、スレーブメディアを対応するマスタメディアの出力に同期させて出力する。

本論文では、ビデオと音声の MU をインターリーブして、一つの複合ストリームを形成する [6]。これは、タイムスタンプの順に行われるため、ビデオと音声が必要時も交互に現れるわけではない。メディア送信元は、各 MU をタイムスタンプに従って、一つのコネクション上で送信する。一方、メディア出力先では、複合ストリーム中の音声とビデオの MU を区別せず、単一のストリームとみなしてメディア内同期制御のみを行う (nondistinctive 方式) [4]。このとき、メディア間同期は自動的に維持されるため、メディア間同期制御を個別に行う必要はない。

メディア内同期制御は、急激な同期誤差回復 (quick recovery) アルゴリズム [11] に従って行う。つぎに、この同期アルゴリズムを説明する。比較のため、同期制御を行わない場合についても示しておく。

### 2.2 同期アルゴリズム

以下では、 $m$  番目の MU を  $MU_m$  と表記する。更に、 $MU_m$  のメディア出力先への到着時刻を  $A_m$ 、出力時刻を  $D_m$  とする。

メディア出力先は、最初の MU の出力時刻  $D_1$  を、ネットワーク遅延の最大値の見積もり  $\Delta_{\max}$  を用いて、 $D_1 = A_1 + \Delta_{\max}$  と決定する。以降の

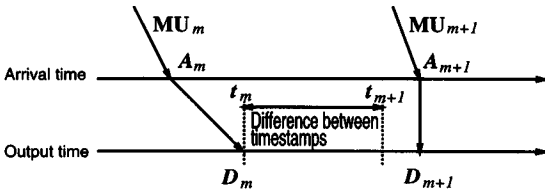


図1 メディア同期アルゴリズム (急激な同期誤差回復)  
Fig.1 Media synchronization algorithm (quick recovery scheme).

MU については,  $MU_m$  を受信したとき, 到着時刻  $A_m$  と目標出力時刻  $t_m$  を比較して出力時刻  $D_m$  を決定する. ここで, 目標出力時刻は,  $t_1 = D_1$ ,  $t_{m+1} = t_m + (T_{m+1} - T_m)$  ( $m = 1, 2, \dots$ ) で与えられる. 但し,  $T_m$  は  $MU_m$  に付与されたタイムスタンプを表す. 急激な同期誤差回復の場合には, 図1に示すように,  $A_m \leq t_m$  のとき  $D_m = t_m$  (図中の  $MU_m$  の場合),  $A_m > t_m$  のとき  $D_m = A_m$  (図中の  $MU_{m+1}$  の場合) とする.

なお, MU の到着が遅れた場合,  $D_m$  が  $t_m$  から大きく外れることがある. このとき,  $D_m - t_m$  がしきい値  $T_{h2}$  より大きい場合には, 目標出力時刻を  $t_m = D_m$  と変更する. これは  $\Delta_{\max}$  の増加に相当する. このため,  $\Delta_{\max}$  の初期設定はそれほど正確である必要はない [4].

一方, 同期制御を行わない場合には, すべての MU は到着と同時に出力される. すなわち, すべての  $m$  に対して  $D_m = A_m$  である.

### 2.3 MPEG ビデオへの拡張

MPEG ビデオの伝送においては, MPEG の一つのピクチャを一つのビデオ MU に対応させる. このとき, MPEG ストリーム中に含まれる GOP ヘッドは, 直後のピクチャと合わせて一つの MU とする. ここで注意すべきことは, MPEG においては, 蓄積されたピクチャの順序と, 復号後に画面に出力されるピクチャの順序が異なることである [5]. すなわち, B ピクチャを復号した場合にはそれ自身が出力されるが, I 又は P ピクチャを復号した場合には, 一つ前に復号した I 又は P ピクチャが出力される. 従って, 各ビデオ MU に付与するタイムスタンプとしては, MU を復号する時刻と, 実際に MU が出力される時刻の二つを考慮することができる [6]. 本論文においては, MPEG デコーダの内部には触れず, MU をデコーダに渡す時刻をビデオ MU のタイムスタンプとする. 従って, 出力時刻  $D_m$  は,  $m$  番目のビデオ MU をデコーダに渡す時刻

を表す. 目標出力時刻についても同様である. デコード時間が十分に短ければ, 使用するタイムスタンプの種類による出力結果の差は, 定量的にも主観的にもほとんど生じない.

なお, ビデオストリームの最初の I ピクチャは, 次の P ピクチャを復号するまで出力されない. これに対して, 音声 MU の出力は即座に行われる. 従って, ビデオと音声の出力を同期させるためには, 最初の I ピクチャをあらかじめデコーダに渡しておき, 次の P ピクチャを最初のビデオ MU として同期制御を開始する必要がある.

## 3. 動的解像度制御

動的解像度制御方式は, ネットワークの負荷状態に応じて, 送信するビデオの解像度を切り換える制御である. 解像度の変更は, ビデオの送信レートの変更を意味する. 従って, 動的解像度制御は, ネットワークのふくそう制御として有効であると考えられる. 動的解像度制御には空間的解像度制御と時間的解像度制御の二つの方式がある. 空間的解像度制御は, 画素数や圧縮率を変更することによって, ビデオ MU 一つ当りの情報量を変化させる. 一方, 時間的解像度制御は, 単位時間当りに送信するビデオ MU の数 (fps) を変化させる.

MPEG によって符号化・蓄積されたビデオの伝送を行う場合, 時間的解像度の変更は, ピクチャ (ビデオ MU) の送信をスキップすることで容易に実現できる. 一方, 空間的解像度を変更する場合には, 一つのビデオストリームを異なる圧縮率で符号化し, 複数のビデオファイルとして蓄積しておく必要がある. 本論文では, 実装が容易であることを考慮し, 時間的解像度制御のみを取り扱う.

### 3.1 4レベル時間的解像度制御

ビデオ送信元は, 時間解像度を四つのレベル (レベル 0 から 3 とする) の間で切り換えるものとする. ビデオ送信元は, レベル 0 で送信を開始する. レベル 0 は最高解像度であり, すべてのピクチャが送信される. ネットワークの軽いふくそう状態が検出されると, 送信元は解像度をレベル 1 に切り換える. レベル 1 では, B ピクチャをスキップして送信 MU レートを低下させる. これによってふくそうが解消すれば, 再び解像度をレベル 0 に戻す. しかし, 解消できない場合には, 更に低解像度のレベル 2 に切り換える. レベル 2 では, B ピクチャに加えて P ピクチャもスキップされる. こ

のレベルは、ビデオの伝送が困難になってきたため、最低限の品質だけを確保しようとするレベルである。もし、レベル2でもふくそうを緩和できなければ、もはやビデオの伝送は不可能であると判断する。これがレベル3である。レベル3では、すべてのピクチャをスキップしてビデオ伝送を中止し、ふくそうが緩和されるのを待つ。以上のような四つの解像度を設けることにより、ネットワークのふくそうに対して、緩やかに品質を劣化させる。

MPEG においては、ピクチャ間に相関関係がある。Bピクチャの復号には、直前のI又はPピクチャを2枚必要とし、Pピクチャは1枚必要とする。他のピクチャに関係なく復号できるのは、Iピクチャのみである。このような相関は、レベル2ではB、Pピクチャをスキップし、レベル3ではすべてのピクチャをスキップするので、解像度を上げるときには問題となる。すなわち、いったんI、Pピクチャをスキップすると、次にIピクチャが現れるまで、すべてのピクチャの復号が不可能になるのである。従って、I又はPピクチャのスキップが生じた場合には、たとえ解像度が上がったとしても、関係する全ピクチャがスキップされる。一方、音声は、いかなる解像度においてもスキップされないものとする。

### 3.2 ネットワークふくそう状態の検出

動的解像度制御の実装にあたっては、いかにネットワークのふくそうを検出するかが重要な問題となる。文献[8]では、無線基地局内に生じる予約待ち行列の長さを用いている。すなわち、待ち行列長があるしきい値を超えたとき、ネットワークがふくそうしていると判断し、ビデオ送信元に対してふくそうを通知する。これは、概念的には非常に簡単なものである。しかし、基地局内の待ち行列に関する情報が利用できるとは限らないため、実装は容易ではない。そこで本論文では、メディア送信元の送信バッファの占有率を用いてふくそう状態を検出する。この方法では、基地局やメディア出力先からの情報をいっさい必要としない。但し、送信バッファはトランスポート層以下に存在するため、一般には、アプリケーションから直接参照できない。ここでは、多くのOSで利用可能なバークレーパケットフィルタ(BPF)というデバイスを用いて、間接的にバッファの占有率を取得する方法を提案する。この方式の概念を図2に示す。

メディア送信元では、MUを送信バッファに書き込むごとに、各MUのサイズをカウンタ  $b$  に加算して

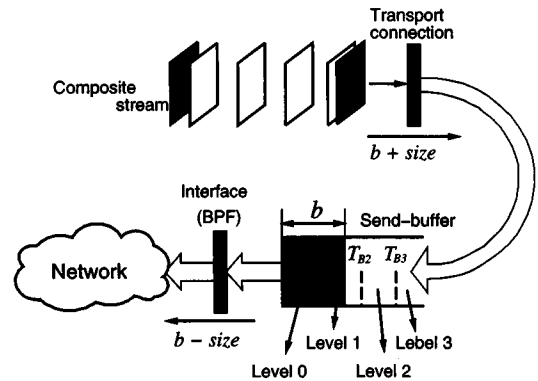


図2 ネットワークふくそう検出法  
Fig.2 Method of detecting network congestion.

ゆく。その一方で、BPFを用いてネットワークインタフェースを監視しておき、自身がネットワークに送出したパケットを捕捉する。捕捉したパケットから、各プロトコルのヘッダを取り除いたサイズが実際の送信データ量となり、これをカウンタ  $b$  から減じる。このとき、 $b$  は送信バッファ内に残留しているデータ量を表すことになる。 $b$  を送信バッファサイズで割ると、バッファの占有率  $B$  が得られる。 $B$  を三つのしきい値  $T_{B1}$ ,  $T_{B2}$ ,  $T_{B3}$  と比較することによって、4段階にふくそう状態を検出する。これは四つの時間解像度に対応しており、 $B < T_{B1}$  でレベル0に、 $T_{Bi} \leq B < T_{Bi+1}$  ( $i = 1, 2$ ) でレベル  $i$  に、 $T_{B3} \leq B$  でレベル3に、それぞれ解像度を切り換える。

ネットワークを流れるトラフィック量が増えれば、ネットワークへのパケット送出が困難になるため、送信バッファの占有率は増加する。また、トラフィックが少なければ、バッファ内のデータはすぐに送出できるため、占有率は0に近くなる。従って、送信バッファの占有率をふくそう状態の検出に利用するのは、妥当であると考えられる。

## 4. 実験環境

メディア同期制御方式と動的解像度制御方式の有効性を確認するため、これらを実装した動画像・音声伝送システムを、無線LAN上に構築した。本章では、実験システムの構成、実験方法、評価尺度を説明する。

### 4.1 システム構成

無線LANとしては、MotorolaのALTAIR-Jを用いる。ALTAIRは、一つのコントロールモジュール(CM)と複数のユーザモジュール(UM)からなり、

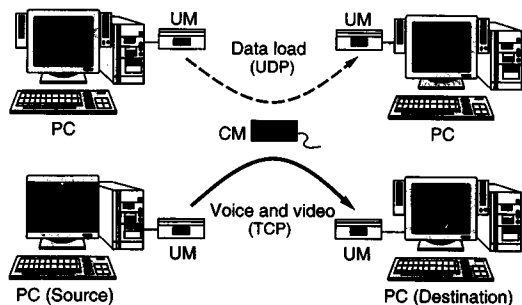


図3 実験システムの構成

Fig.3 Configuration of the experimental system.

マイクロセル型のネットワークを構成する。CMはマイクロセルの基地局に相当し、UM間の通信はCMを経由して行われる。各モジュールはEthernetのインタフェースをもっており、UMをコンピュータに、CMをバックボーンEthernetに接続して使用する。CMとUM間の送受信は同じ周波数で行われ、15 Mbpsの伝送容量をTDD (Time Division Duplex) で使用する。無線MACプロトコルとしては、スロット付きアロハ予約チャネルを用いた予約プロトコルが採用されている。

図3に実験システムの構成を示す。本論文では、4台のUMを用い、各々のUMにPC/AT互換機を1台ずつ接続する。各PCには、200 MHz又は166 MHzのPentiumと64 Mバイト又は32 Mバイトのメモリを搭載し、OSとしてFreeBSD-2.1.5を、ウィンドウシステムとしてXFree86-3.1.2を採用している。

#### 4.2 実験方法

映画の1シーン(戦闘機の空中戦)をビデオから取り込み、ビデオストリームと音声ストリームを別々に作成した。ビデオは、ソフトウェアMPEGエンコーダによって可変ビットレート符号化し、MPEG1ストリームとしてファイルに保存した。一方、音声は、ITU-T勧告G.711 $\mu$ 法則によって64 kbpsに固定ビットレート符号化し、そのままファイルに保存した。本論文では、MPEGの一つのピクチャをビデオのMUとし、一定個数の音声サンプルを音声のMUとする。従って、ビデオMUのサイズはMUごとに異なるのに対して、音声MUのサイズは一定となる。ここでは、音声MUのサイズを5,120バイトとする。音声MUサイズは、小さすぎると頻繁に再生が途切れ、大きすぎるとメディア間の同期誤差が大きくなる。予備実験によって、この程度の値が適当であることを確認している。この

表1 ビデオと音声の仕様  
Table 1 Specification of voice and video.

項目	ビデオ	音声
符号化方式	MPEG1	ITU-T勧告 G.711 $\mu$ 法則
表示サイズ (ピクセル)	320×240	—
記録時間 (秒)	299.9	
総MU数	4,498	473
平均MUサイズ (バイト)	2,503	5,120
MUレート (MU/s)	15.00	1.58
MU間隔 (ms)	66.67	630.00
平均ビットレート (kbps)	300.05	64.00

とき、ビデオ・音声の仕様は表1のようになる。なお、ビデオストリームにおいて、ピクチャの発生パターンをIBBPBBPBBPBBPBBとした。

実験においては、図3のように、4台のPCを2組に分けて用いる。一つの組ではビデオと音声の伝送を行う。一方のPCがメディアサーバ(送信元)であり、ビデオと音声のファイルが蓄積されている。サーバはファイルからビデオ・音声のMUを逐次読み出し、タイムスタンプとシーケンス番号を付加して送信する。もう一方のPCはメディア出力先であり、受信したMUにメディア同期制御を行って出力する。このとき、ビデオMUの復号にはソフトウェアMPEGデコーダを用いる。メディアサーバと出力先の間には、一つのTCPコネクションを確立する。TCPのソケットバッファサイズは、送受信ともに51,200バイトとする。また、メディア出力先では、TCPのソケットバッファ以外に、同期制御用として300キロバイトのバッファを用意する。メディア出力先は、ソケットバッファにMUが到着すると、これを即座に同期用バッファに移動して格納しておく。メディア同期制御は、このバッファから取り出したMUに対して行われる<sup>(注1)</sup>。

もう1組のPC間では、ネットワークに負荷をかけるためのデータトラヒックの伝送を行う。一方のPCから他方へ、固定長のデータメッセージを指数分布に従う間隔で送信する。この指数分布の平均を変化させることで、ネットワークにかかる負荷を調節する。データメッセージのサイズは1,472バイトとし、UDPを用いて伝送される。

実験においては、 $\Delta_{max} = 100$  msとし、目標出力時刻の変更を行うしきい値 $T_{h2}$ は文献[11]と同様320 msとした。一方、動的解像度制御のしきい値につ

(注1): 受信したMUをソケットバッファ内に格納しておくと、TCPのフロー制御の影響によって、ふくそう検出が正しく行えない。また、 $\Delta_{max}$ も大きく設定できない。

いては、いくつかの値を試した結果、良好な性能が得られるよう  $T_{B1} = 30\%$ ,  $T_{B2} = 50\%$ ,  $T_{B3} = 70\%$  と設定した。

### 4.3 評価尺度

メディア同期制御や動的解像度制御の性能を評価するためには、同期の品質や伝送効率を反映する尺度が必要となる。本論文では、同期品質の評価に平均 2 乗誤差を用いる。これは、各 MU (スキップされたものは除く) の目標出力時刻と実際の出力時刻の誤差の 2 乗を平均したものと定義される。また、メディア間の同期誤差は、ビデオ MU ( $MU_m$ ) とその直前に出力した音声 MU ( $MU_n$ ) に対して、 $D_n + (T_m - T_n) - D_m$  で定義される。平均 2 乗誤差が小さいほど、同期品質は高いと言える。これに加えて、総ポーズ時間も用いる。ポーズ時間は、MU の到着の遅れやそれに伴うスキップのために、出力が中断した時間である。これは、最後に出力した MU を  $MU_m$ , その一つ前に出力した MU を  $MU_n$  とすると、 $D_m - \max(t_{n+1}, D_n + T_{n+1} - T_n)$  で定義され、ビデオと音声の MU に対して、個々に算出する。総ポーズ時間は、このようにして定義されたポーズ時間の総和を表し、小さいほど滑らかな再生が行われていることになる。

一方、伝送効率の評価には、スループットと再生時間を用いる。スループットは、メディア出力先で 1 秒間に出力されたビデオおよび音声ビット数の平均である。また、再生時間は、メディア出力先でビデオ・音声の出力に要した時間である。これは、ネットワーク遅延の影響や目標出力時刻の変更によって、必ずしも記録時間とは一致しない。

以上の評価尺度に加えて、出力されたビデオ・音声の主観評価も行う。

## 5. 実験結果

本章では、実験によって得られた各評価尺度を示し、メディア同期制御・動的解像度制御の有無による比較を行う。そして、これらの制御の有効性と、適用領域を明らかにする。

### 5.1 メディア同期制御の有効性

図 4~図 6 に、平均 2 乗誤差を負荷データ量の関数として示す。図 4 は音声に、図 5 はビデオに対応し、図 6 はメディア間に対応する。図中では、メディア同期制御を行わない場合を NC, 行う場合を SC と表してある。ここでは、この二つの比較を行う。また、図 7 には、同期制御を行った場合のビデオ・音声そ

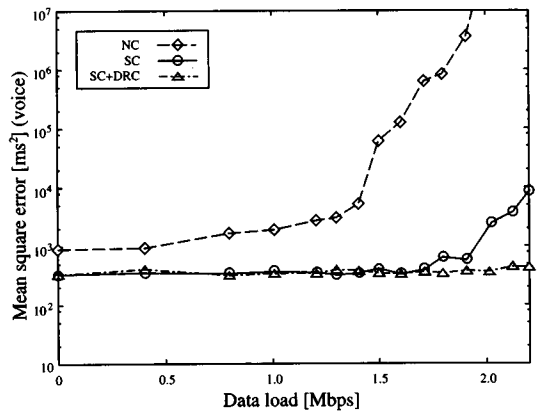


図 4 負荷データ量と音声平均 2 乗誤差の関係  
Fig. 4 Mean square error versus data load for voice.

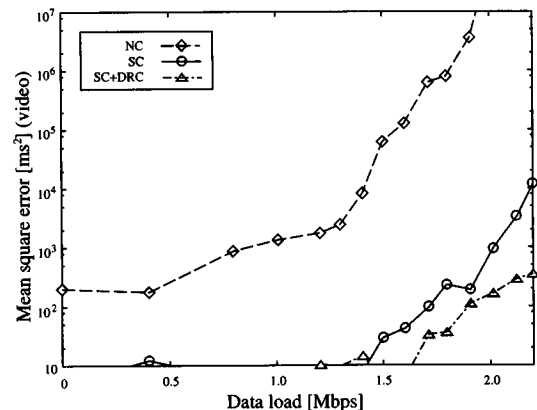


図 5 負荷データ量とビデオ平均 2 乗誤差の関係  
Fig. 5 Mean square error versus data load for video.

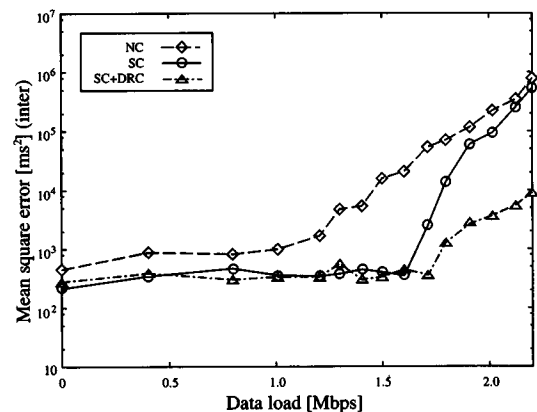


図 6 負荷データ量とメディア間平均 2 乗誤差の関係  
Fig. 6 Mean square error of inter-stream synchronization versus data load.

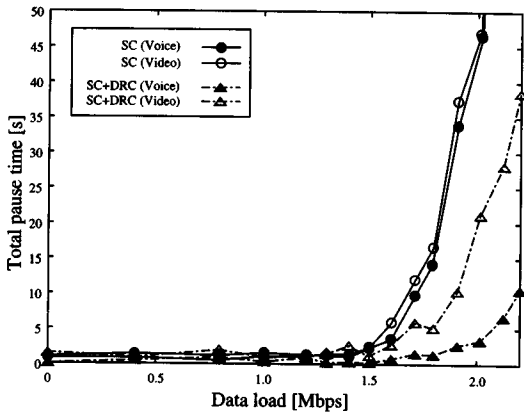


図7 負荷データ量と総ポーズ時間の関係  
Fig. 7 Total pause time versus data load.

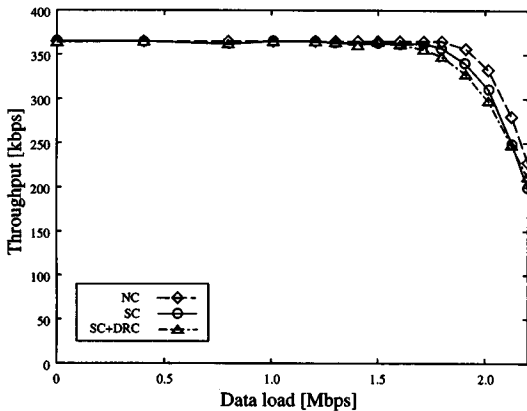


図8 負荷データ量とスループットの関係  
Fig. 8 Throughput versus data load.

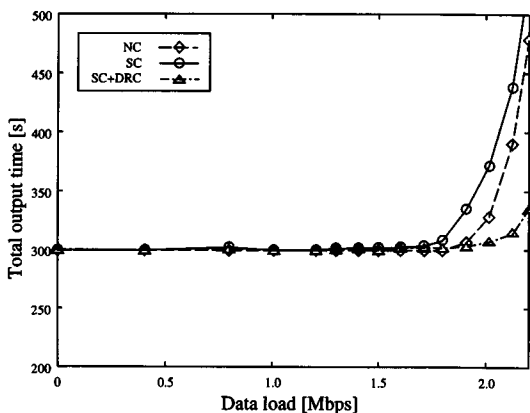


図9 負荷データ量と再生時間の関係  
Fig. 9 Total output time versus data load.

それぞれの総ポーズ時間を示す<sup>(注2)</sup>。更に、図8にはスループットを、図9には再生時間を示す。

図4～図6より、同期制御を行わない場合の平均2乗誤差は、すべての負荷に対して、制御を行う場合より大きくなることわかる。しかし、負荷が小さい領域における誤差はそれほど大きくなく、例えば、1.5 Mbps 程度以下の領域のメディア間平均2乗誤差は  $25,600 \text{ ms}^2 (= 160^2 \text{ ms}^2)$  より小さい。文献[12]における主観評価試験の結果では、メディア間の誤差が  $\pm 160 \text{ ms}$  以上になると同期外れであることが示されている。従って、この領域においては、同期制御を行わない場合でも、同期品質が悪いとは言えない。実際、主観評価においても、同期制御の有無による違いはほとんど見られなかった。しかし、いずれの図においても、制御を行った場合の誤差は小さくなっており、メディア同期制御が低・中負荷における同期品質の改善に有効であると言える。一方、負荷が1.5 Mbps よりも高い領域では、同期制御の有無によって結果が大きく異なっている。同期制御を行わない場合には、音声・ビデオともに平均2乗誤差が急速に増大し、完全に同期外れとなる。これは、図4、図5からわかる。一方、同期制御を行った場合には、負荷の増加に対する音声・ビデオの誤差の増加は緩やかであり、誤差の値もそれほど大きくならない。更に、図6のメディア間平均2乗誤差も、負荷1.8 Mbps 程度までは許容できる値である。従って、高負荷においては、メディア同期制御は必須であると言える。

図7の総ポーズ時間は、負荷1.6 Mbps 程度より大きい領域で、ビデオ・音声ともに急速に増加している。1.6 Mbps 程度の負荷では、音声の伝送は問題なく行うことができるが、ビデオの伝送は困難になっている。そのため、ビデオ MU の到着に遅れが生じると、インターリーブされた音声 MU の到着も遅れてしまう。こうして、ビデオ・音声の総ポーズ時間はともに増加し、目標出力時刻の変更が頻繁に行われることになる。また、図8のスループットも同様の領域で低下しているが、同期制御を行う場合の値のほうが小さくなっている。これは、目標出力時刻の変更によって再生時間が長くなるためである。このことは、図9において、同期制御を行う場合の再生時間が、行わない場合より大きくなっていることから明らかである。

主観評価の結果では、負荷が約1.5 Mbps 以下の場

(注2)：同期制御を行わない場合には、ポーズ時間を定義できない。



合、同期制御の有無による差はほとんど見られなかった。より高負荷の領域では、同期制御を行わない場合、画面の動きがぎこちなくなり、音声の途切れも目立つようになった。一方、制御を行った場合には、ビデオ・音声ともに、負荷 1.8 Mbps 程度までは許容できる品質であった。しかし、それ以上の負荷では頻繁に再生が途切れ、負荷 2.0 Mbps 以上では、音声を聞き取ることも困難であった。

## 5.2 動的解像度制御の有効性

5.1 では、メディア同期制御によって高負荷時の同期品質の劣化がおさえられることを示した。しかし、1.8 Mbps 程度以上の極めて高い負荷の下では、メディア同期制御のみで満足な品質を得ることはできない。そこで、本節では、動的解像度制御の併用によってふくそうの軽減を試みる。特に高負荷時の同期品質や伝送効率に及ぼす影響について議論し、動的解像度制御の有効性を検証する。

図 4～図 9 には、メディア同期制御と動的解像度制御を併用した場合の値を SC+DRC として示してある。これをメディア同期制御のみの場合と比較する。

まず、図 4～図 6 より、動的解像度制御を行うことによって、負荷 1.8 Mbps 以上の領域におけるすべての誤差が小さくなっていることがわかる。音声の平均 2 乗誤差では、同期制御のみの場合に見られる高負荷時の増加が、解像度制御を行った場合にはほとんど生じていない。また、ビデオの誤差も、解像度制御を行った場合のほうがより小さな値となっており、負荷 2.2 Mbps でも良好な結果が得られている。これは、メディア間の誤差に対しても同様である。このような平均 2 乗誤差の改善は、むだな MU の送信を行わないことに起因する。すなわち、ネットワークが高負荷な状態で MU を送信し続けると、出力先への到着が長期にわたって遅れることになり、誤差が増大してしまう。そこで、送信が困難な場合に MU を送信しなければ、到着の遅れが生じる確率を小さくできる。このような処理が動的解像度制御によって自動的に行われるため、平均 2 乗誤差が改善されるのである。

また、図 7 におけるビデオの総ポーズ時間も、解像度制御を行った場合のほうが行わない場合より小さくなっている。これも上記と同様の理由による。メディアサーバにおいてビデオ MU のスキップを行うことは、自らポーズ時間を増加させることを意味する。しかし、MU の到着の遅れによって生じるポーズ時間は、スキップによるポーズ時間よりもはるかに大きい。そ

のため、解像度制御を行うと、ビデオの総ポーズ時間は小さくなる。また、音声の総ポーズ時間も同様に小さくなるが、負荷 2.2 Mbps でも 10 秒程度と、ビデオに比べて極めて小さな値となっている。高負荷状態においては、音声 MU 間にインタリーブされたビデオ MU の多くがスキップされるため、ビデオの遅れに起因する音声の遅れが生じにくくなるからである。

つぎに、図 8 のスループット、図 9 の再生時間について考察する。図 8 より、負荷 1.7 Mbps 以上の領域におけるスループットは、解像度制御を行うことによって、わずかに小さくなるのがわかる。これは、少しの遅れで送信できるビデオ MU でも、解像度制御によってスキップされてしまうからである。しかし、無用なふくそうが回避されるため、無制御時の再生時間が急速に増大しているのに対して、制御を行う場合には、負荷 2.0 Mbps 程度までほとんど変化しない。また、より高負荷な領域においても、再生時間の増加は小さくおさえられる。これらは図 9 からわかる。以上より、動的解像度制御を行うと、わずかなスループットを犠牲にして、大幅な再生時間の改善を実現できると言える。

主観評価の結果、動的解像度制御の併用によって改善された点をあげる。まず、負荷 1.8 Mbps 以上の領域においても、音声の途切れがあまり生じなくなっていた。特に負荷 2.0 Mbps 以上の領域では、制御を行わないとほとんど聞き取れなかったが、制御によって、滑らかに再生されるようになった。また、ビデオに関しては、負荷が高いほど動きのぎこちなさが目立ったが、負荷 2.0 Mbps で平均 10 fps 程度、2.2 Mbps でも 6 fps 程度の出力は得られていた。これは、制御を行わない場合に画像がほとんど動かなくなったことを考慮すると、明らかに改善されていると言える。

最後に、動的解像度制御の効果を、バッファ占有率の観点から見てみる。図 10 に負荷 2.0 Mbps のときの送信バッファ占有率の推移の一例を示す。この図は、MU 送信時のバッファ占有率を、MU のシーケンスナンバーを横軸にして表したものである。図より、動的解像度制御を行わない場合、占有率がいったん高くなると、ほとんど低下しないことがわかる。これは、ふくそうによってバッファからの送出手が困難であるにもかかわらず、送信バッファに MU を書き込み続けようとしてふくそうを助長するためである。しかも、送信バッファ占有率が 100% の場合には、バッファに空きができるのを待ち続ける。一方、動的解像度制御を行

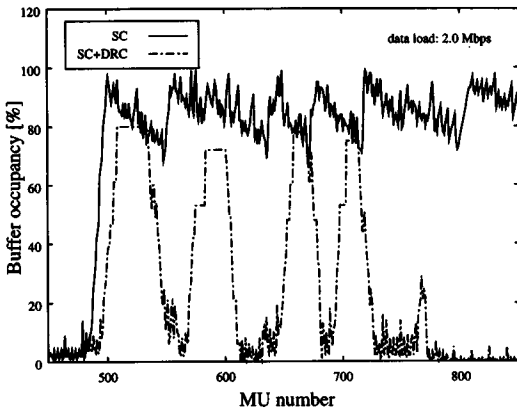


図10 バッファ占有率の推移  
Fig.10 Transition of buffer occupancy.

う場合には、占有率が高くなるとMUの送信をスキップしてふくそうの悪化を回避するため、短時間で低い値に戻っている。このことは、占有率がパルス状に変化していることから明らかである。バッファ占有率が低くおさえられていることは、ネットワークがふくそうしていないことを表し、本方式がふくそう制御として有効であることを示している。

## 6. むすび

本論文では、筆者らが以前に提案した、無線LANにおける蓄積ビデオ・音声の同期方式を、MPEGビデオの構造に合わせて拡張した。また、MPEGビデオに対する4レベルの時間的解像度制御方式を扱い、その実装方法を示した。これらを無線LAN上に実装し、MPEGビデオと音声の伝送実験を行った。各評価尺度と主観評価に基づいて、メディア同期方式の有効性を検証した結果、本同期アルゴリズムがMPEGビデオに対しても適用可能であることが確認できた。特に、高負荷な状態では同期制御が必須であり、本方式によって同期品質の劣化をおさえられることがわかった。また、低・中負荷における品質改善にも、本方式は有効であることが明らかとなった。しかし、極めて高負荷な状態においては、同期制御のみを行っても許容できる品質は得られなかった。つぎに、メディア同期制御と動的解像度制御を併用する場合の検討を行った。その結果、動的解像度制御によって高負荷時の同期品質を大きく改善できることがわかった。特に、音声の品質は著しく改善されており、極めて高負荷な状態でもはっきりと聞き取れるほどの品質が得られた。

また、スループットの低下をほとんど生じないで、高負荷における再生時間の増大をおさえることが可能であり、伝送効率の観点からも動的解像度制御方式は有効であると言える。無線LANにおいては、負荷の変動が急激かつ頻繁に起こりうるため、ビデオ・音声の伝送を行う際には、メディア同期制御と動的解像度制御を併用することが望ましい。

今後の課題として、動的解像度制御における最適なしきい値の設定方法を検討することがあげられる。その上で、他のメディア同期制御方式・動的解像度制御方式との比較や、異種ネットワーク接続時の実験を行う必要がある。また、これらの制御をライブメディアに拡張することも残された課題である。

謝辞 本研究は、通信・放送機構平成8年度「創造的情報通信技術研究開発推進制度」によって行われた。関係各位に感謝する。

## 文 献

- [1] S. Tasaka, K. Hayashi, and Y. Ishibashi, "Integrated video and data transmission in the TDD ALOHA-Reservation wireless LAN," Conf. Rec. ICC '95, pp.1387-1393, June 1995.
- [2] D. Buchholz, P. Odlyzko, and R. White, "Wireless in-building network architecture and protocols," IEEE Network Mag., vol.5, pp.31-38, Nov. 1991.
- [3] J. Dunlop, J. Irvine, D. Robertson, and P. Cosimini, "Performance of a statistically multiplexed access mechanism for a TDMA radio interface," IEEE Personal Commun., vol.5, pp.56-64, June 1995.
- [4] S. Tasaka, Y. Ishibashi, and H. Imura, "Stored media synchronization in wireless LANs," Conf. Rec. GLOBECOM '96, pp.1904-1910, Nov. 1996.
- [5] D. Legall, "MPEG: a video compression standard for multimedia applications," Communications of the ACM, vol.34, no.4, pp.46-58, April 1991.
- [6] 藤原洋監修, 最新 MPEG 教科書, アスキー出版, 1994.
- [7] Uwe Horn, et al., "Scalable video coding for multimedia applications and robust transmission over wireless channels," 7th International Workshop on Packet Video, March 1996.
- [8] S. Tasaka, K. Hayashi, and Y. Ishibashi, "Congestion control for integrated video and data transmission in a wireless LAN," Conf. Rec. GLOBECOM '95, pp.332-338, Nov. 1995.
- [9] S. Tasaka and H. Imura, "Dynamic resolution control of stored video traffic in a wireless LAN," Proc. IEEE PIMRC '96, pp.153-157, Oct. 1996.
- [10] H. Kanakia, P.P. Mishra, and A. Reibman, "An adaptive congestion control scheme for real-time packet video transport," Proc. ACM SIGCOMM '93, pp.20-31, Sept. 1993.
- [11] Y. Ishibashi, S. Tasaka, and E. Minami, "Performance

measurement of a stored media synchronization mechanism: quick recovery scheme," Conf. Rec. GLOBE-COM '95, pp.811-817, Nov. 1995.

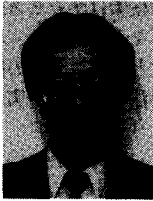
- [12] R. Steinmetz, "Human perception of jitter and media synchronization," IEEE J. Sel. Areas in Commun., vol.14, no.1, pp.61-72, Jan. 1996.

(平成 8 年 12 月 9 日受付, 9 年 4 月 21 日再受付)



中西 博幸 (正員)

平 7 名工大・工・電気情報卒。平 9 同大大学院修士課程了。在学中, マルチメディア無線 LAN の研究に従事。現在, 日本テレコム (株) 勤務。



田坂 修二 (正員)

昭 46 名工大・工・電気卒。昭 51 東大大学院博士課程了。同年名工大・情報勤務。現在, 同大・電気情報教授。昭 59~60UCLA 客員研究員。マルチメディア通信, 無線 LAN の研究に従事。工博。IEEE, ACM, 情報処理学会各会員。



石橋 豊 (正員)

昭 56 名工大・工・情報卒。昭 58 同大大学院修士課程了。同年日本電信電話公社入社。NTT ヒューマンインタフェース研究所主任研究員を経て, 平 5 より名工大・電気情報助教授。メディア同期方式, マルチメディア通信プロトコルの研究に従事。工博。

IEEE, ACM, 情報処理学会, 映像情報メディア学会各会員。