

マルチメディアデータの階層伝送とパケット送信順序制御

古村 隆明[†] 藤川 賢治[†] 池田 克夫[†]

IP マルチキャストでマルチメディアデータを送信する際、受信者ごとに受信能力が異なる場合に対応できるようなデータの階層符号化を提案する。階層符号化されたデータを送信するときにパケットの送信順序を制御することで、ルータは転送すべきデータを適切に選択できる。本稿では、パケットの送信順序を制御した場合にネットワーク資源の利用効率が向上することを示し、送信順序を決定するアルゴリズムについて検討する。また、階層伝送を行うシステムを実装し、その実行結果から再生される情報の品質の変化を評価する。

Layered Transmission of Multimedia Data and Control of Packet Order

TAKAAKI KOMURA,[†] KENJI FUJIKAWA[†] and KATSUO IKEDA[†]

Layered transmission of multimedia data and control of packet order are very advantageous to cope with multiple recipients each of which has different capability of receiving data when IP packets are multicasted. Each router can distinguish packets to be forwarded those or not in the case that the network is congested. We propose a method of controlling packet order to use network resource more effectively, and show that the efficiency is improved. We also propose algorithms to determine the sending order. We implemented the system and evaluated the quality of video when packet order was controlled.

1. はじめに

インターネットを利用したマルチメディア通信がさかんになってきた。今後、各家庭まで高速なネットワークが張り巡らされると、インターネット上でマルチメディア情報の放送（マルチメディア放送）を行う環境が整うことになる。

インターネット上で放送を行う場合、データ配信に IP マルチキャストが利用されると考えられる。このとき、受信者ごとの利用可能なネットワーク帯域の違いが問題となる。帯域の狭いネットワークしか利用できない受信ホストに大量のデータを送信しようとする、予測できないデータ損失が起こりデータを正常に復号できなくなる。この結果、画像が乱れたり音声途切れるといった悪影響が発生する。この問題を回避するため、データを配送する途中のルータでデータ量を容易に削減することのできる階層符号化方式についての研究^{4),5)}が行われている。

しかし、データを階層符号化しても、同じ階層のパ

ケットを連続して送信すると、優先順位を有効に利用できず、優先順位の高いパケットであっても破棄される可能性がある。この問題は、QoS 保証により帯域が保証されている場合でも、保証される帯域が狭くなるところで発生する可能性がある。これに対処するために、本稿ではパケットの送信順序を制御することを提案する。この処理によって、優先順位に応じた転送処理が適切に行われるようになる。

2 章で、マルチメディア放送を実現するためのネットワークや通信方式について説明する。3 章では、マルチメディアデータの階層符号化方式について説明する。4 章で、階層符号化を行ったデータに対してパケット送信順序の制御を行うことを提案する。また、送信順序を決定するアルゴリズムの考察と提案をする。5 章で階層符号化されたデータを転送するルータの仕組みについて考察する。6 章で実際に実装したシステムについて説明し、7 章で実装したシステムを用いた実験結果から、送信順序を制御することによって受信ホストで再生できた映像の品質の変化を示す。

2. マルチメディア放送の実現

インターネット上でのマルチメディア放送は、多数

[†] 京都大学大学院情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

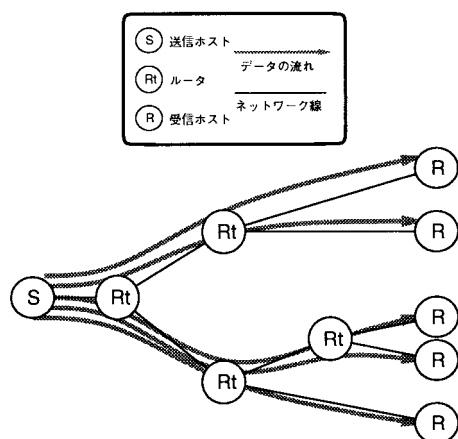


図 1 ユニキャスト
Fig. 1 Unicast.

の受信者が同時に同じデータを受け取り、各受信者のディスプレイやスピーカで再生するという点では、現在のテレビ放送と似ている。しかし、単にテレビ放送の音声・動画データを送信するだけでなく、音声・動画情報以外にも付加的な文字情報や番組情報、簡単なアプリケーションプログラムなどを送信することができる。また、インターネットを用いるため双方向に通信が行えるという点が通常の放送とは大きく異なり、受信者と対話的に情報を交換しながら番組を進行させることができる。そのほかにも、簡単な設備を整えるだけで、誰でもマルチメディア放送を行うことができるという利点もある。

2.1 IP マルチキャスト

マルチメディア放送を行う場合は、テレビ放送のように受信者数はかなりの数になりうるため、受信ホスト数が増大しても正常に動作するスケーラビリティのある通信方式を採用する必要がある。

1対1通信であるユニキャストでは、送信ホストはそれぞれの受信ホストに向けてデータを送信する(図1)。そのため、受信ホスト数が増えると送信ホストの負荷が大きくなる。また、ネットワーク上に同じデータが何度も流されることになり、ネットワークに対する負荷も大きい。このような理由から、ユニキャストは受信ホスト数の増大に対してスケーラビリティがなく、マルチメディア放送という用途には適さない。

スケーラビリティのある通信方式として、IP マルチキャストがある(図2)。受信ホストはマルチキャストグループに参加すれば、マルチキャストで送信されるデータを受信できる。あるマルチキャストグループ宛に送信されたデータは、必要に応じて経路上のルータ

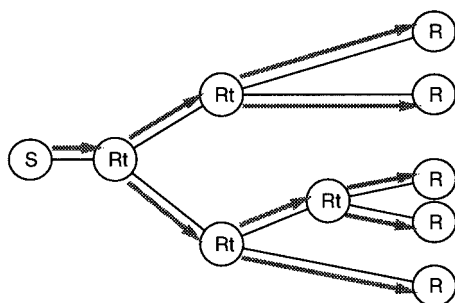


図 2 マルチキャスト
Fig. 2 Multicast.

が複製してすべての参加ホストに向けて転送される。このため、受信ホスト数が増えても送信ホストの負荷が大きくなる。また、ネットワーク上に同じデータが何度も流れることもない。

本研究で提案するマルチメディア放送では、スケーラビリティのある IP マルチキャストを用いる。

2.2 階層符号化と階層伝送

インターネットでは受信ホストごとに利用可能な帯域が異なることがある。この理由として、物理的な回線の帯域が異なることや、他の通信によって帯域が減少することがあげられる。この帯域の差が、IP マルチキャストを用いた通信で問題となる。帯域の狭い受信ホストに向けて大量のデータを転送すると、無作為に選ばれた IP パケットが破棄され、受信ホストにとって予測できないデータ消失が起こることになる。この結果、再生される情報には、音声途切れる、画像の一部が欠ける、といった重大な悪影響が発生する。

他の通信によって利用可能な帯域が減少する問題に対処するためには、QoS 保証により一定の帯域を保証する方法が考えられる。しかし、物理的な回線の帯域が足りない場合には QoS 保証では対処できない。このような場合に対処するため、帯域幅に合わせて動的にデータ量を削減することのできる階層符号化を利用して送信データを作成する。階層符号化されたデータは、低品質な情報と、より高品質な情報を得るための差分データ、という構造になっている。階層数を増やすことで、複数の差分情報を利用してより高品質な情報を得ることができるように符号化することができる。

帯域が十分ある受信ホストは、すべてのデータを受信して最高品質の情報を復号することができる。帯域が足りない場合は、優先順位の高いデータだけを受け取り、受信できなかった詳細な情報を省いた情報を得る。このように、転送する階層を帯域に応じて選択するデータ伝送方式を階層伝送と呼ぶ(図3)。

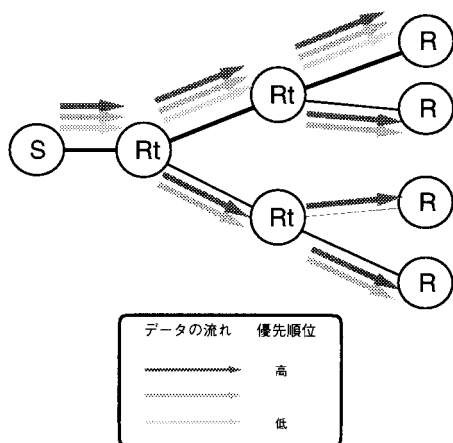


図 3 階層伝送

Fig. 3 Layered transmission.

3. 階層符号化手法

本研究では、マルチメディアデータの符号化方式として広く利用されている MPEG を用いて階層伝送を行っている。本章では、MPEG データを階層符号化する具体的な方法について説明する。なお、優先順位は数字が小さいほど順位が高いとする。

3.1 音声と動画像

MPEG などのマルチメディアデータ符号化方式では、音声と動画像のように複数のメディアを扱う。しかし、音声と動画像を転送しているときにネットワーク帯域が足りなければ、一般的に音声優先されるべきである。このように、メディアごとに優先順位を設定できるべきであるため、メディアごとに階層が分かれるように符号化する。

また、それぞれのメディア内で階層符号化を行えば、「低品質な音声は最優先とするが、高品質な音声より低品質な動画像を優先する」といった優先順位を設定することも可能である。

3.2 動画像

動画像を階層符号化するには、

- 単位時間あたりのフレーム数
- 各フレームの画質

の 2 つの品質を制御することが考えられる。

3.2.1 フレーム数による階層化

単位時間あたりの表示画像枚数によって、複数の階層を用意する方法を考える。MPEG ではフレーム間予測を行うために、I, P, B という 3 種類のピクチャタイプがある。I ピクチャはそれだけで独立した画像データを復号できる。P ピクチャは、I ピクチャからの差分データが含まれるため I ピクチャに依存する。

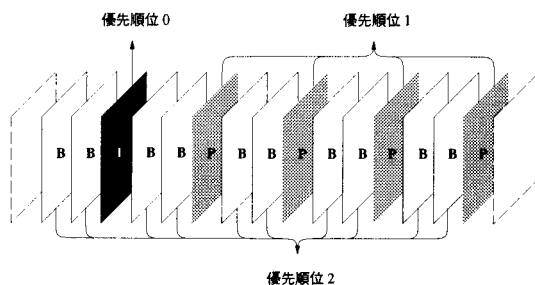


図 4 フレーム数による階層化

Fig. 4 Layered encoding by frame rate.

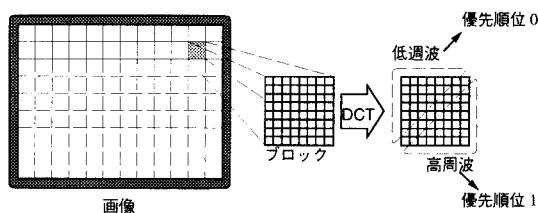


図 5 画質による階層化

Fig. 5 Layered encoding by quality of pictures.

B ピクチャは同様にして、I, P ピクチャに依存する。I, P, B ピクチャをそれぞれ、優先順位 0, 1, 2 の階層とすることでうまく 3 つの階層に分けることができる(図 4)。

本方式は、すでにエンコードされているデータも簡単に階層化することができるという利点がある。しかし、MPEG データの圧縮方式に依存しており、この方式だけでは階層数を 4 つ以上に増やせないという問題がある。階層数をさらに増やす必要がある場合は、次に示す画質による階層化と組み合わせる方法がある。

3.2.2 画質による階層化

MPEG のデータ圧縮の過程で、直交変換で得られたデータは周波数の順に並んでいる。周波数の高い成分ほど画像の詳細な情報が含まれている。この特徴を利用して、データを複数の周波数帯域に分割して、それぞれを別階層として符号化する。

優先順位の高い階層には周波数の低い成分、優先順位の低い階層には周波数の高い成分から得られたデータを格納する。この様子を図 5 に示す。

受信ホストでは、優先順位の高いデータだけを受信すると低品質な画像しか得られないが、優先順位の低いデータも受信できれば高品質な画像が得られる。

4. パケット送信順序制御

本章では、階層符号化されたデータを送信する際に、パケットの送信順序を制御することを提案する。

表 1 階層ごとのパケットロス率
Table 1 Rate of lost packets in each layers.

送信順序	階層ごとのパケットロス率				
	0	1	2	3	4
000111222333444	0.0%	33.3%	33.3%	33.3%	100.0%
012340123401234	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%

同じ階層のパケットが連続するような順序でパケットを送信すると、瞬間的にその階層のデータ転送レートが上昇する。長い時間で平均すれば転送可能なレートであったとしても、瞬間的に転送可能なレートを超えるとパケットは破棄されてしまう。この問題を回避するためには、パケットの送信順序を適切な順序に変更して、短い時間内で見て、各階層のパケットの転送レートが一定になるように制御する必要がある。

4.1 シミュレーション

パケットの送信順序を変更することで、破棄されるパケットが変化することをシミュレーションにより確かめる。このシミュレーションでは他の通信によるパケットは混入しないものとする。

まず、以下のような条件でシミュレーションを行った。

- ルータのキューサイズは、3 パケット分。
- 3 シミュレーション時間ごとに 1 パケット受信して、キューの末尾に格納。
- 5 シミュレーション時間ごとに、キューの先頭の 1 パケットを送信。
- キューが溢れる場合は、キュー内で優先順位が最も低いパケットを破棄。ただし、キュー内に新着パケットより低い優先順位のパケットがなければ、新着パケットを破棄。

表 1 は次の 2 通りの送信順序について各階層ごとのパケットロス率を表している。

- 各階層を連続的に送信した場合（表 1 の上）
- 送信順序を入れ替えて送信した場合（表 1 の下）

表中の 0, 1 などの数字はパケットの優先順位を表しており、0 が最も優先順位の高い階層とする。前者と後者では破棄されるパケットに大きな違いが見られる。受信速度と送信速度の比が 5 対 3 なので、理論上は 5 階層のうち 3 階層の転送が可能である。後者の場合は 3 階層分のデータを転送することができるが、前者では階層 1 や 2 のパケットであっても破棄されている。

階層符号化されたデータは差分情報が格納されているため、優先順位の高い階層が揃っていないと、それより低い階層のデータは利用できない。シミュレーション結果は、どちらの場合も転送しているパケットの総数は同じであるが、送信順序が適切でないとデータの復号に利用できないパケットを転送していること

が分かる。逆に、パケットの送信順序を適切に制御することで優先順位に応じたパケット転送がより正確に行われるようになり、ネットワーク資源を有効に利用できることが分かる。

このような現象は、ルータのキューが十分に長ければ発生しない。シミュレーションから、適切な転送処理を行うために必要なキュー長について、後者の送信順序では 3 以上、前者の送信順序では 8 以上という値が得られた。

しかし、キューを長くするのはコストの問題もあり難しい。送信順序を制御して、キューが短くても転送可能にする方法が望ましい。

4.2 送信順序決定アルゴリズム

パケット送信順序の入れ替えを行うデータの集合をグループと呼ぶことにする。グループ内ではパケットの送信順序を入れ替えるが、グループの境界を越えて順序を入れ替えることはしない。

グループ内で各階層のパケットが同数である場合は、簡単に最適な送信順序を決定できる。しかし、実際には、各階層のサイズはそれぞれ異なるためパケット数も異なる。このような状況でも適切な順序にパケットを並べ変えることができるアルゴリズムを検討した。次の 3 点に注目して送信順序を決定する。

- 優先順位の高い階層ほど等間隔にする。
- 同一階層のパケットが連続し難いようにする。
- 近い階層のパケットが連続し難いようにする。

1 番目は、優先順位の高い階層ほど重要なデータであるため、帯域の狭い経路でも確実に転送できるようにするための処理である。

2 番目はすでにシミュレーションで示したとおり、同じ階層のパケットが連続するとルータで適切な処理が行われないという問題への対応である。

しかし、2 番目だけでなく、3 番目の注目点についても考慮しておく必要がある。ルータで輻輳が発生すると、優先順位の低いパケットが破棄され、破棄されずに残ったパケットが転送されることになる。残ったパケットの転送間隔もなるべく一定していることが望ましい。この具体的な例を図 6 と図 7 で比較する。図 6 に比べて図 7 は、優先順位 2 のパケットが破棄された後も転送間隔が安定している。このような送信順序

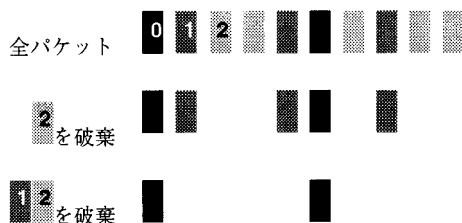


図 6 順序 1
Fig. 6 Order 1.

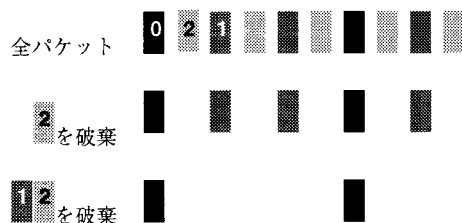


図 7 順序 2
Fig. 7 Order 2.

は、近い階層のパケットがなるべく連続しないように送信順序を決定することで得られると考えられる。

この3点を考慮して送信順序を決定するアルゴリズムを以下に示す。

n 番目の階層のパケット数を P_n 、全階層数を N と表す。初期状態として、大きさが b_0 のバッファ B_0 を用意する(ここで、 $b_n = \sum_{i=0}^n P_i$ と表されるものとする)。バッファ B_0 内には優先順位 0 を表す値 0 を格納する。

この初期状態において、 $n = 0$ として以下の手順を繰り返す。

- (1) 大きさが b_{n+1} のバッファ B_{n+1} を用意する。
- (2) B_n 内の数字を、順序を変えずに B_{n+1} の先頭から末尾までできるだけ等間隔に並べる。
- (3) B_{n+1} の空いている位置に優先順位を表す値 $(n+1)$ を格納する。
- (4) n を 1 増やし、 $n < (N-1)$ なら (1) に戻る。

手順 (2) は具体的には、 B_n 内の j 番目 ($0 \leq j \leq b_n - 1$) の値を B_{n+1} 内の $\lfloor \frac{b_{n+1}}{b_n} j \rfloor$ 番目に格納することで実現できる。

手順 (3) で優先順位の 1 つ低いパケットを加え、次のステップの手順 (2) でそれらのパケットを等間隔に並べている。この処理により、同一階層だけでなく階層の近いパケットどうしについても、連続的に送信されないような送信順序を決定することができる。

階層数が 3 つで、優先順位の高い階層から 2 個、3 個、5 個のパケットで構成されたグループという例では、図 8 のようにして送信順序が決定される。

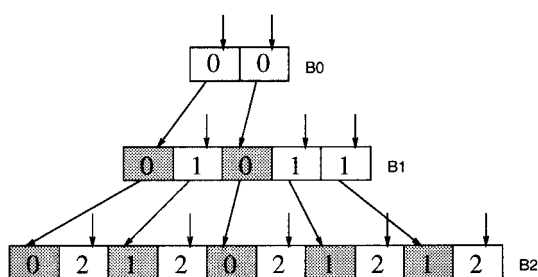


図 8 送信順序の決定過程
Fig. 8 Process of decision of sending order.

5. 階層伝送に対応したルータに関する考察

本稿で扱っている優先順位付きの階層符号化やパケットの送信順序を制御する方法は、優先順位に対応したルータが実装されていなければ意味をなさない。しかし、実際には優先順位に対応したパケットの転送を行うルータは一般的ではない。本章では階層伝送に対応したルータについて考察する。

ここで、送信ホストはパケットの送信順序を決定したあと、その順序に従ってシェーピングを行いながら送信するものとする。

本章では

- QoS 保証がない場合 (ベストエフォート)
- QoS 保証がある場合

の 2 通りについて考える。

5.1 QoS 保証がない場合

ルータは、出力インタフェースごとにキューを持ち、入力インタフェースが受信したパケットをキューに入れる。出力インタフェースはキューの先頭からパケットを出力する。出力できるデータ量に比べて、入力データ量が多い状態が続くとキューが溢れる。この状態を輻輳と呼ぶ。

優先順位に対応するためには、ルータで輻輳が発生するとき、キュー内で優先順位の最も低いパケットを破棄する必要がある。破棄すべき階層のパケットが複数個存在する場合は最も古いパケットを破棄する。

また、パケットを破棄したときに、パケットの順序が入れ替わらないように処理する必要がある。これは、送信ホストで決定したパケットの送信順序を乱さないためである。そのため、パケットが破棄されて空いた部分は、それ以降のパケットをシフトして埋め、キューの最後に新着パケットを格納することになる。

しかし、他の通信によるパケットが混在すると優先順位による処理を適切に行うことが難しくなるため、QoS 保証された経路で通信を行うことが望ましい。

5.2 QoS 保証がある場合

ルータは QoS を保証する経路ごとに、独立したキューを用意するものと仮定する．QoS 保証がない場合と比較すると、経路ごとに独立したキューを持つという違いはあるが、輻輳が起きたときのキュー内での処理は同じである．

ここで、

- 階層符号化した階層ごとに QoS を保証
- 全階層で 1 つの QoS を保証

という 2 通りの経路の確保の方法が考えられる．前者は、QoS を保証する経路の本数によって転送する階層数を変更できるため、後者に比べて優先順位に応じた転送処理を簡単に行える．しかし、QoS 保証された経路を階層ごとに確保する必要があるため、QoS 保証のためのネゴシエーションや、ルータ内でのポリシングやシェーピングを行うために、ルータで多くの資源を消費することになる．

本稿で提案するパケットの送信順序制御を用いることで、後者の方法を用いても優先順位に応じた転送処理を適切に行うことができるようになる．また、4.1 節で示したように、ルータに必要なキューの長さも短くなる．よって、ルータでの資源の消費を抑えることができる．

6. 実 装

MPEG-1 データの階層伝送を実現するシステムを FreeBSD 上に実装した．本研究のために実装を行った部分は、図 9 の網掛けした部分である．

送信ホストは、通常の MPEG エンコード済みのデータを読み込み、階層符号化とパケットの送信順序制御を行い、シェーピングして送信している．今回の実装では、動画像のみを用い、フレーム数を基準にした 3 階層の階層符号化を行っている．送信順序制御のアルゴリズムは、4 章に述べた手法を用いている．

データは IP マルチキャストを用いて送信する．送信するパケットは、IP 層以上のレイヤについては次のようなプロトコルを用いている．

- IP
- UDP
- RTP (RealTime Protocol ³⁾)
- RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video ²⁾

階層ごとの優先順位を設定するために、IP ヘッダの TOS (Type of Service) フィールドを利用している．RTP と RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video を用いて MPEG データ格納している．階層符

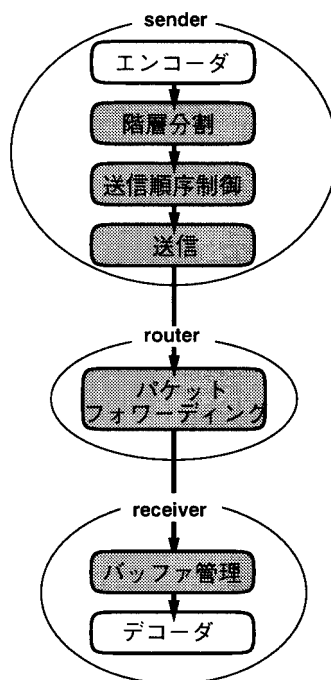


図 9 システムの全体構成
Fig. 9 System configuration.

号化に対応するために、一部、独自のフィールドを利用した．

階層伝送に対応したルータは、ALTQ (ALTeRNate Queuing ¹⁾) を利用して実装した．ルータのキュー長や帯域の制限は自由に変更が可能である．

受信ホストは、受信したパケットを正しい順序に並べ替え、通常の MPEG デコーダで処理できるようにする．このとき、紛失したデータがあれば、そのフレーム全体のデコードをスキップするようにした．スキップしたフレームに依存するフレームがある場合は、それらのフレームのデコードもスキップさせる．つまり、MPEG の P フレームのデータが紛失すると、その P フレームだけでなく、前後の B フレームも再生されなくなる．同様に、I フレームが紛失した場合は同一 GOP (Group Of Pictures) 内の P, B フレームも再生されなくなる．

7. 評 価

実装したシステムを用いて、送信順序制御を行うことで優先順位に応じたパケットの転送処理にどの程度変化があったか評価を行った．

実験環境を図 10 に示す．送信ホストはマルチキャストを用いて、階層符号化された MPEG データを送信する．送信ホストからルータへの経路の帯域は十分

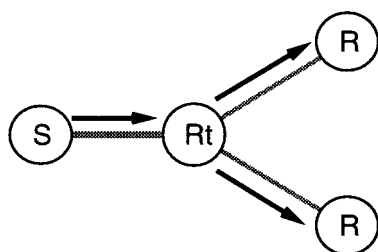


図 10 実験環境

Fig. 10 Environment of experiment.

表 2 階層ごとのデータ量とパケット数

Table 2 Amount of data and number of packets of each layers.

階層 (MPEG Picture Type)	0 (I)	1 (P)	2 (B)
データ量の比率	16%	46%	38%
パケット数 (パケット数の比率)	533 (14%)	1660 (44%)	1550 (41%)

に余裕があるが、ルータから受信ホストへ至る 2 つの経路は帯域を制限して評価を行った。パケット転送中にルータのキューが溢れた場合には優先順位の低いパケットを破棄する。

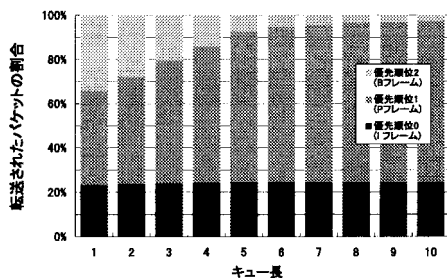
1.2 Mbps のデータとして符号化された MPEG データを階層符号化して送信を行った。このデータは、毎秒 30 フレーム、GOP 内のフレーム数は 15 で、各 GOP は I フレーム 1 枚、P フレーム 4 枚、B フレーム 10 枚で構成されている。階層符号化を行ったときの各階層のデータ量の割合を表 2 に示す。

実際に送信されるデータには IP パケットヘッダや RTP ヘッダなどが付加されるため、すべての階層を転送するには 1.3 Mbps の帯域が必要であった。このようなデータを 30 秒間にわたって送信する。30 秒間に送信ホストが送信した総パケット数は 3743 個であった。

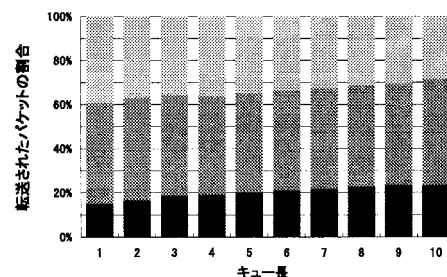
7.1 転送されたパケット

今回の実験データでは、I ピクチャと P ピクチャのパケットをすべて転送するために必要な帯域は 0.8 Mbps であった。そこで、ルータから受信ホストまでのネットワーク帯域を 0.8 Mbps に制限し、キュー長が 1 から 10 までのそれぞれの場合について、転送できた各階層ごとのパケット数の比率を図 11 の (a) と (b) に示す。

送信順序を制御した場合の方が、優先順位の高い階層を確実に転送することができることが分かる。キュー長が 5 程度であれば破棄されるパケットが最も優先順位の低い階層にのみ集中し、I フレームと P フレームのデータはほぼ確実に転送できている。



(a) 送信順序制御あり (Sending order controlled)



(b) 送信順序制御なし (Sending order uncontrolled)

図 11 転送したパケットの内訳

Fig. 11 Rate of number of forwarded packets by router.

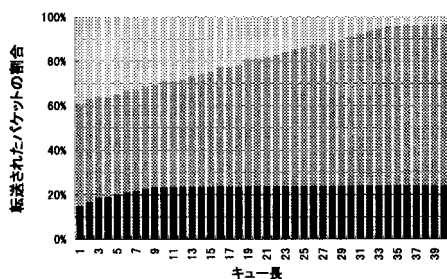


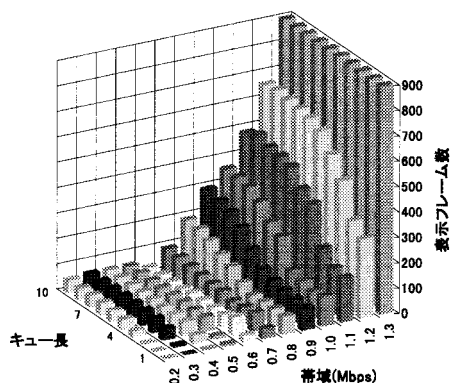
図 12 転送したパケットの内訳 (2) (送信順序制御なし)

Fig. 12 Rate of number of forwarded packets by router (2) (Sending order uncontrolled).

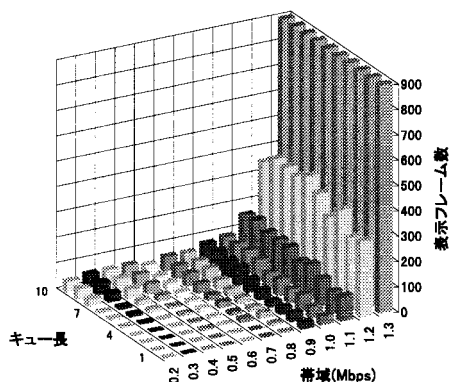
これに対し、送信順序を制御せず、MPEG データの並びのままでパケットを送信した場合には、優先順位の高い階層であってもパケットが破棄されており、優先順位を有効に利用できていない。キュー長をのばすことで結果を改善できるが、キュー長は 30 以上に設定する必要がある (図 12)。

これらの結果から、送信順序を制御することで、輻輳が発生したときに優先順位を適切に反映した処理が行えることが確認できた。

制限する帯域を 0.8 Mbps 以外に変更して実験を行っても、送信順序を変更した場合の方が、キューが短くても適切な転送を行えるという結果が得られている。



(a) 送信順序制御あり (Sending order controlled)



(b) 送信順序制御なし (Sending order uncontrolled)

図 13 表示できたフレーム数

Fig. 13 Number of frames which can be displayed.

7.2 表示フレーム数

本節では、受信ホストで表示できたフレーム数について評価する。実験環境と送信したデータは前節と同じである。データが完全に揃わなかったフレームは表示しない。また、表示しなかったフレームに依存しているフレームがあれば、それらも表示しない。

秒間 30 フレームの動画データを送信したので、全フレーム数は 900 枚である。以下の値を変化させて表示可能なフレーム数を測定した。

- ルータから受信ホストへ至るネットワークの帯域 (0.2 Mbps ~ 1.3 Mbps)
- ルータ内のキューの長さ (1 ~ 10)

図 13 の (a) と (b) は、パケットの送信順序を制御した場合と制御しなかった場合の結果である。

帯域が 1.3 Mbps 以上であればすべてのパケットを転送できるため、どちらの送信方式でも表示フレーム数は 900 枚である。帯域を狭くした場合には、送信順序を制御した方が表示できたフレーム数が多くなっている。また、送信順序を制御していない場合は、帯域

がわずかに足りなくなっただけで、表示できるフレーム数が急激に減っていることが分かる。これは、重要な I フレームや P フレームのデータを確実に転送することができなかったためである。

この結果から、送信順序を制御することでネットワークの利用効率を高めることができることが示された。

8. おわりに

パケットの送信順序を制御することで、階層符号化されたデータを、より適切に転送できることを示し、送信順序を制御するアルゴリズムを提案した。また、この提案をもとに動画画像送受信システムの実装を行い、MPEG データの送受信実験を行った。実験結果から、パケットの送信順序を制御することで、パケットの転送処理が適切に行れるようになり、その結果、再生できる情報の品質が向上することが示された。

今後の課題は、画質に対する階層符号化と音声を含めた符号化に対応したシステムを実装することや、遅延や受信ホストでのバッファ管理について考察することなどがあげられる。

参考文献

- 1) Cho, K.: A Framework for Alternate Queueing: Towards Traffic Management by PC-UNIX Based Routers, *Proc. USENIX 1998 Annual Technical Conference* (1998).
- 2) Hoffman, D., Fernando, G. and Goyal, V.: RTP Payload Format for MPEG1/MPEG2 Video, RFC2038 (1996).
- 3) Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and Jacobson, V.: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC1889 (1996).
- 4) 酒澤茂之, 滝嶋康弘, 和田正裕: ネットワーク上でレート削減可能なパケットビデオ符号化方式の検討, 信学技報, Vol.IE96, No.39, pp.33-40 (1996).
- 5) 酒澤茂之, 滝嶋康弘, 和田正裕: フレキシブルなビデオストリーム配送方式の検討, 信学技報, Vol.MVE96, No.64, pp.27-33 (1997).

(平成 11 年 5 月 11 日受付)

(平成 11 年 12 月 2 日採録)



古村 隆明

1974 年福井県生れ。1997 年京都大学工学部情報工学科卒業。1999 年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻修了。1999 年より京都大学大学院情報学研究科博士後期課程に進学。インターネットを用いたマルチメディア通信、階層伝送の研究を行っている。



藤川 賢治 (正会員)

1970 年福岡県生れ。1993 年京都大学工学部情報工学科卒業。1995 年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻修了。1997 年京都大学大学院工学研究科助手。1998 年より京都大学大学院情報学研究科助手。高速インターネット、インターネット上での資源予約技術の研究を行っている。ISOC 会員。



池田 克夫 (正会員)

1937 年滋賀県生れ。1960 年京都大学工学部電子工学科卒業。1965 年京都大学大学院博士課程電子工学専攻単位取得退学。同年京都大学助手。1971 年京都大学助教授。1978 年 5 月筑波大学教授 (電子・情報工学系)。1988 年 8 月京都大学教授 (工学部, 1998 年より大学院情報学研究科 (兼) 同研究科長)。この間, 1971 年 9 月~1972 年 3 月米国ユタ大学客員研究員, 同年 3 月~8 月マサチューセッツ工科大学客員研究員, 1984 年 10 月~11 月スイス連邦工科大学客員研究員。高度の情報処理システムの構成に興味を持ち, コンピュータネットワーク, 分散処理システム, マンマシンインタフェース, 画像理解, 文書画像理解の分野で研究を行っている。著書に, コンピュータユーティリティの構造 (昭晃堂), オペレーティングシステム論 (電子情報通信学会), データ通信 (昭晃堂) 等がある。工学博士, 電子情報通信学会, 人工知能学会, IEEE SM, ACM 各会員。電子情報通信学会情報システムソサエティ前会長等。