

補償度クラス別前方誤り訂正を用いた インターネットマルチメディア転送

山内 長 承[†]

本論文では、マルチメディアデータを対話型のアプリケーションにおいてリアルタイム転送する場合を対象にし、そこで問題となるパケット紛失を回避するために紛失パケットを FEC 技術により回復することとし、その場合に問題になる輻輳の変動について、傾斜を付けた異なる冗長度を持たせた複数の層に分割した転送により、パケット損失率に対して適応的に転送・再生する方法について検討した。実現可能性を確認するために、実際に想定されるパラメータを用いた TV 電話の例を次のように設計し、実用的なパラメータが存在することを確認した。具体的には FEC による追加遅延を 50 mS に制約した下で、16 Kbps の帯域を持つ音声 を 4+1 で、動画のうち 32 Kbps の帯域を持つ優先部分を 18+2 で、動画の残り部分を冗長符号なしで組み合わせることにより、すべてのデータを冗長度なしで符号化した場合の 112 Kbps とすべてのデータを 4+1 で符号化した場合の 135.2 Kbps の中間の値である 123.2 Kbps を得た。また、設計した転送システムの FEC による紛失パケット回復性能を予想するために、インターネット上の区間でパケット紛失パターンを採取し、これを入力としてシミュレーションを行った。結果は、輻輳状況によりパケット損失率が異なる場合において、階層に応じた回復が行われることが確認された。平均のパケット損失率がほとんど 0 のトレースではすべての層のパケットが受信され、平均損失率が 5~7%程度のトレースでは音声と動画の優先層が FEC によって 3~4%程度に改善され、平均損失率が 15%程度のトレースでは音声のみが FEC によって 11%程度に改善され、動画の優先層は 13%程度にしか改善されなかった。

Internet Multimedia Transmission Using Multiple FEC Recovery Classes

NAGATSUGU YAMANOUCHI[†]

This paper discusses an enhancement of FEC-based packet recovery method for Internet realtime multimedia transmission. We propose an FEC encoding with different redundancy based on the data priority for the multiple layered multimedia data. By adding redundancy according to the data priority, higher priority data will be recovered even under heavy congestion while lower priority data will be lost. The data transmission change the recovery portion adaptively when the congestion condition changes. We propose the scheme, show an example configuration of the layers and its design feasibility, and also simulate the recovery behavior by using packet loss traces measured in the real internet environment.

1. はじめに

近年インターネットにおいて、TV 会議や中継など、動画・音声を含むマルチメディアデータをリアルタイム転送・再生するアプリケーションが利用されている。TV 会議では CUSeeMe¹、Vic/Vat²、NetMeeting³ など、またライブ・アーカイブビデオの中継では RealVideo⁴ や IP-TV⁵ など、さまざまなシステムが配布され、使われている。ところがこれらは、インターネットで発生する輻輳などの理由によ

りパケットが紛失すると、音質・画質が非常に劣化して視聴に耐えない、もしくは集中して試聴することができなくなる場合が多い。

これに対して、いろいろな回避方法が提案されているが、本論文では転送路上でパケット損失がほぼ 0 となるような帯域専有ををするのではなく、ある程度のパケット損失を許す環境で前方誤り訂正 (FEC: Forward Error Correction) を用いて紛失パケットを回

¹ <http://www.whitepine.com>

² <http://www.lbl.gov>

³ <http://www.microsoft.com>

⁴ <http://www.realnetworks.com>

⁵ <http://www.cisco.com>

[†] 東邦大学理学部情報科学科

Department of Information Science, Toho University

復し、さらに FEC での問題となる冗長度を超えるパケット紛失がときどき発生しても音声・動画を滑らかに再生するために、階層符号化を施した結果に傾斜冗長度を付けて転送する手法を提案し、評価する。

インターネット上の輻輳によるパケット損失に対応するアプローチとして、帯域の専有的な予約によってパケット損失をほとんど 0 にする方法と、輻輳によるパケット紛失をある程度許容できる転送方法を工夫する方法が考えられる。帯域の専有的な予約によるパケット損失回避は、技術的には有効な手段であるが、トラフィックの統計多重効果が期待できないため多重度が上げられず、回線コスト負担が大きくなると考えられる。たとえば TV 会議などの長時間にわたって帯域専有予約することによる回線コストは本質的にかなり高価なものはずである。それに対して、一定のパケット紛失を許す転送は統計多重効果によって、より大きい多重度を期待できるので、回線の使用効率も高くなりコスト負担も低下する。現状のインターネットのベストエフォート配送だけでなく、たとえば DiffServ¹⁾を用いた帯域管理の環境下でも、管理された一定のパケット損失率の下での転送サービスを行うことができ、パケット損失を 0 とする場合に比較してより大きな多重度が見込める。

エンド・エンド間で損失パケットを回復する場合、回復する手段と、回復できない場合のデータ欠落に対する対応策が問題になる。回復手段を大別すると、紛失したパケットを再送信する再送法 (ARQ: Automatic Repeat ReQuest, たとえば TCP²⁾で用いられている)、誤り訂正符号により冗長データを付加することによって受信側で欠落部分を回復する前方誤り訂正法 (FEC, Forward Error Correction)³⁾が提案されている。両者を比較すると、

- 再送による回復は、回復時の遅延が大きい。受信側でパケットの損失を検出、送信側に通知して初めて再送されるため、回復されたデータが受信側に届くまでにパケットの往復の時間が余分に必要となる。IP 電話のような対話アプリケーションでは、この時間が許容できないことがある。具体的にはインターネット上のパケット往復時間 (RTT) が 100 ms 程度である場合、再送が起こった場合の音声データの片道転送には少なくとも 150 ms 要するので、会話が不自然になる。FEC による回復では、この往復による遅延問題は発生せず、パケットの片道転送時間である 50 ms で音声データも到達する。
- FEC による回復は、パケットの紛失が誤り訂正符

号にとって非常に長いバースト損失に相当し、この回復の手法として後述するようにたとえばインターリーブ法を使わざるをえない。インターリーブ法ではデータを一定量のブロックにまとめてから再構成して冗長符号を計算するので、一定量のデータがまとまるまで計算を開始できず、待たなければならない。したがって、これによる遅延が発生し、電話などの対話アプリケーションにとって問題となる。

- 再送による回復は、受信側から送信側に再送要求を示す応答が送られるが、受信端末数の大きい 1 対多通信の場合に応答が送信側をあふれさせる⁴⁾。FEC による回復では、このあふれ問題は発生しない。
- FEC による回復は、輻輳の変動によりパケットの損失率が変化した場合に、回復限界を超える可能性がある。FEC は送信時に付加される冗長度によって回復可能な損失パケット数の上限が決まり、これを超える損失が発生すると回復できない。ベストエフォート型のインターネットでは、輻輳によるパケット損失は他のトラフィック量によって決まるので、回復限界を超える可能性がある。最悪時の輻輳に備えて冗長度を十分に大きくする設定は、平時には不必要な冗長符号を送信することになり、帯域の有効利用の観点から望ましくない。再送による回復は、時間はかかるがすべての紛失したパケットを届くまで繰り返し再送することによって完全に回復できる。

このように、転送遅延の制約のある電話などの対話アプリケーションや、受信端末数の大きい 1 対多マルチキャスト配信では、FEC による回復を用いることによって紛失パケットの回復が可能になるが、インターリーブ長の設定に留意する必要がある、また輻輳の変動に対する対策を考える必要がある。

本論文では、輻輳の変動に対する 1 つの解決法として、階層符号化したマルチメディアデータの傾斜優先度付き転送^{5),6)}の考えを、FEC によるパケット回復に援用することを提案する。

階層符号化されたデータの傾斜優先度付き転送とは、音声・動画などのマルチメディアデータを、再生時の重要度が異なるいくつかの部分 (層) に分解し、重要度に応じた優先度を持って転送するという技術である。たとえば画像の場合、解像度の粗い部分のデータとその粗い画像を補間して細かい部分を再現するデータに分解すると、細かい部分のデータが失われても粗い部分のデータだけでおよその画面が再生できる。粗い部

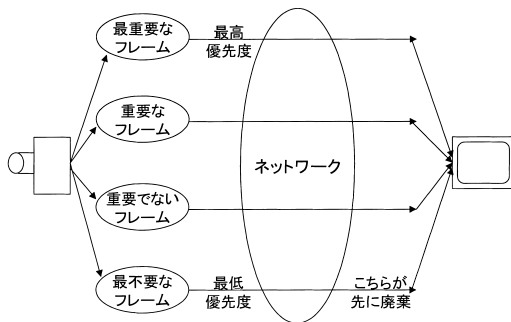


図1 傾斜優先度付き転送 (適応型 QoS)
Fig. 1 Adaptive QoS.

分の転送について優先度をより高く設定し、より確実に届くような仕掛け (傾斜優先度つき転送) を準備すれば、輻輳によってパケット損失が発生しても細かい部分が先に欠落して粗い部分が優先的に転送され、受信側では粗い部分のデータを用いておよその画像が再生できることになる (図1)。

動画の場合では、画面のピクセルの間引きに相当する空間解像度だけでなく、フレームの間引きに相当する時間解像度、色の階調の間引きに相当する色相空間解像度にも適用できる。また TV 会議のように動画と音声といった複数のメディアを併用する場合、音声データの優先度を画像データよりも高くすることにより、画像は届かないが音声だけは届く、といった転送も可能になる (メディア間傾斜優先度)。同様に動画と音声からなるニュース番組にテキストを追加すれば、動画も音声も届かないがテキストだけは届くといった優先度の制御も可能になる。

傾斜優先度付き転送の考え方は、パケットに優先度を記しておきルータで優先度に応じた転送を行う方法⁵⁾や、マルチキャストの場合ルータは既存のままとし、優先度別の転送グループを作り受信端末が輻輳状況により適当なグループに受信参加することにより輻輳制御する Layered Multicast⁶⁾の形で提案されてきた。また、DiffServ のような管理された帯域利用の環境でも、異なるパケット廃棄率の上限を持つ複数のクラスを並行に利用することによって、傾斜優先度つき転送を実現することができる。本論文では FEC に対して同様の考え方を適用することにより、輻輳変動によるパケット損失率の変化に対応する手法を検討する。

2. 傾斜優先度を持つ FEC

2.1 FEC の紛失パケット回復への適用

FEC は、通信路の雑音による誤りや磁気記録の誤りを訂正する目的に広く使われているが、多数のピッ

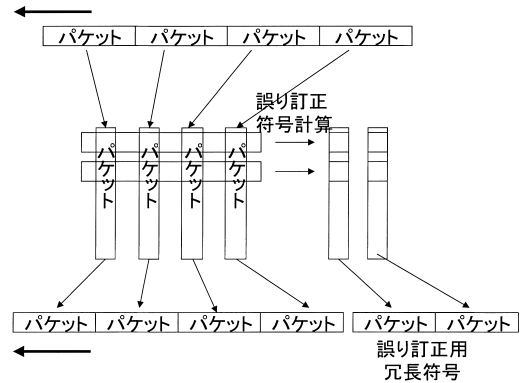


図2 インターリーブ法
Fig. 2 Interleaving.

ト誤りが連続したバースト誤りの訂正は、冗長符号だけでは難しい。パケットの紛失は、数 1000 から 10000 ビットを超える非常に長いバースト誤りなので、インターリーブ法⁷⁾を用いた対策が必要となる。

インターリーブ法は誤りを複数箇所に分散させてしまう手法で、紛失パケット回復に適用すると図2のようになる。複数のパケットを 1 つのブロックとし、パケットを縦に置いて並べる。この中から横 1 行を取り出して冗長符号を計算し、右側にある冗長符号のための列 (パケット) の対応する行に置く。この操作をすべての行に対して行くと、冗長符号のためのパケットが完成する。送出は、列ごとに元のパケットのとおりを送出し、最後に冗長符号のための列をパケットとして送出する。ここで、この行列状のブロックの要素は冗長符号計算上の 1 バイトに相当し、たとえばリードソロモン符号を用いる場合、8 ビットのバイトを要素とすることができる。

インターリーブ法を用いると、パケット j が紛失した場合には、パケット j の i 番目の要素は残りのパケットの i 番目の要素と冗長データパケットの i 番目の要素から回復できる。回復の手続きから見ると、各パケットの i 番目の要素だけを並べた行のうち第 j パケットの要素だけが欠落していることになり、誤りが集中していないため、回復が可能になる。

誤り回復の限界は、上記の i 番目の要素の行からどれだけの冗長データを生成するか依存している。ところで、通常の誤り訂正では、訂正できる誤りの要素の少なくとも 2 倍の冗長データを加えなければならない。しかし、紛失パケット回復の場合は誤りの位置、つまりどのパケットが紛失したかが分かるため、同数の冗長データを加えれば回復できることが知られている (消失誤り)。

インターリーブ法を用いるためには、パケットをイ

ンターリーブブロックに集めてから冗長符号を計算しなければならない．送信側ではデータの生成と並行してパケットを送出し，最後のデータパケットを送出した直後に冗長符号を計算して，冗長符号パケットを送出することが可能である．しかし，受信側ではブロック内のすべてのパケットが揃わないと回復処理を始めることができない．したがって，ブロック内のデータパケットをいったんすべて貯める必要があり，そのための遅延が発生する．後述の例に見られるように，音声データの場合データ発生レートが低いいため，ブロックが満たされるまでの時間が長く，それが大きな遅延となる可能性がある．

なお，以下の構成案では誤り訂正符号にリードソロン符号の利用を仮定するが，任意長のデータを扱うために短縮型 (shortened) のコードを用いることとする．

2.2 傾斜優先度を持つ FEC

FEC は，前述したようにパケット紛失率の変動に対して弱い．回復できる紛失率の上限は送信時に与える冗長度によって決定されるからであり，それを超えるパケット紛失が発生すると訂正回復することができないからである．輻輳によるパケット損失は一般にはトラフィック量の変動によって変化する．本研究では，転送するマルチメディアデータに対し重要度の異なる階層的エンコーディングを施すこととし，各階層に対して重要度に応じた転送優先度を与えて転送する方式を提案する．すなわち，優先度の高いデータをより多く回復できるように，冗長度のより大きい冗長符号を付加して転送する方式を提案する．

たとえば優先度の異なる H, M, L の 3 層からなるデータを転送する場合，優先度の高い H 層のデータに対して 25%，中間の M 層のデータに対して 10% の冗長度を加え，優先度の低い L 層のデータに対しては冗長度を加えないとする．パケット紛失がない場合は H, M, L のすべての層のデータが正しく受信でき，再生される．輻輳が発生して 10% 以下程度の比較的軽いパケット紛失が発生するときは，L 層のデータは復元できないが，H, M 層のデータは紛失を回復できる．輻輳が激しくパケット紛失が 10～25% 程度になる時は，M, L 層は回復できなくなるが H 層は回復でき，品質は多少劣化するが動画サービスを継続できる．輻輳が激しく紛失率が 25% を超える程度になると，すべての層を回復できなくなり，サービスは中断せざるをえない．

この方式の特徴は，輻輳状況が変化して紛失率が変動する環境でも，送信側に何も操作を加えなくても紛



図 3 傾斜優先度システムの構成

Fig. 3 Priority configuration.

失率レベルに合わせたレベルのデータを中断なく円滑に再生する graceful degradation のサービスを提供できる．また，帯域資源の利用の観点からは，すべてのデータに対して大きい冗長符号を付加するのではなく，データの必要度に応じた大きさの冗長符号を付加することにより，帯域資源の最適な利用を行うことになる．

2.3 傾斜優先度を持つ FEC の適用可能性

傾斜優先度を持つ FEC 方式の実現可能性を示すために，実用的な，比較的狭帯域の TV 電話を例として，冗長度の組合せを設計してみる．具体的には 16 Kbps の音声データ，64 Kbps の動画データがあるものとし，さらに動画が粗い部分の 32 Kbps と細かいところを補う部分の 32 Kbps の 2 つに分割されるような，3 階層の階層型エンコーディングが可能であるとする．また，FEC によって新たに発生する転送遅延を最大 50 mS までにとどめることを条件とする．これは対話が成り立つための 300 mS 程度の遅延上限から考えて仮定した値である．この遅延の上限によって，インターリーブブロックへ滞留できるデータ量が 50 mS 分に限定され，それは 16 Kbps 音声では 100 B にあたる．

この 100 B を 4 つのデータパケットに分割し，それに冗長度を付加することとする．この音声を高優先度の H 層とし，これに対しては 4 データに対して 1 データの冗長度を加えることにする．その結果，パケットの送出間隔は 10 mS (50 mS に 5 パケット) となり，このパケットには 25 B のデータを持つ．また，動画データは 32 Kbps の 2 層に分解するが，粗い画面を与える部分を中優先度の M 層とし，音声より少ない冗長度として 18 データに対して 2 データの冗長度を与え，細かい画面を与える部分を低優先度の L 層とし，冗長度なしとする (図 3)．

個々のパケットは 25 B であるので，このままではパケットヘッダ (IP, UDP, TP ヘッダ, 合計 42 B) のオーバーヘッドが大きくなる．対策として，音声と動

画データを別パケットとするのではなく、同一パケット内に入れ込むこととする。ただし、同一パケットに入れ込むことが必ずしも M, L 層の動画データに対して同じインターリーブブロック長を使うことを意味しない。パケットの送出時間間隔は同一でなければならないが、インターリーブ長を層によって変えることは、可能である。H 層の音声に対しては遅延の上限を 50 mS とするためにインターリーブブロック長を 100 B, その中を 4 分割して 1 冗長データを追加し全体を 5 パケットとすることとしたが、M 層に対してはインターリーブブロック長を 18 パケットとし、それに対して 2 冗長データを追加し全体を 20 パケットとする。パケットの送出間隔を 10 mS としたので、20 パケットブロックは 200 mS に相当し、32 Kbps の発生率の動画データであるから 800 B 分に相当する。この 800 B 分のデータを 18 パケットに分割すると 45 B となり、それに 2 パケット分の冗長データを追加する。L 層は 32 Kbps の動画であるが冗長データを追加しないので、単純に 10 mS に対して 1 パケットを生成し、1 パケットは 40 B となる。

H 層データは 5 パケットのうちで 1 パケット紛失しても再生できるので、パケット紛失率 20% に相当する。また M 層は 20 パケットのうちで 2 パケット紛失しても再生できるので、紛失率 10% に相当する。

音声部分はデータレート 16 Kbps に対してインターリーブブロック長を 100 B と短くして遅延を 50 mS に抑えているが、動画部分はデータレート 32 Kbps に対してブロック長を 800 B としているので遅延は 200 mS となる。したがって、音声と動画は厳密には同期 (リップシンク) しなくなる。

この設計の評価の 1 つとして、冗長データを含めた総転送量を計算しておく。冗長データを加える前のもとのデータ量は音声と動画を合計して 80 Kbps であるが、10 mS に 1 パケットの割合でパケット化 (パケット長 100 B) してヘッダ (IP, UDP, RTP, 合計 40 B) を加えると 112 Kbps に相当する。これは優先度の差を付けず、すべてのデータを L 層と見なし転送する場合に相当する。また、上で述べた傾斜優先度の場合は、総転送量は 123.2 Kbps になる。ただし FEC 時は 2 B の FEC 制御用ヘッダを加えるので、ヘッダ長は 44 B となる。すべてのデータに H 層と同じ 4+1 の冗長度を付加すると 135.2 Kbps となる。

2.4 傾斜優先度を持つ FEC の回復性能

本方式に対する評価として、実際のインターネット上でのパケット紛失パターンを基にして、紛失パケットの回復状況のシミュレーションを行った。

表 1 トレースデータに基づく FEC によるパケット回復状況
Table 1 Packet recovery simulation based on the trace data.

標本番号	パケット損失率	H 層回復後受信率	M 層回復後受信率	L 層受信率	測定日時
1	.001	.999	.999	.999	00/01/31 11am
2	.054	.971	.968	.946	00/02/02 14pm
3	.068	.962	.959	.933	00/01/31 14pm
4	.088	.930	.930	.912	00/02/10 14pm
5	.124	.907	.899	.876	00/02/08 17pm
6	.131	.899	.893	.869	00/02/08 14pm
7	.151	.889	.873	.849	00/02/01 14pm
8	.156	.894	.874	.844	00/02/01 17pm
9	.182	.859	.839	.818	00/02/02 17pm

いずれも、送出パケット総数は 10000 個である。

実際のインターネット上の 1 つの経路を標本とし、その区間でパケットを転送して、パケットの紛失状況を測定した。転送区間は 2 大学間であるが、発信側大学は広帯域のリンクでバックボーンへ接続され、受信側は輻輳の激しいアクセスリンクを介して接続されている。前述の TV 電話を想定し、UDP を用いて 10 mS ごとに 154 バイトのパケットを送出するプログラムを送信側サイトで稼働させ、受信側サイトで、パケットの到着の有無を記録し、パケット損失のトレースデータを作成した。このトレースデータを輻輳の比較的激しいいくつかの時間帯に採取し、そのうえで傾斜優先度付き FEC を用いたときの回復状況をシミュレーションにより求めた。10000 個のパケットを転送した結果を表 1 に示す。

表 1 では、受信サイトで受け取ったパケットの損失率 (損失パケット数/送出パケット総数)、H 層での 4+1 冗長による回復の結果最終的に受信できたデータパケットの受信率、M 層での 18+2 冗長による回復の結果のデータパケット受信率、L 層の受信率 (L 層では回復処理をしないので、受信パケット率 = 1 - 損失率と同じ)、および参考のために測定日時を記してある。

平均のパケット損失率は標本によってほとんど 0 の状態から 18% 程度まで分布している。H 層は元来 20% の損失まで回復できるはずであるが、個々のインターリーブブロック内 20% を超えるものは回復できないので、平均損失が 18% である標本 9 では、受信アプリケーションが受け取ることができたのは 85.9% であった。残りの 14.1% はブロック内での損失率が 20% を超えたために回復できなかったものである。なおこの回復後受信率の値は、ブロックが回復できれば回復後のデータパケット数、回復できない場合はブロック内で受信

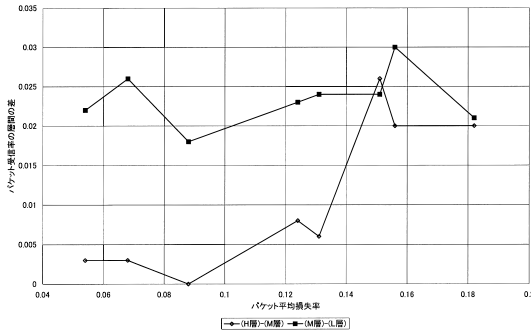


図4 H層とM層におけるパケット回復率の差

Fig. 4 Packet recovery difference between H and M layers.

できたデータパケット数(冗長パケットは除く)の総和を求めたものである。一方M層では冗長度が少なく10%の損失までしか回復できないので、標本9ではH層ほど高率には回復できず、回復後のパケット受信率は83.9%となっているが、それでも受信パケット率の81.8%から2.1%回復している。L層は回復処理をしないのでパケット受信率そのものである。つまり、標本9の場合は、通信路の平均パケット損失が18%であるがH層では14%、M層では16%のデータ損失が軽減されている。

標本2,3では通信路の平均パケット損失が5~7%であり、H層だけではなくM層でも回復が期待される。実際には、標本3では、平均パケット損失が6.8%でH層の回復後のデータ損失が3.8%、M層では4.1%に軽減されている。輻輳状況が異なる層の回復率に対して与える影響を、図4に示す。横軸を平均パケット損失率、縦軸を隣接層間の回復率の差(%)とし、H-MはH層とM層との回復率の差を、M-LはM層とL層との差を示した。

この測定結果から、次のようなことが主張できる。

- FECによって損失パケットは実際に回復される。
- 冗長度と平均パケット損失率を単純比較することによって見込んだ回復性能は、現実には実現されない。これはインターリーブブロック内での損失発生個数が冗長度を超えると回復できなくなることによる。
- 傾斜優先度の考えは、優先度に応じて回復率が向上するという意味では、トレース標本のうでで実証された。
- また、H層とM層の優先度の境界の損失率である10%については、図4で標本2~6と7~9を比較するとH-MとM-Lが逆転しており、損失率の低い状況ではH層とM層の回復が同程度に有

表2 トレースデータ7で4+1のブロック内での損失パケット個数の分布

Table 2 Lost packet distribution for 5 packet interleave blocks.

紛失パケット数	0	1	2	3	4	5
発生数(対2000)	983	633	287	86	9	2

表3 トレースデータ3で18+2のブロック内での損失パケット個数の分布

Table 3 Lost packet distribution for 20 packet interleave blocks.

紛失パケット数	0	1	2	3	4	5	6
発生数(対500)	197	106	92	61	24	14	6

効なのに対し、損失率が12~13%を超えるとH層とM層との差が加わりH-Mが高くなっている。これによって、H層とM層の差が明白に存在することが実証されたことが分かる。他方、層の境界については、パケット損失発生のバラツキによりブロック内での回復限界を超える点(設計上10%)が必ずしも平均損失率(本実測では12~13%)で代表されていない。

このトレースによる測定で予想に反した結果となった部分は次のとおりである。まず、パケット損失率が5~7%の小さい場合でも、H層の4+1冗長符号はかなり回復できていない場合がある。これの理由として、4+1の冗長付加ではパケット損失が2つ以上続けて起こるバースト状のものであった場合に回復できないことがあげられる。一般にインターリーブのブロック長が短いほど、その中でパケットのバースト損失が起こった場合に回復できない。この設計では音声の遅延の制約から、ブロック長を4+1に選ばざるをえないため、バースト損失に弱い結果になったと考えられる。パケットの輻輳による損失がバースト性を持っていることはルータのバッファ機構から容易に想像され、遅延上許されるのであればブロック長をぜひ長くしたいところである。この点を支えるデータとして、標本7および3のトレースデータからブロック内での紛失パケットの個数を整理してみたものを、表2,表3に示す。

標本7の平均損失率が15%であるから、4+1の場合はほとんどが紛失パケット数が0または1の場合に属すると期待するが、2以上の場合もかなり多くこれが層Hの回復率にそのまま反映されている。同様に標本3では平均損失率が7%であるので、18+2の場合についてほとんどが紛失パケット数が0,1,2に属すると期待されるが、3以上の場合もかなり多いことが分かる。

もう1つの予想に反した点は、H層とM層の回復率の差が当初予想したより少ないことである。これも、上記のバースト損失によるH層の回復能力低下が影響していると考えられ、たとえば標本7~9においてH層の回復率が95%程度になればH層とM層の回復率の違いがより明確になると考えられる。

3. ま と め

本論文では、マルチメディアデータを対話型のアプリケーションにおいてリアルタイム転送する場合を対象にし、そこで問題となるパケット紛失を回避するために紛失パケットをFEC技術により回復することとし、その場合に問題になる輻輳の変動について、傾斜を付けた異なる冗長度を持たせた複数の層に分割した転送により、パケット損失率に対して適応的に転送・再生する方法について検討した。

実現可能性を確認するために、実際に想定されるパラメータを用いたTV電話の例を次のように設計し、実用的なパラメータが存在することを確認した。具体的にはFECによる追加遅延を50msに制約した下で、16Kbpsの帯域を持つ音声をもとに4+1で、動画のうち32Kbpsの帯域を持つ優先部分を18+2で、動画の残り部分を冗長符号なしで組み合わせることにより、すべてのデータを冗長符号なしで符号化した場合の112Kbpsとすべてのデータを4+1で符号化した場合の135.2Kbpsの中間の値である123.2Kbpsを得た。

また、設計した転送システムのFECによる紛失パケット回復性能を予想するために、インターネット上の区間でパケット紛失パターンのトレースを採取し、これを入力としてシミュレーションを行った。結果は、輻輳状況によりパケット損失率が異なる場合において、階層に応じた回復が行われることが確認された。平均のパケット損失率がほとんど0のトレースではすべての層のパケットが受信され、平均損失率が5~7%程度のトレースでは音声と動画の優先層がFECによって3~4%程度に改善され、平均損失率が15%程度のトレースでは音声のみがFECによって11%程度に改善され動画の優先層は13%程度にしか改善されなかった。

さらに、当初設計時に予想したより回復率が低いこ

と、予想よりH層とM層との差が少ないことについては、ブロック内のパケット損失数の分布の広がり原因を求められるが、これについてはさらに分布状況を把握し、閾値としてどの程度の値をとるべきかを検討したい。

参 考 文 献

- 1) Brake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z. and Weiss, W.: An Architecture for Differentiated Service, RFC 2475, Internet Society (1998).
- 2) Postel, J.: Transmission Control Protocol, RFC 793, Internet Society (1981).
- 3) Rizzo, L.: Effective Erasure Codes for Reliable Computer communication Protocols, *ACM Computer Communication Review*, Vol.27, No.2, pp.24-36 (1997).
- 4) 山内長承, 城下輝治, 佐野哲央, 高橋 修: 高信頼同報バルク転送機構, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.6, pp.2009-2019 (1998).
- 5) 尾上裕子: QoSに基づくマルチキャスト通信, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会報告63-7, pp.49-56 (1994).
- 6) Vicisano, L. and Crowcroft, J.: One-to-many reliable bulk-data transfer in the mbone, *HIP-PARCH 1997* (1997).
- 7) 江藤良純, 金子敏信: 誤り訂正符号とその応用, オーム社 (1996).

(平成12年5月22日受付)

(平成12年10月6日採録)



山内 長承(正会員)

昭和28年生。昭和50年東京大学工学部電子工学科卒業。昭和58年同大学院情報工学専門課程博士課程中退。昭和53~59年スタンフォード大学大学院在学。昭和59年~平成12年日本アイビーエム(株)勤務。平成12年より東邦大学理学部情報科学科助教授。主としてOS、並列プログラムの検証、計算機ネットワークの応用の研究開発に従事。工学博士。ACM, IEEE, 日本ソフトウェア科学会各会員。