

圧縮法を用いた連続メディア転送プロトコルの研究

30-4

知念正 柴田義孝

東洋大学工学部情報工学科

1 はじめに

本稿では、動画圧縮法としてMPEGを使用した場合の2つの可変ビットレート転送方式を導入し、その性能評価を行なった。又、パケット紛失の影響を抑えるためにパケット再転送によるパケット回復制御について考察を行った。

2 連続メディアデータ

MPEG ビデオデータは高圧縮率を実現するため、I、P、B ピクチャという3つのタイプのフレームから構成されており、これら複数のフレームが規則的に並んでいるグループを Group of Picture(以下 GoP) と呼ぶ。従来は、ネットワーク転送において GoP 単位による一括転送が行われていた。一方、メディア間の同期や、フレームレート制御にも柔軟に対応させるためにフレームを単位ごとに転送する方法が必要とされる。

3 可変ビットレート転送

本研究では、図1のようにパケットサイズを固定とし、単位時間に送出するパケット数及びパケット間隔をフレームに応じて調整する可変ビットレート転送を導入する[1]。MPEG 圧縮ビデオでの転送方式の単位としては、図1(a)のように各 GoP ごとにデータをフラグメント化してパケット数を発生させて転送する GoP 一括転送と図1(b)のように GoP をフレームごとに識別し、フレーム単位でパケットを生成して転送するフレーム転送方式を導入した[2]。この2つの転送方式を比較すると以下の様になる。

GoP 一括転送方式の場合: フレームタイプに依存せずパケット化でき、パケット総数が少なく処理が軽くなるが、パケットロスが生じた場合、1つの GoP に含まれている複数のフレームが失われる。
フレーム転送方式の場合: GoP をフレームごとに識別し、パケット転送するため、パケット総数は多くなり、各制御の処理が複雑となるが、パケット紛失の及ぶ範囲は1フレームに限定でき、しかもパケット回復制御に柔軟に適用できる。

4 レート制御

ビデオデータの再生表示では、クライアントやサーバの負荷変動、ネットワーク上のトラフィックの変動により提供可能なフレームレートが変化するので、フレームレートを動的に制御するフレームレート制御[1]、及び過負荷によって生じるパケットの取りこぼしを許容範囲に抑えるパケット間隔制御を同時に行う必要がある。

4.1 パケット間隔制御

パケットロスを許容率以下に抑制するためにパケット間隔 PI の調整が必要となる。クライアントステーション負荷に対する連続転送されるパケットのロス率は、図2のように、その負荷状態に対してパケット間隔が

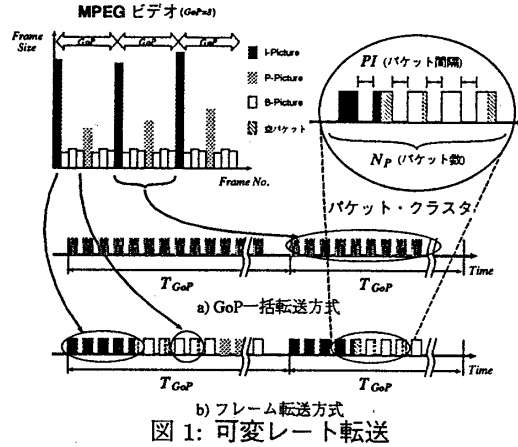


図1: 可変レート転送

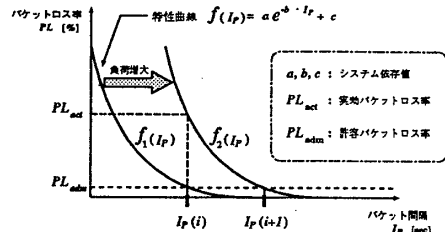


図2: パケット間隔とパケットロス率の特性曲線

一定以上に小さいとパケットロスを発生するようになることが分かっている[1]。そこで、制御フローにおいて、クライアントで検出されたパケットロス率 PL_{act} が許容パケットロス率 PL_{adm} を超えた時にはすぐに $PL_{act} < PL_{adm}$ となるようにパケット間隔を動的に調整する。パケット間隔を広げたことにより制約時間が保てなくなる場合には、フレームレート制御ループのフィードバックによりフレームレートの設定値が下がり、これにより転送パケット数が減少することになる。

4.2 平均パケットロス比率

フレームレート一定に保つためには、制約時間内できるだけ短時間でパケット転送することが望ましい。しかしながら、UDPのような信頼性のないプロトコルを用いてパケットの転送間隔を短くするとオーバーランによるパケット紛失が生じ、フレームレート低下を招く、MPEG ビデオでのパケット紛失のフレームレートへの影響を解析するために表1のビデオを用いた。例

表1: ビデオデータの評価条件

圧縮フォーマット	MPEG-1
フレームレート [frames/sec]	30
必要転送速度 [Mbps]	5.0
パケットサイズ [bytes]	4K
GoP 当たりのフレーム数 (N)	10
I、P フレーム周期 (M)	5
フレームタイプ	I P B
平均パケット数 [packets/frame]	8 8 5

えば、表1の評価条件において、フレーム転送方式での GoP 当たりに含まれる平均パケット総数 (m_g) は、

$$m_g = 1 \times 8 + 1 \times 8 + 8 \times 5 = 56[\text{packets/GoP}]$$

表1の場合、Iピクチャが紛失すると10フレーム、Pピクチャの場合は、5フレームが伸張不可能となる。従って、1パケット紛失による平均フレーム数は、

$$\frac{10}{7} + \frac{5}{7} + \frac{5}{7} \approx 2.8$$

10フレーム中2.8フレームがフレーム紛失を受けることが分かる。同様にGoP一括転送においては、GoPを最小単位として処理するので、GoP当たりに含まれるフレーム数を10[frame/GoP]、GoP当たりの平均パケット総数は51[packets/GoP]であり、1パケットの紛失によって10枚のフレームが影響を受けることになる。

5. パケット回復制御 MPEGビデオでは、パケット紛失により複数のフレームへ影響するのでパケット紛失を生じさせてないためには、パケットの再転送によるパケット回復制御が必要となる。そこで、パケット毎に付加されているシーケンス番号を用いてパケット紛失を検知し、パケットの再転送方式として"Go back n"や"Selective repeat"を導入する。

Go back n方式の場合：送信側では、紛失したパケット以降の全てのパケットを再転送し、再転送要求の間に転送されたパケットは全て削除する。特徴は、アルゴリズムが単純であるが冗長なデータが再転送される。

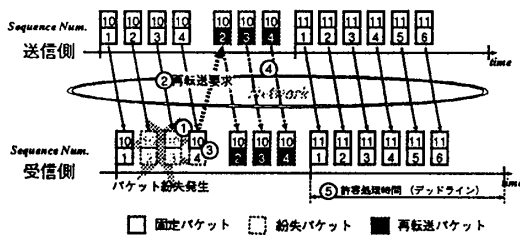


図3: Go back n方式

Selective repeat方式の場合：紛失したパケットのみだけを受信側に送信し、再転送要求間に転送されたパケットはバッファに格納する。この方式は紛失が少ない場合は有効であるが、受信パケットを格納するために大きなバッファが必要となる。

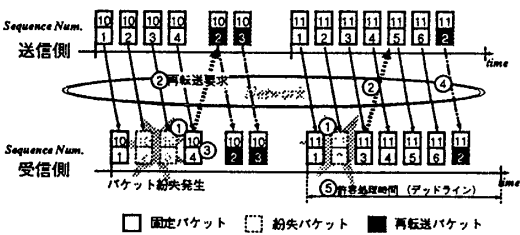


図4: Selective repeat方式

8. プロトタイプ及び性能評価

GoP一括転送方式とフレーム転送方式の性能比較を行なうために、ネットワークには転送速度100Mbpsの非同期サービスをサポートするFDDIを用い、ネットワークプロトコルとしてはUDP/IPを用いた。又、評価に使用したビデオデータは表1の通りである。測定は、MPEGビデオ伸張プロセスを負荷としてクライアントに与えた場合、パケット間隔とパケットロス率及びスループットを測定し、又、各パケット間隔でのパ

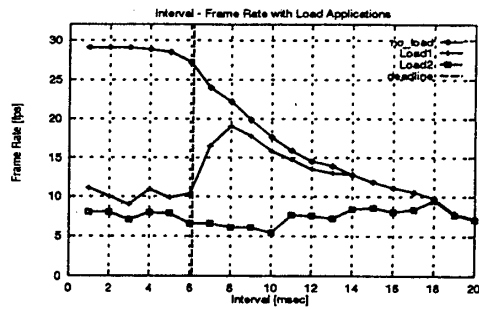


図5: GoP一括転送の場合

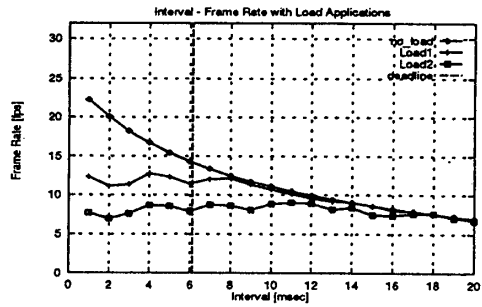


図6: フレーム転送の場合

ケットの紛失によるフレームレートへの影響について解析を行なった。まず図5は、GoP一括転送方式のパケット間隔とフレームレートの関係を示す。図中でプロットされている点はクライアントを無負荷の場合と複数の伸張プロセスの負荷を与えた。フレームレートを保つためには、1パケット当たりの限界パケット間隔は6.13msecとなり、無負荷の場合、この間隔を越えると30fpsを保てなくなり、間隔が大きくなるにつれ、フレームレートは低下する。又、過負荷の場合、パケット間隔を減少するにつれて、クライアントのパケット取りこぼしのため、パケットロス率が非常に増大し、実効フレームレートへの低下に継ることが分かる。同様に図6は、フレーム転送方式のパケット間隔とフレームレートの関係を示す。GoPを各フレームごとに識別する必要のためGoP一括転送に比べてパケットのオーバーヘッドが大きくなり、又、GoP当たりのパケット数も大きくなるので、パケット間隔を限界パケット間隔に減少させても、30fpsで転送することはできなかった。これはサーバの処理能力が無負荷時でさえ、30fpsのソースビデオを転送するのに十分でないことが分かる。

7 まとめ

圧縮ビデオの転送方式としてGoP一括転送とフレーム転送を導入した。又、MPEGビデオは前後のフレームに対する依存性があるためにパケット紛失により伸張不可能な状態が生じ、フレームレートの低下に継がる。そこで、パケットレベルでの回復制御として、"Go back n"や"Selective repeat"のパケット再転送方法を検討しており、実際にパケット回復制御を導入した際の性能評価、及びレート制御を行なっている。

参考文献

[1] 赤間孝司, 渡辺光輝, 橋本浩二, 柴田義孝: "パケットオーディオ・ビデオシステムのための動的なパケット間隔制御," 情処研報 DPS-67, Vol. 94, pp. 37-42, 1994.
 [2] 知念 正, 柴田義孝: "圧縮オーディオ・ビデオのための連続メディア転送プロトコルの研究," 情処研報 DPS-77, Vol. 96, pp. 7-12, 1996.