

アプリケーションレベルにおける冗長化による MPEG 通信の信頼性向上について

齊藤 大徳 最所 圭三 福田 晃
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒630-01 奈良県生駒市高山町 8916-5
{daitok-s, sai, fukuda}@is.aist-nara.ac.jp

あらまし

MPEG 通信などのマルチメディア通信においては時間的制約があり一般的な再送による信頼性向上が計れないため、通信容量が不足などによるパケット損失が発生した場合メディアの伝送品質が劣化するのを防ぐことができない。そこで本研究では、アプリケーションレベルで通信を冗長化することにより、パケット損失を減少させ、その信頼性を向上させることを目指す。しかしながら通信を冗長化することは、通信量の増加を引き起こす。これは、パケット損失を増加させる方向に働く。その為 MPEG 通信を対象にして、通信量の増加によるパケット損失の増加と冗長性を加えた事によるパケット損失の減少とのトレードオフについて、議論する。

キーワード マルチメディア, 冗長化, MPEG, 2重化, パリティパケット, 解析

Highly Reliable MPEG Transmission with Redundancy in Application Level

Daitoku Saito Keizo Saisho Akira Fukuda
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and
Technology
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-01
{daitok-s, sai, fukuda}@is.aist-nara.ac.jp

Abstract

A packet loss caused by such as lack of network capacity causes degradation of quality of transmitted media. When there is no limitation on time, it is possible to prevent packet loss by transmitting a lost packet again. Retransmission, however, cannot be used for continuous media such as video data encoded in MPEG form, because retransmission takes long elapsed time. This study aims at decrease in packet loss using application level redundancy, and then improving the reliability of transmission. Redundant transmission, however, increases volume of transmission and leads increase in packet loss. In this article, the tradeoff between them is discussed.

Key Words Multimedia, Redundancy, MPEG, Duplication, Parity-Packet, Analysis

1. はじめに

時間的に連続している、大量である、などの特徴を有しているマルチメディアを通信する場合、実時間性および連続性が要求される。しかも大量のデータであるため長時間の通信になることが多い。本研究では、クライアントーサーバモデルにおいてこのようなデータを扱う場合、通信の途中でサーバに障害が発生しても処理を継続できるシステムの構築を目指している。

信頼性のないパケット通信による MPEG 通信等のマルチメディア通信においては、時間的制約があり一般的な再送による信頼性向上が計れない。再送を行なうことによってすべてのデータが転送できるが、たとえパケットが到着したとしても到着が遅れると時間的制約を満たせなくなり再生に用いることができない。また再送を行うことにより後続のデータの転送も遅れてしまいかえって信頼性が低下してしまう。つまり再送を用いない信頼性のないパケット通信においては、通信容量が不足しパケット損失が発生した場合メディアの品質が劣化するのを防げない。

そこで本研究では、通信に冗長性を加えることにより、パケット損失を減少させ、通信の信頼性を向上させることを目指す。我々は、パケットを2重化して転送することが、一般のネットワークにおいても有効であることを確かめている¹⁾。しかし、2重化を行うことは通信量が2倍になるため、一般のネットワークに用いることは困難である。そこでパケットを2重化するのではなく、RAID ディスクに用いられているように、パケットをグループ化しそれにパリティパケットを付加することにより信頼性を向上させることを提案し、その有効性を確認している²⁾。この方式は、パケットを2重化する方式と比較して、信頼性は落ちるがデータ転送量を減少できる。

本稿では、これらの冗長化手法の応用として MPEG のような構造を持っているデータに対して適用する法について議論する。MPEG は3種類のフレームから構成されておりそれぞれのフレームは重要度はそれぞれ異なる。そこで重要度の高いフレームから優先して冗長化することにより、通信量の増加を押さえる。この場合、

冗長化するフレームを増やすと信頼性は向上するが通信量が増加し、逆に冗長化するフレームを減らすと通信量は減少するが信頼性は低下するというトレードオフが生じる。そこで、通信量の増加によるパケット損失の増加と冗長性を加えた事によるパケット損失の減少とのトレードオフについて調べる。

以下、冗長化の方法について2節で説明する。3節では、MPEG を例にとった通信の多重化の方法を検討し、さらに具体的な動画像を転送する際の評価およびその考察を行う。最後に、まとめと今後の目標を4節で示す。

2. 通信の冗長化

2.1. 2重化通信

サーバを多重化することにより、クライアントーサーバシステムの信頼性を向上できるが、セカンダリサーバ上のサーバプログラムの状態により、その性質が異なってくる。もっとも単純なものは通常時のセカンダリサーバ上では、サーバプログラムは動作していないくて、プライマリサーバで障害が発生した時に立ち上がるものである。これに対して我々は、セカンダリサーバ上でもサーバプログラムを動作させ、さらにその状態をできる限りプライマリサーバ上の

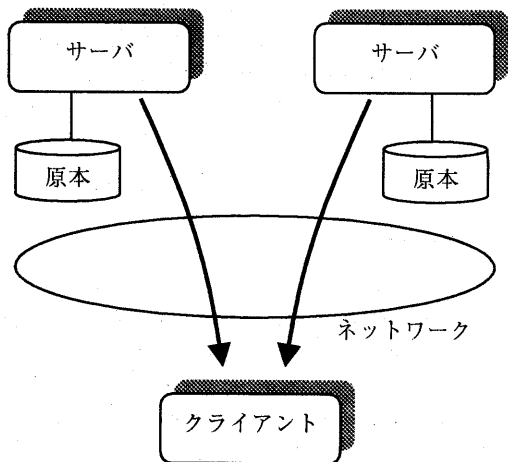


図1：複数のサーバからの同時サービス

サーバプログラムと同じ状態にすることにより、プライマリサーバに障害が発生してからセカンダリサーバに置き換わるまでの時間をできる限り短縮する方法（プロセスレベルの多重化）についての研究を行っている⁴。しかし、それでもマルチメディアの連続性を保証できない。そこで、図1に示すように、クライアントに、通常時もセカンダリサーバからプライマリサーバと同じサービスを受けさせるようにすることにより、障害が発生してもマルチメディアの連続性を保証することを提案した。この方式では、2つのサーバが同時に障害を起こさない限り、マルチメディアの連続性を保証できる。

また、2つサーバから、パケットレベルで全く同じサービスを受けることにより、どちらか一方からのパケットを受け取ることができれば、データを欠損しなくなる。このときのデータの欠損率は、元々のデータの欠損率を p ($0 \leq p \leq 1$) とすると p^2 になる。つまり、この方法は、通信の信頼性も同時に向上させることができる。しかし、接続しているサーバから全く同じデータが多重に送られるので、通信量が2倍になるという欠点を持つ。

2.2. パリティパケット方式

2.1節で述べたように、パケットを2重化する方法は通信量も2倍になるので、十分な通信容量を持つネットワーク以外には用いることはできない。そこで、パケットを2重化するのではなく、RAID ディスクに用いられているように、パケットをグループ化しそれにパリティパケットを付加することを考える。 A_1, A_2, \dots, A_n (n はグループ内のパケット数) を1つのグループとし、それに $A_p (= A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n)$ を付加する(1つのグループは全体で $n+1$ 個のパケットを含む)。これによりグループ内で1つのパケットが欠損しても、そのパケットを復元できる。この場合の通信量の増加率は $(n+1)/n$ に押さえられる。またパリティパケットを加える場合、その大きさは最大のパケットの大きさになるため、グループ内のパケットの大きさはできる限り近くなるようにしなければならない。

本方式におけるパケットの到達率の理論値は以下の手順によって求められる。元々のパケットの欠損率を p とする。パケットの到達数が

$n-1$ 個以下の場合パケットを復元できないので、その場合のパケットの到達率は変化しない。このとき、到達したパケットにパリティパケットが含まれる場合はデータパケットの数は1つ減少する。パケットの到達数が n 個以上の場合、欠損するパケットがパリティパケットでなくても、復元できるので、パケットの到達数は n 個になる。紙面の都合で詳細を省くが、パケットの到達率は

$$1 - p + p(1-p)^n \quad \dots(1)$$

になる。 $n=1$ にしたときは、まさに2重化したときの理論値になっている。

3. MPEG への応用

本節では、2節で述べた手法の有効性をMPEG-Iの動画像を例にとり議論する。

3.1. MPEG-I の構造

図2に示すようにMPEG-Iは、すべてイントラ符号化され単独で再生可能なIフレーム、直前のIフレームから順方向予測符号化されたPフレーム、前後のIまたはPフレームのいずれか

⁴ 他のフレームを参照せず、そのフレームだけで符号化する方式

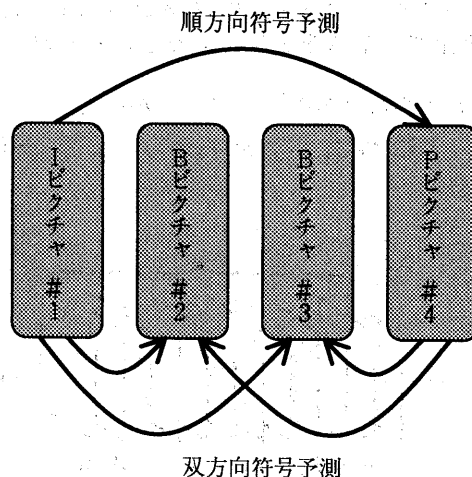


図2：フレーム間の依存関係

もしくは両方から双方向予測符号化された B フレームの 3 種類のフレームから構成される⁵。そしてこの 3 種類のフレームから図 3 に示すように GOP(Group Of Picture)と呼ばれる画面構成群が構成される。GOP の独立性を保つためそれぞれの GOP 内には最低でも 1 枚の I フレームが含まれる。また、それぞれのフレームはマクロブロックと呼ばれる 16x16 の画素からなる最小単位によって構成されている。イントラ符号化や予測符号化はマクロブロックの単位で行われるが、P および B フレームでは予測符号化だけではなくイントラ符号化が用いられることもある。

3.2. 再生可能なフレーム数

図 3 に示す構成の GOP を持つ MPEG-I の動画を転送することを考える。I、P、B の各フレームの到達確率をそれぞれ p_I 、 p_P 、 p_B としたときの GOP あたりに再生可能なフレーム数を解析する。前節で示したように、I フレームは単独で再生できるので再生できる確率は p_I となる。P フレームは、前の P フレームまたは I フレームを再生できる確率に p_P をかけたものになる。したがって P_1 、 P_2 、 P_3 を再生できる確率はそれぞれ $p_I p_P$ 、 $p_I p_P^2$ 、 $p_I p_P^3$ となる。B フレームは、前後の I フレームまたは P フレームの両方を再生できかつ自分自身のバケットが到達しなければならない。B₁ から B₆ までは前後のフレームを再生できる確率は後ろの P フレームを再生できる確率と等しくなる。したがって

$$p_I + p_I p_P + p_I p_P^2 + p_I p_P^3 + 2p_I p_P p_B + 2p_I p_P^2 p_B + 2p_I p_P^3 p_B + 2p_I^2 p_P^3 p_B \dots (2)$$

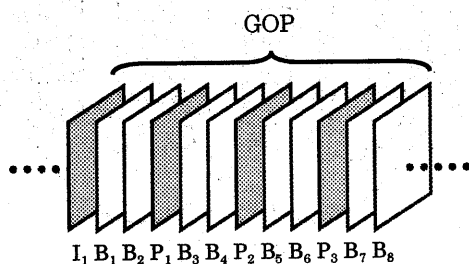


図 3 : GOP の構成

{B₁, B₂}, {B₃, B₄}, {B₅, B₆} を再生できる確率はそれぞれ $p_I p_P p_B$ 、 $p_I p_P^2 p_B$ 、 $p_I p_P^3 p_B$ となる。B₇、B₈ に関しては、P₃ を再生できかつ次の GOP の I フレームを再生できなければならないので $p_I p_P^3 p_I p_B$ となる。その結果 GOP あたりに再生できるフレーム数は式(2)のようになる。

3.3. 評価

I、P、B の各フレームの平均サイズが表 1 に示すようになっている MPEG-I の動画像に、表 2 に示すような冗長化手法を適用した時の再生可能なフレーム数を計算する。

表1: 各フレームの大きさ

フレーム	I	P	B
大きさ (バイト)	10,781	7,971	2,923

表2 GOP あたりの転送量

転送方式	転送量 (理論地)	転送量 (BYTE)
冗長性なし	$s_I + 3s_P + 8s_B$	58,168
I のみ 2 重化	$2s_I + 3s_P + 8s_B$	69,039
I および P を 2 重化	$2s_I + 6s_P + 8s_B$	92,952
I を 2 重化 P にパリティ	$2s_I + \frac{4}{3}s_P + 8s_B$	75,017

“I のみ 2 重化” は、両方のサーバから I フレームを転送し障害に備える。そして残りの P および B フレームについては 2 つのサーバの一方から転送される。同様に “I および P を 2 重化” は、I および P フレームを両方のサーバから、B フレームをどちらかのサーバから転送するものである。また “I を 2 重化 P をパリティ” は I フレームを 2 重化し両方のサーバから、P フレーム

にパリティを付加しどちらかのサーバから、Bフレームをそのままでもう一方のサーバからそれぞれ転送する方式である。

負荷分散を目的として、分散 RAID ディスク上に I フレームおよび P フレームにパリティを付加する手法が提案されているが、本研究では I フレームを 2 重化することにより更に信頼性を向上させている。

パケットの損失率が p とすると、冗長化した後の到着率は、2 重化の場合は、 $1-p^2$ 、P フレ

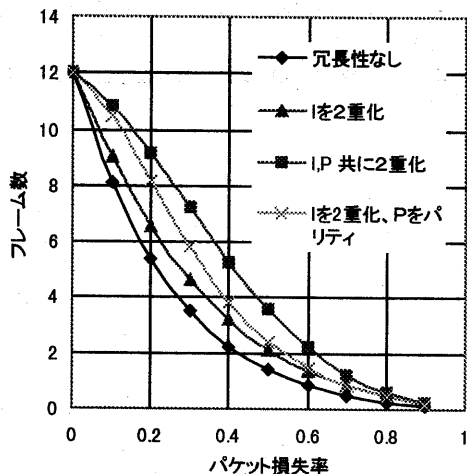


図 5 : GOP あたりの転送フレーム数

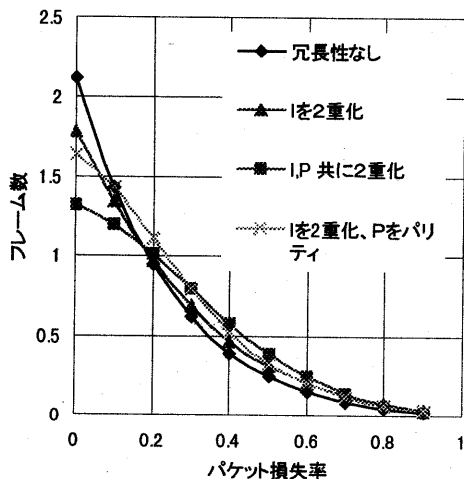


図 6 : 10KB あたりの転送フレーム数

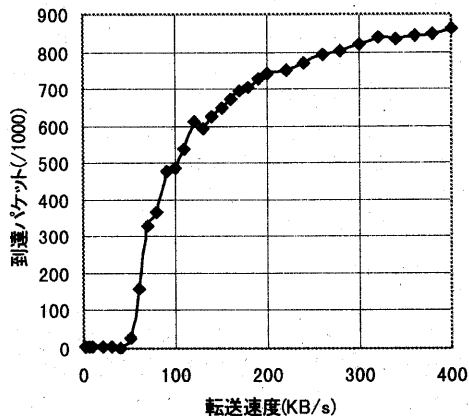


図 4 : 無線 LAN の転送速度とパケット損失率

ームにパリティを付加する場合(3つのフレームに1つのパリティ)は、 $1-p+p(1-p)^3$ となる。

図 5 は、式(2)から得られるパケット損失率と GOP あたりの再生可能なフレーム数をプロットしたものである。再生可能なフレーム数は“I と P を多重化”が最も多く、“冗長化なし”が最も少なくなっている。この結果から通信容量に十分に余裕がある場合はパリティ付加より 2 重化、I のみだけでなく P も 2 重化といった通信量を増加させる方式を選ぶことにより、再生可能なフレーム数を増加できる。しかし、前に述べたように多重化や冗長化は通信量を増大させる。そこで通信量の増大と信頼性のトレードオフを検討するために、通信量を一定にした時に再生可能なフレーム数を調べてみた。図 6 は、10KB あたりに再生可能なフレーム数をプロットしたものである。その結果、パケットの損失率が 30% ぐらいまではパリティを付加した方が有効で、それを越えると 2 重化の方が有効であることが観測される。また同様に、I フレームのみだけで P フレームも 2 重化した方がパケットの損失率が高くなったときに性能が向上することも観測できる。このことはパケットの損失が大きい場合は、パリティを付加する程度では損失を補うことができないことを示している。

無線 LAN を用いた通信実験の結果を用いて、この仮定を検証する。図 4 は、無線 LAN における転送速度とパケット損失率の関係を実験的に調べたものである。この結果では 50KB/s を越えると急激にパケット損失率が増加しその後は緩やかに増加している。本稿で述べてきた手法を

この結果に適用すると 50KB/s 付近では多重化や冗長化により通信量が増加し、その結果急激にパケット損失が増加するため逆効果となる。逆にごくわずかなパケット損失が発生して、通信容量に余裕がある 50KB/よりも低い場合においては、多重化や冗長化は有効であることが導かれる。

4. まとめ

通信を冗長化することにより、その連続性を向上させることに関して議論した。冗長化の方法として、2重化とパリティパケットを付加する方法を導入した。それらの手法を MPEG-I に適用した時の再生可能なフレーム数を解析することにより、その有効性を確かめた。しかし、実際のネットワークにおいてはわずかな転送量の増加が急激なパケット損失の増加をまねく場合があり逆効果になり得る場合もある。

今後は、MPEG 等のデータを実際のネットワーク上で転送することにより通信量の増加と信頼性のトレードオフを調べていく予定である。また、冗長化することによるデータの増加を押さえるために、元々のデータの品質を落とすことよりデータ量を削減することも考えられる。データの品質の低下と、冗長性を加えたことによる連続性の向上とのトレードオフも調べる予定である。

参考文献

- ¹ 最所圭三：“冗長性を用いたマルチメディア通信の高信頼性化について” 重点領域研究「高度データベース」第二回研究集会論文集, pp.480-485, 1996年9月.
- ² 最所圭三、斉藤大徳：“パリティパケットを用いたマルチメディア通信の信頼性について” 情報処理学会第55回全国大会, 3V-6, 1997年9月
- ³ Ji Hua Xie Li, “A Distributed Computing Modeling Based on Multiserver”, Operating Systems Review, Vol.30, No 4, pp.3-11, 1996.

⁴ N.Ogura, K.Saisho and A.Fukuda, “Design of Protocols in Timed CSP for Highly Reliable and Available Client-Server System”, Proc.APSEC'97/ICSC'97, pp.495-502, 1997.

⁵ 藤原洋 (監修): “最新 MPEG 教科書”, アスキー, 1994.

⁶ M.Wallance, F.Villavicencio and S.Park, “An Implementation of Distributed Video Server supporting MPEG Aware Parity Encoding (MAPE)”,
<http://www.ini.cmu.edu/~fjv/mape.htm>, 1996.