

動画像の動的QOS制御方法の提案†

藤井 敬三^{1††}

斎藤 信男²

¹ (株) システムコア

² 慶應義塾大学環境情報学部

あらまし 動画像や音声などのような連続メディアを処理する場合、それぞれのデータの持つ時間の制約を保証するために、リアルタイム処理は重要な技術である。一方、情報量の膨大な動画像に対して圧縮を行なうことは有効であるが、圧縮結果得られるデータレートは、入力画像の性質に大きく依存し、変動を伴うためリアルタイム処理には不利となる。本稿では、分散マルチメディア環境を統合するために、動画像の動的なサービスの質 (Quality of Service, QOS) の制御を行なう方法を提案する。また視覚を考慮しデータレートの制御可能なプロトタイプを、SunOS 上でハードウェア JPEG 圧縮/伸長ボードを用いて作成し、評価、検討した。

キーワード リアルタイム, QOS, JPEG, マルチメディア, 分散システム, 動画像処理

A Proposal on Dynamic QOS Control for Digital Video †

Keizo FUJII^{1††}

Nobuo SAITO²

¹ keizof@sfc.keio.ac.jp

System CORE Co., Ltd.,

1-22-3, Sangenchaya, Setagaya-ku, Tokyo, 154 Japan

² ns@sfc.keio.ac.jp

Keio University,

5322, Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa, 252 Japan

Abstract. Multimedia systems should be built on the real-time processing environment to guarantee time constraints of data. Video data is huge, so compression/decompression technology is widely used. But, data rate is unpredictable after compression, because it depends heavily on the characteristics of input video sources. To build an integrated multimedia environment, we need a technology of dynamic adjustable constant data rate.

In this paper, we presents how to control "Quality of Service" of video sources without visual loss. And we evaluate our prototype system's performance with JPEG compression/decompression hardware on SunOS.

Keywords: Real-Time, Quality of Service, JPEG, Multimedia, Distributed System, Digital Video

†この研究は、情報処理振興事業協会 (IPA) が実施している開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトの元に行なわれた。†† 開放型基盤ソフトウェア湘南藤沢キャンパス研究室の研究員として IPA に登録されている。

1 はじめに

我々は、分散環境における連続メディアシステムを Real-Time Mach 3.0 [1] の基に研究開発をしている [2, 3, 4, 5]。ここでは、ハードウェアプラットフォームとして、安価で入手の容易な IBM PC/AT 互換機を採用している。これらをベースとして、動画画像入出力、JPEG 画像圧縮/伸長、音声入出力、イーサネット、FDDI、タイマボードなどを搭載し、それらのドライバソフトウェアをも含めて開発している。

本稿では、分散環境において、連続メディアのリアルタイム処理を行なうため、計算機資源のサービスの質 (Quality of Service, QOS) としてデータレート、動画画像の QOS としてフレーム周期と画質を採用した。そして情報量が膨大な動画画像について、JPEG 圧縮後のデータレートの変動を分析し、データレートを一定に保持し、なおかつ視覚的な違和感を考慮した、動画画像の QOS の動的制御方法を提案し、評価した結果について述べたものである。プロトタイプは、SunSPARCstation2 (SunOS 4.1.2) とハードウェア JPEG 圧縮/伸長機能を備えた Parallax Graphics 社 XVideo-24SVC-VIO を用いて作成した。

2 リアルタイム処理の技術課題

限られた計算機資源 (CPU, メモリ, ディスク, ネットワークなど) において、連続メディアの持つ時間的制約を保証するために、リアルタイム処理技術が必要である。以下に、動画画像におけるリアルタイム処理の技術課題について述べる。

2.1 リアルタイムネットワークプロトコル

分散環境において、実時間性を保証するためには、ST-II などのようなリアルタイムネットワークプロトコル [6] が必要である。ST-II では、ネットワークの QOS として、帯域 (bytes/sec), 遅延時間などを指定することが可能である。しかし、その帯域を越えるデータレートで送出した場合、そのデータは破棄される。従って、ネットワークプロトコルの上位層は、より正確に必要な帯域を見積りし、予約し、その帯域を守ってデータ送出する必要がある。

2.2 リアルタイムファイルシステム

実時間性を確保するために、先行読み込み、遅延書き込みを行なうことは極めて有効であるが、そのためのバッファを用意しなければならない。しかもそのバッファは、実行に先立って必要な領域を確保

しておくことが望ましい。しかもシステムの (絶対的) 許容サイズと、要求される QOS, 優先度から (相対的な) 割り当てを行なうのであれば、必要なサイズを見積り、それを守る必要がある。またそのバッファを枯渇、あるいは溢れることがないように、必要バッファサイズ、データレートを見積り可能である必要がある。

またファイルとして格納する場合、実時間で記録/再生を実現するだけでなく、最後まで格納できるかどうか、ディスクの容量が不足しないかどうかを保証するために、情報量が膨大な動画画像の総データ量を事前に見積り可能である必要がある。

2.3 動画画像データ

我々が処理の対象としている動画画像は、その情報量が膨大であり、時間的空間的な冗長を多く含んでいるため、データ圧縮を行なうことは、極めて効果的である。しかしその動画画像ソースの持つ、冗長性の度合いにより、圧縮結果的に得られるデータレートは大きく変動するため、そのレート予測することは困難である。しかし、計算機資源を予約することにより、リアルタイム性を確保するのであれば、その変動をある幅内に制御する [7] が必要である。

一方、人間の視覚を考えた場合、動画画像の QOS [8] は、“データレート”とは異なり、次のように分類することができる。

- ・時間的解像度 — フレーム周期
 - ・空間的解像度 — 画面サイズ, 画質 (色数, 圧縮率)
- このことは、データレートを下げた場合、“フレーム周期を犠牲にしても、画質は下げたくない”という需要が存在し、それに応え、それを供給すべきであると考えられる。

データレート一定という条件下で動作する H.261 [9], MPEG-I/II [10] など既に存在しているが、これらは時間的解像度、空間的解像度をシステム、ユーザーが動的に制御するための考慮がなされていない。

2.4 分散環境垂直統合

これまで述べた課題を克服し、分散環境における連続メディアシステムを垂直統合させるために、計算機資源の QOS としてデータレートを一定に保ち、制御することが、システム全体ををより安定に、解析的にすることができると考える。そして同時に、動画画像では、視覚上の QOS を考慮し、違和感、不快感を低く抑え、時間的解像度と空間的解像度を別々に制御できる必要があると考える。

3 JPEG の性質

我々のプラットフォームでは、動画像に対してハードウェア JPEG 圧縮/伸長ボードを用いて、処理を行なっている。JPEG では、入力画像により、圧縮サイズ(1 フレームを圧縮した結果得られるサイズ)が影響を受けるという性質がある。また、画質パラメータ [11]Q-factor により、ある程度の圧縮率を制御することができる。

3.1 圧縮サイズの変動

入力画像の差異により、圧縮サイズがどのように変化するかを調べるため、テレビ放送のニュース番組を動画像標本として測定した(図1)。フレームサイズ 320×240 画素、画質 Q-factor=50、フレーム周期は約 0.2 秒、測定時間は 3700 秒である。図の横軸に経過時間(秒)、縦軸に各フレームの圧縮サイズ(bytes)を示した。また、この図1において、圧縮サイズのピークが現れている 2100 秒付近を、時間軸方向のみ拡大したものを図2に示す。図2からは、ピークは離散的に発生するのではなく、放送シーンに対応して、約 10 秒間連続して発生していることを示している。2100 秒前後に発生したピークは、全

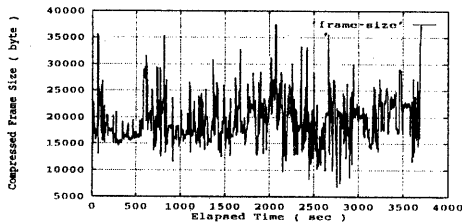


図1: 圧縮サイズの変動

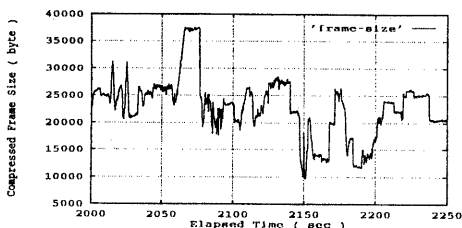


図2: 圧縮サイズの変動(部分拡大)

18477 フレームの約 0.5% を占めていた。

3.2 フレーム間変化の類推検出

幾つかの動画像標本から我々は次の結論を得た。
・同一シーンにおいては、動画像の変化が少ないた

め、圧縮サイズの変動は少ない。

- ・圧縮サイズの変動は、全く不規則に発生するのではなく、放送シーンに対応して、“矩形波”のように発生する。
- ・TV 放送番組の性質上、シーンの切替を数秒単位で行なっている。
- ・許される最長のフレーム周期は、字幕表示時間などから判断すると、ニュース番組などでは 3~5 秒であり、コマーシャルでは、0.5 秒程度である。
- ・圧縮サイズの変動からシーンの変化を類推検出できる。

動画像の変化率を次式と定義した(変化率 小さい = 変化少ない, 変化率 = 大きい)。現在の圧縮サイズを $Size_{new,1}$ フレーム過去の圧縮サイズを $Size_{old}$ 、圧縮する前のサイズを $Size_{basic}$ とする。

$$\text{変化率 (\%)} = \frac{|Size_{old} - Size_{new}|}{Size_{basic}} \times 100 \quad (1)$$

3.3 画質パラメータ Q-factor

XVideo では、Q-factor 値は整数として 25(画質良い = 圧縮サイズ大) から 1000(画質悪い = 圧縮サイズ小) の範囲で変化させることが可能であり、空間的解像度を制御することが可能となる。

同一の静止画像に対して、Q-factor を変化させた場合、どのように、圧縮サイズが変化するかを測定した結果を図3に示す。フレームサイズ 320×240 画素とし、横軸に Q-factor、縦軸に圧縮サイズ(bytes)とした。入力には、再現性が高く、静止画の再生が可能なレーザーディスク¹(CAV 方式)を用いた。シーンが異なり圧縮率の異なる画面を 3 種類、意図的に選んだ。図3から、Q-factor を小さな範囲(±100 程度)

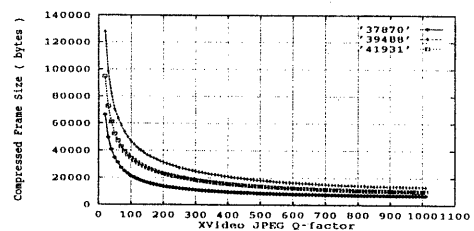


図3: Q-factor による圧縮サイズの変化

で変化させた場合、Q-factor が Q_{old} のとき圧縮サイズが $Size_{old}$ の画像において、圧縮サイズを $Size_{new}$ にするための新しい Q-factor Q_{new} は次式で近似できることがわかった。

$$Q_{new} \approx Q_{old} \times \left(\frac{Size_{old}}{Size_{new}} \right)^2 \quad (2)$$

¹パイオニア LDC 製 “Watching People”(SC048-6110) を標本とした。図中の 37870, 39488, 41931 は、フレーム番号である。

4 動画の QOS 制御ポリシー

動画に対して、JPEG を用いる場合、時間的解像度はフレーム周期に、空間的解像度は Q-factor(画面サイズは動的に変化させない)に相当する。そして、フレーム周期を変化させることにより、また Q-factor を変化させることにより、データレートを制御させることができる。しかし、入力画像により、圧縮サイズは影響を受ける。

時刻 T のときの圧縮サイズが $Size$ (bytes) とし、そのときのフレーム周期を ΔT (sec) とした場合、時刻 T のデータレートは次式と定義した。

$$\text{データレート (bytes/sec)} = \frac{Size}{\Delta T} \quad (3)$$

動画の時間的、空間的解像度をどのように変化させるか(あるいはさせないか)により、以下の動的な QOS 制御ポリシーを提案する。

4.1 無制御

計算機資源に制限のない環境において使用が可能なポリシーである。フレーム周期=固定、画質 Q-factor=固定のモードでは、入力画像の差異による圧縮サイズの変動が、発生するデータレートの変動となる。

4.2 ピーク破棄

各フレームの圧縮サイズが、指定閾値を超えないようにデータレートのピークを押えるポリシーである。フレーム周期固定、画質 Q-factor 固定、閾値は“無制御”において圧縮サイズの発生頻度の 95% を占める値とし、超えたフレームは破棄する。

4.3 フレーム周期優先

時間的解像度を一定とし、空間的解像度を変化させ、データレートを一定に保つポリシーである。フレーム周期=固定、画質 Q-factor は指定データレートを満たす値を、各フレーム圧縮後、式 (2) より求める。求めた値は、次のフレームの圧縮時に用いる。圧縮サイズより、次のフレームを圧縮するときの Q-factor を求めるため、データレートを完全には保持できない。

4.4 画質優先

空間的解像度を一定とし、時間的解像度を変化させ、データレートを一定に保つポリシーである。画

表 1: フレーム周期の変化幅

	フレーム周期
0.20 < 変化率	0.75 倍
0.05 ≤ 変化率 ≤ 0.20	変化無し
変化率 < 0.05	1.05 倍

質 Q-factor=固定、フレーム周期は指定データレートを満たす値を式 (3) により求める。計算した値は、そのフレーム自身の周期となる。圧縮サイズより、フレーム周期を求めるため、データレートを完全に保持できる。

4.5 視覚的要求優先

視覚的な QOS を考慮し、データレートを一定に保つポリシーである。動画像に対する一般的な要求 [12] を制御ポリシーとし、動画像のシーンの変化が少なれば空間的解像度を優先し、変化が多ければ時間的解像度を優先させる。式 (1) によりフレーム間の変化率を求め、フレーム周期を表 1 より求め、データレートを満たす Q-factor を式 (2) より求める。

5 QOS 制御ポリシー比較実験

これまで述べた QOS 制御ポリシーにおいて、指定したデータレートをどの程度維持することができるか、また、視覚的な違和感、不快感の有無を比較評価するために、以下の実験を行なった。

5.1 実験環境

動画像標本として、放送、上映、公開演奏などの著作権をフリーにした BGV 専用レーザーディスクソフト“映像浴「ウィンタースポーツ/モータースポーツ」”²の A 面の「ウィンタースポーツ」(1500 秒)を用いた。フレームサイズ 320 × 240 画素、目標とするデータレートを 64kbytes/sec とし、QOS 制御ポリシーの条件を表 2 とした。

5.2 プロトタイプ仕様

プロトタイプは、SunSPARCstation2(SunOS 4.1.2) と、画像入力、JPEG ハードウェア圧縮/伸長機能を搭載した、Parallax Graphics 社の XVideo-24SVC-VIO(X11R5 β版の XView-Toolkit) により

²(株) ビデオ・ラボ・ネットワーク製。

表 2: 各 QOS 制御ポリシーの変化範囲

QOS 制御ポリシー	フレーム周期	Q-factor
無制御	200msec	50
ピーク破棄	200msec	50
フレーム周期優先	200msec	25~1000
画質優先	80msec~2sec	50
視覚的要求優先	80msec~2sec	25~1000

作成した。フレーム間の変化を求める場合、動画像の変化による圧縮サイズの変動と、画質 Q-factor の変更による圧縮サイズの変動とを区別するために、画像圧縮の奇数回目のみ、動画像の変化率を求め、周期と Q-factor を計算している。また、Q-factor を変化させる場合、シーンの変化がない(≒ 圧縮サイズの変動がない)ことを前提として次の圧縮の Q-factor を計算しているため、予測が外れる可能性がある。従って目標のデータレートを 20% 越えるフレームは破棄するよう、さらにレート制御を強化した。

5.3 実験結果

同一の動画像入力を与えた、それぞれの制御ポリシーの実験結果を、図 4、図 5、図 6、図 7、図 8 に示す。いずれも、横軸は経過時間、縦軸はデータレートである。

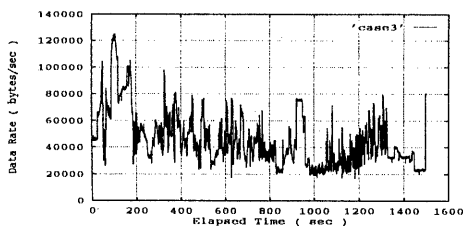


図 4: 無制御

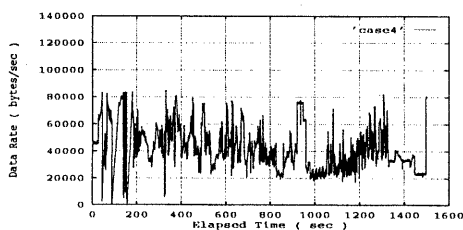


図 5: ピーク破棄

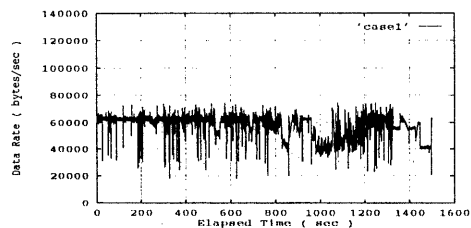


図 6: フレーム周期優先

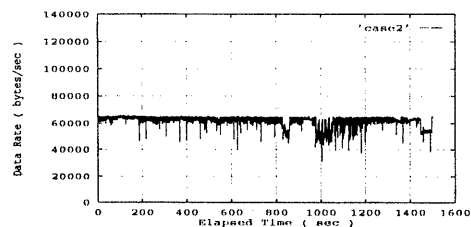


図 7: 画質優先

6 考察

実験結果より、無制御では、視覚的には最良であったが、全てのフレームを保証するためには、かなりの余裕(平均の 3 倍程度)を持った計算機資源を確保する必要がある。ピーク破棄では、ピークが映像シーンに対応して連続的に発生するため、そのシーンがそっくり抜け落ちてしまっている。画質優先では、画質は高いが、結果的にフレーム周期が視覚的に不規則に変動する。従って、苛立ち、不快を感じる。しかし、データレートは、他と比べてばらつきが小さく最も安定している。フレーム周期優先では、冗長性の低い、圧縮に不利な画像に対しては、さらに高い圧縮を行なうため、空間的解像度が大きく失われてしまう。視覚的要求優先を利用したものが、レートの変動が比較的少なく、視覚的には良好であった。

プロトタイプではフレーム周期を、80msec~2sec と大きな幅(最小フレーム周期の 25 倍が最大)で変化させたが、80msec~240msec の幅(最小フレーム周期の 3 倍³が最大)で変化させれば、さらに良好で自然な結果が得られるであろう。

これらの結果から、圧縮サイズの変動からフレーム間の変化を類推検出する式(1)は効果的であった。しかも、計算機負荷は無視できるほど小さい。また Q-factor から圧縮サイズを求める式(2)も近似できている。

³無制御において平均の 3 倍のデータレートのピークが存在していた。

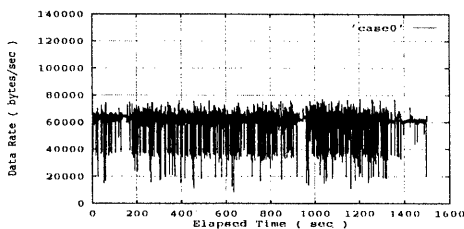


図 8: 視覚的要求優先

7 おわりに

本稿では、連続メディアの持つ時間的制約を満足させるために、動画像の QOS である時間的解像度、空間的解像度をそれぞれ動的に変化させ、計算機資源の QOS であるデータレートを一定に保つ必要性を示し、プロトタイプを作成し、評価した。また一般的な動画像に対する要求を考慮した、視覚的違和感の少ない QOS 制御方法についても評価した。当プロジェクト内の主観的な評価であるが、満足できる結果が得られている。

現在、さらにプロトタイプに改良を加え、データレートそのものを時間に対して動的に変化させる方法も引続き作成している。この方法は、次のような場合に、必要であると考えている。

- ・新規にセッションを開始するときに既存セッションを、slow(or fast)-down、新規セッションの slow(or fast)-start させる。
- ・動画像の傾向が事前にわかっているようなもの(勧善懲悪の娯楽時代劇番組など、1 時間番組であれば番組開始後 40 分ころにクライマックスを迎えるものなど)で、低い平均でも部分的に高い QOS を獲得させる。

また当プロトタイプは、リアルタイム性を備えていない SunOS 4.1.2 上に作成したが、今後、プラットフォームである IBM PC/AT 互換機+Real-Time Mach3.0 環境へシフトし、リアルタイムネットワークプロトコル、リアルタイムファイルシステムなどとの垂直統合を図っていく予定である。

謝辞

本研究を行なうにあたり御討論頂いた開放型基盤ソフトウェア研究開発評価事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトの皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] H. Tokuda, T. Nakajima and P. Rao: "Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System," USENIX Mach Workshop, pp. 73-82 (1990).
- [2] 斎藤 他: "マルチメディア統合環境のテストベッドとその評価," 信学技報 CPSY92-76, pp. 17-24 (1993-03).
- [3] 西尾, 他: "マイクロカーネルによる連続メディア処理の基盤技術," 第 5 回コンピュータシステム・シンポジウム論文集, pp.17-24 (1993).
- [4] 平林, 他: "実時間メディアサーバの設計," 第 5 回コンピュータシステム・シンポジウム論文集, pp.25-32 (1993).
- [5] 多田, 他: "実時間カーネルを用いた連続メディアベースの設計," 第 5 回コンピュータシステム・シンポジウム論文集, pp.33-40 (1993).
- [6] 南部 他: "マルチメディア統合環境におけるリアルタイム通信プロトコルへの課題," マルチメディア通信と分散処理 60-11, pp.81-88 (1993-05).
- [7] 河内谷 他: "Real-Time Mach 上での QOS 制御サーバの実験," 第 47 回情処全大論文集, pp.2-355-2-356 (1993).
- [8] H. Tokuda, Y. Tobe, S. T.-C. Chou and J. M. F. Moura: "Continuous Media Communication with Dynamic QOS Control Using ARTS with and FDDI Network," ACM SIGCOMM'92, pp. 88-98 (1992).
- [9] M. Liou: "Overview of the px64 kbits/s Video Coding Standard," CACM, Vol. 34, No. 4, pp.59-63 (1991).
- [10] D. L. Gall: "MPEG: A Video Compression Standard for Multimedia Applications," CACM, Vol. 34, No. 4, pp.46-58 (1991).
- [11] 安田 浩 編著: "マルチメディア符合化の国際標準," 丸善, pp.14-47(1991).
- [12] 緒方 他: "動画のフレーム間相関を利用した動的な QOS 制御の実験," 第 47 回情処全大論文集, pp.2-357-2-358 (1993).