

コンテンツ指向空間的解像度制御方式の実装と評価

増田彰久[†] 橋本豊大[†] 上田尚純[†] 石原進[‡] 水野忠則[‡]

PHS, 携帯電話などを利用したワイヤレス通信環境においてもマルチメディア通信を行いたいという要求がある。しかし、現在のワイヤレス通信環境には帯域幅が狭い、バースト誤りやハンドオフにより転送が途切れる、帯域幅や誤り率などの品質が頻繁に変化するなどの問題があり、比較的大容量の帯域幅と安定した品質を必要とするマルチメディア通信の扱いは難しい。

本研究では、コンテンツ内の重要な情報を空間的解像度において高品質で受信者に提供するコンテンツ指向空間的解像度制御方式 SSM(Contents Oriented Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Computing Environment) を提案する。マルチメディアデータの作成者、配布者などは、マルチメディア情報の各映像フレーム、音声サンプルに対し、その意味的な重要度に基づいて優先度を与える。SSM は、優先度に基づいたビデオの空間的解像度の制御、オーディオの品質の制御、そしてシーンの状態に応じた再生フレームレートと解像度の調整を行う。優先度に基づいたビデオの空間的解像度とオーディオの品質の制御を行うことで、重要なシーンは比較的高品質な再生を行うことが可能である。また、シーンの状態に応じた再生フレームレートと解像度の調整を行うことで、動きの激しいシーンは高フレームレート、低解像度で再生し、静止しているシーンは高解像度、低フレームレートでの再生が可能である。

Implementation and Evaluation of Contents Oriented Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Computing Environment

Akihisa Masuda[†], Toyohiro Hashimoto[†], Takasumi Ueda[†], Susumu Ishihara[‡] and
Tadanori Mizuno[‡]

Recently, 'Mobile Computing' is getting popular. We can send and receive information anytime anywhere in mobile computing environment. Multimedia communication, however, needs wide bandwidth and relatively a high-quality network. So, it's hard to deliver multimedia on an unstable network where quality of service such as available bandwidth, end-to-end delay, and bit-error-rate can change frequently.

This paper describes SSM(Contents Oriented Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Computing Environment). It adjusts the spatial resolution of video and the quality of audio according to content-based priorities, assigned to each set of video frames and audio samples in the multimedia data, so that user can get important information of the multimedia data even if available bandwidth is insufficient for the multimedia data.

1 はじめに

近年、携帯電話、PHS などの広域無線通信インフラが発展し、ノートパソコン、PDA などの携帯端末も高機能化、低価格化が進んでいる。こうした背景の下、時間や場所に制限されることなく、情報の発信・受信が可能なモバイルコンピューティングが一般的になりつつある。モバイルコンピューティングの実現により、情報の発信要求、または取得要求が発生した時、即座に処理を行うことが可能となる。

このようにモバイルコンピューティングが普及する中、情報の発信・受信をビデオ、ボイス、オーディオ、イメージなどのマルチメディアを利用して行いたいという要求がある。しかし、広域無線通信を利用したモバイルコンピューティング環境で扱われるマルチメディア情報は、現段階では低解像度・低フレームレートのビデオ、低品質のオーディオに制限されている。これは、現在の無線通信環境ではマルチメディア情報を転送するのに必要な転送速度を得られないため、マルチメディア情報の扱いが難しいからである。また、ランダム誤り、バースト誤りなどの誤りの発生、そして移動時のハンドオフにより転送の途切れが生じるなどの障害の発生もマルチメディア情報の扱いをより難しくしている。

[†]静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering,
Shizuoka University

[‡]静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

同様に、インターネットにおいてもこうした通信サービス品質は十分に保証されていない。輻輳の発生、負荷の増大によるスループットの低下、パケットロスの増加、遅延の増大が発生する。このような問題に対し、通信路の状態の変動に適応する手法が提案されてきた [1]。スループット、パケットロス率、遅延などの通信サービス品質を監視し、マルチメディア情報の時間的・空間的解像度を調整することにより、マルチメディア情報の転送量を削減する手法や、バッファリングや再生点の調整を行うことで、パケットの転送遅延の変動を吸収する手法が提案されている。しかし、こうした適応的手法はマルチメディア情報のコンテンツを考慮せずに単純に品質を落とす処理を行うため、重要な情報が欠落する可能性があるという欠点がある。

本稿では、コンテンツ内の意味的に重要な情報を空間的解像度において高品質で提供するコンテンツ指向空間的解像度制御方式 SSM(Content Oriented Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Computing) を提案する。コンテンツの作成者、配布者などは、各映像フレーム、音声ブロックに対し、その意味的な重要度に基づいて N 段階の優先度を付与する。スループットが低い場合、低優先度のシーンは空間的解像度において低解像度になるものの、高優先度のシーンは高解像度での再生が可能である。また、シーンの状況に応じて解像度とフレームレートの調整を行う。

以下、2 節で関連研究について述べ、3 節でコンテンツ指向空間的解像度制御方式 SSM について提案する。4 節で SSM の実装について述べ、5 節で開発中のプロトタイプのパフォーマンスについて報告する。最後に 6 節でまとめとする。

2 関連研究

2.1 適応的手法

インターネットやワイヤレス通信環境における通信サービスの変動に対して、適応する手法がこれまで提案されてきた。こうした適応的手法をいくつか挙げる。

1. 階層的符号化方式 [3] は、映像信号の階層的な符号化を行いスループットの変動に対応する。スループットが低下した場合、高画質の情報

を含むパケットは落とし、低画質の情報を含むパケットだけを送信することで、スループットの変動に応じたデータ転送量の調整を行う。

2. H.261 符号化方式を利用するインターネット上のビデオ会議システム、IVS(INRIA Video-conferencing System)[5] は H.261 のパラメータを動的に調整することで映像の出力データ量を制御する。また、IVS ではユーザが空間的解像度(画質)を優先するか、時間的解像度(フレームレート)を重視するかを指定可能である。
3. PAVS(Packet Audio Video System)[2] は、クライアントから実効フレームレートのフィードバックを受信し、ネットワークの負荷に応じてパケット生成率を動的に制御する。これにより、負荷変動のレベルに応じて適切にデータ量を調整し、安定した再生表示を行う。

しかし、こうした従来のメディアスケーリング技術では、マルチメディア情報のコンテンツを考慮せずに一律に品質調整を行うため、重要な情報が欠落する可能性がある。

2.2 選択的マルチメディア通信方式

従来のメディアスケーリング技術では、マルチメディア情報のコンテンツを考慮せずに一律に品質調整を行うため、重要な情報が欠落する可能性がある。この問題に対して、我々はこれまで選択的マルチメディア通信方式 SMAP(Selective Multimedia Access Protocol)[4] を提案してきた。SMAP は、コンテンツ内の重要な情報を優先して転送することを目的としたマルチメディアアクセスプロトコルであり、マルチメディア情報に優先度を付与し、優先度に基づいて時間的解像度を調整する。

2.2.1 転送方式

マルチメディア情報の作成者等は、自らの主観に基づき各映像フレーム、音声ブロックに対して、その意味的な重要度に基づいて優先度を 4 段階(0~3)で与える。SMAP は、この優先度に基づき、予測されるスループット内で映像フレーム、音声

ブロックを選択的に転送する。スループットが減少した場合、優先度に基づいて低優先度の映像フレーム、音声ブロックはスキップされるものの、高優先度の情報は確実に転送する。これにより重要なシーンは、時間的解像度において高品質に再生される。

2.2.2 問題点

SMAP を適用することにより、ネットワークのサービス品質が低下した場合でも、重要な情報を確実に転送できることが証明された。しかし、SMAP は重要な情報を優先的に送信するというその性質上、ビデオの再生時にフレームレートの変動が激しいという問題がある。

3 コンテンツ指向空間的解像度制御方式

本節では、コンテンツ内の意味的に重要な情報を空間的解像度において高品質で提供するコンテンツ指向空間的解像度制御方式 SSM の提案を行う。SSM は、優先度に基づいて空間的解像度を調節することで、安定したフレームレートでの再生を行いながら、高優先度シーンの高品質な提供を可能とする。また、動きが激しいシーンならばフレームレートを上げ、解像度を下げ、静止しているシーンならば解像度を上げ、フレームレートを下げるといように各シーンの特性に合わせてフレームレートと画質の調整を行い、限られた帯域をより有効に活用する。これらの機能により、SSM はネットワークのサービス品質が変動した場合でも、スムーズな再生をユーザに提供することが可能である。

3.1 基本方式

本方式で扱うコンテンツの前提条件として、ビデオは任意のフレーム番号に対し M 段階 ($Q_V = 1, 2, \dots, M$) の空間的解像度のフレームが得られ、オーディオは任意のサンプル番号に対し L 段階 ($Q_A = 1, 2, \dots, L$) の品質の音声サンプルが得られることとする (Q_V, Q_A 共に値が大きいくほど品質

が良い)。

コンテンツの作成者、もしくは配布者は、意味的な重要度に基づいて各シーンに N 段階 ($P = 1, 2, \dots, N$) の優先度を与える。優先度は GOP(Group of Picture) 単位で映像フレーム、音声サンプルに対して与えられる。これは、人間が各フレーム毎に優先度を与えた場合その作業に大きな労力がかかるため、論理的なまとまりと考えられる GOP 毎に与えた方が効率がよいからである。また、GOP はキーフレーム、差分フレームから構成され、各フレーム間には依存関係が存在する。ゆえに、フレーム単位で優先度を与えても、優先度情報が活用されずに無意味になる可能性がある。例えば、差分フレームが高優先度でキーフレームが低優先度の場合、高優先度の差分フレームを再生するために、低優先度のキーフレームを送信するといった状況が考えられる。

各シーンへの優先度の与え方は、優先度を付与する人間の主観にゆだねられる。例えば、コマーシャルビデオの場合、商品の説明のシーンに高い優先度が与えられるであろう。

SSM は、優先度に基づきビデオの空間的解像度、オーディオの品質を調節する。

3.2 ビデオの空間的解像度制御

SSM は、通信サービス品質の変動に応じて、ビデオの空間的解像度を変化させる。送信時の予測スループットに応じて空間的解像度を調整することで、転送量を適切な量に削減し、確実にデータを送信する。また、優先度に応じて解像度を調節することで、通信路をより効率よく利用することが可能となる。

空間的解像度は、予測スループットにおいて基準となるフレームレートで送信可能な最大の解像度を基準として調節される。この最大の解像度を最高優先度に割り当て、残りの優先度には段階的に落とした解像度をそれぞれ割り当てていく。このようにして予測スループットにおける最大の解像度を基準に空間的解像度を決定することで、スループットが低い場合でも確実なフレームの送信が可能となる。また、優先度に応じた空間的解像度を決定することで、低優先度のシーンでは通信路の使用を控え、高優先度のシーンで積極的に使う

というように効率的に通信路を使用することができる。3.4.1 でビデオの送信手順について述べる。

3.2.1 解像度とフレームレートの調整

ビデオは、動きの激しいシーン、静止しているシーンなど様々なシーンの集まりからなる。人の目から見た場合、動きの激しいシーンは多少画質が落ちててもそのことは認識されづらいがフレームレートが落ちたことは認識されやすい。また、静止しているシーンでは多少のフレームレートの減少は認識されづらいが、画質の劣化は認識されやすいと考えられる。そこで、SSMは動きが激しい、静止しているなどのシーンの状態に応じて、解像度とフレームレートの調節を行う。ユーザは、GOP毎に、動きの激しいシーン(A)、静止しているシーン(S)、その他のシーン(N)という活動度の指定を行う。この指定に従って、SSMは動きの激しいシーンでは高フレームレート低解像度、静止しているシーンでは低フレームレート高解像度というようにシーンの活動度に応じた解像度とフレームレートの調整を行う。

3.3 オーディオの品質制御

SSMは、通信サービス品質の変動に応じて、送信するオーディオの品質を調整する。ビデオと同様に、送信時の予測スループットに応じて品質を調整することで、転送量を適切な量に削減し、確実にデータを送信する。また、優先度に応じて品質を調節することで、通信路をより効率よく利用することが可能となる。

ビデオとは異なり、オーディオは再生時の途切れに敏感である。ゆえに、品質の調整は予測スループットを超えない範囲で、全音声サンプルを再生可能な最高の品質を基準として調節される。この最高の品質を最高優先度に割り当て、残りの優先度には段階的に品質を落としていったものをそれぞれ割り当てていく。このように品質を決定することでスループットが低い場合でも確実に全音声サンプルを再生する。また、優先度に応じた品質を決定することで、低優先度のシーンでは通信路の使用を控え、高優先度のシーンで積極的に使うというように効率的に通信路を使用することができる。

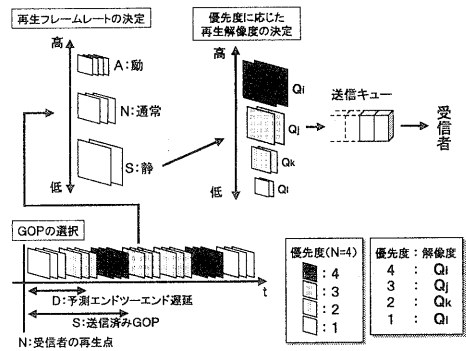


図 1 送信手順

3.4.2 でオーディオの送信手順について述べる。

3.4 送信手順

本節では、ビデオの空間的解像度の制御とオーディオ品質の制御から送信までの手順について述べる。

送信手順について述べる前に、スループットの分配について述べる。SSMは、ネットワーク状況を監視し、現在のスループットを予測する。これを予測スループット B_c とする。SSMは、ユーザの指定した割合 a ($0 \leq a \leq 1$) で予測スループットをビデオ $B_V (= aB_c)$ とオーディオ $B_A (= (1-a)B_c)$ に分配する。($B_c = B_V + B_A$)。SSMはそれぞれ B_V と B_A を超えない範囲で映像フレームと音声サンプルを送信する。

ビデオは GOP 単位でスケジューリングが行われ、オーディオは対応するビデオの GOP 単位でスケジューリングが行われる。SSMは、1つの GOP の送信が終了すると、新たな GOP のフレームの解像度と音声サンプルの品質を計算し、求められた品質のフレームと音声サンプルを送信キューに入れる。図1に送信の流れを示す。

3.4.1 ビデオの送信手順

ビデオの送信は次のような手順で行われる。

1. 基準フレームレートの計算
2. 再生フレームレートの決定

3. 再生解像度の決定

4. 送信

以下、それぞれの処理について述べる。

1. 基準フレームレートの計算 再生に先立ちユーザは M 段階の解像度の中から再生時における最大の解像度を選択し、これを基準解像度 $Q_V = k$ とする。次にユーザの通信環境における最大のスループット(携帯電話なら 9.6kbps, PHS なら 29.2kbps 等。以下、 B_e とする)にユーザが指定したビデオの割合 a を掛けたスループットを求める。このスループットにおいて解像度 k で再生可能と推測される最大のフレームレートである基準フレームレート (F_b) が式 (1) から求まる。ここで基準解像度 $Q_V = k$ のビデオにおける 1 フレームの平均容量を V_k とする。

$$F_b = \frac{aB_e}{V_k} \quad (1)$$

SSM は基本的にこの基準フレームレートで再生を行う。

2. 再生フレームレートの決定 SSM は、シーンの活動度に応じて解像度とフレームレートの調節を行う。この際、適切なフレームレートの設定を行わなければならない品質の低下を招く。動きの激しいシーンに応じてフレームレートを上げる場合、上げすぎれば極端な解像度の低下を引き起こす。静止しているシーンにおいて、フレームレートを下げる場合、下げ方が少なければ解像度を上げることができず、フレームレートの低下による品質の低下のみを引き起こす。

こうした状況を避けるため、SSM はスケジューリング対象となる GOP に対するユーザの活動度の指定、ビデオ本来のフレームレート (F_o)、基準フレームレート (F_b) から表 1 のようにシーンの状態に応じた再生フレームレート (F_p) を決定する。

3. 再生解像度の決定 SSM は、可能な限り送信時の通信サービスの状態における最高の品質での転送を試みる。同時に、優先度に応じた解像度を割り当てることで、より効率的な転送を試みる。

B_V を超えない範囲で再生フレームレート分のフレームを送信可能な最大の解像度 Q_j が式 (2) を

表 1 再生フレームレート

シーンの活動度	F_o と F_b の比較	F_p (再生フレームレート)
N(通常)	-	F_b
S(静)	-	$F_b/2$
A(動)	$F_b < (F_o/2)$	$2F_b$
	$F_b \geq (F_o/2)$	$F_b + ((F_o - F_b)/2)$

表 2 優先度と解像度(品質)の対応

優先度の段階数 (N) と解像度(品質)の選択枝数 (j) の関係	$P = n$ (優先度)に対応する $Q_V = x$ (解像度 or 品質)
$N \leq j$	$n + (j - N)$
$N > j$	$[P_n/(N/j)]$

満たす最大値として求まる。ここで解像度 Q_j の 1 フレームの平均容量を V_j とする。

$$B_V \geq F_p V_j \quad (2)$$

V_j の決定に従い、対応するビデオの解像度 Q_j が決定する。同時に解像度の選択枝数 (j) が決定する。 j により各優先度 (P_n) に対応した解像度 (Q_x) が表 2(表中の $[]$ はガウス記号である) のように求まる。

4. フレームの送信 SSM は、再生フレームレートを達成するのに必要な分のフレーム(対象 GOP の再生時間×再生フレームレート)を GOP の中から選択する。この時、GOP 間の依存関係を考慮して、再生可能なように選択する。選択されたフレームは、その優先度に対応した解像度で送信キューに入れられ、送信される。

3.4.2 オーディオの送信手順

オーディオの送信は次のような手順で行われる。

1. 基準品質の決定
2. 再生品質の決定
3. 送信

以下、それぞれの処理について述べる。

1. 基準品質の決定 SSM は、可能な限り送信時の通信サービスの状態における最高の品質での転送を試みる。オーディオはビデオとは異なり再生の途切れに対して敏感なため、可能な限りすべての音声サンプルを送信する必要がある。したがって、 B_A を越えない範囲で全音声サンプルを再生可能な最高の品質 $Q_A = l$ が式 (3) を満たす最大値として求まる。ここで、品質 l における 1 秒間の音声サンプルの平均容量を A_l とする。

$$B_A \geq A_l \quad (3)$$

A_l の決定に従い、対応するオーディオの最高品質 $Q_A = l$ が決定する。

2. 再生品質の決定 1 よりオーディオ品質の選択枝数 ($j = l$) が決定し、各優先度 ($P = n$) に対応した品質 ($Q_A = x$) がビデオと同様に表 2 のように求まる。

3. 音声サンプルの送信 SSM は、対象となる音声サンプルを GOP の優先度に応じた品質で送信キューに入れ、送信する。

4 SSM の実装

図 2 に SSM のアーキテクチャを示す。優先度に基づいた品質の調整は、マルチメディア情報の送信側と受信側で、ミドルウェアとして実現される。SSM Sender において、スループットに応じた品質制御が行われ、SSM Receiver でスループットのモニタリングが行われる。現在、Windows98 上でマイクロソフトの Visual C++ を用いて SSM Sender, SSM Receiver, マルチメディアアプリケーション、そしてマルチメディアデータに対する優先度付け作業を支援するツールを実装中である。

4.1 SSM Sender

SSM Sender は 3.4 で述べた送信手順に基づき、マルチメディア情報の品質の調整とレート制御を行う。

SSM Sender は一定間隔で SSM Receiver に対してメッセージを送信し、その応答を受信することで現在のネットワークの遅延を予測する。

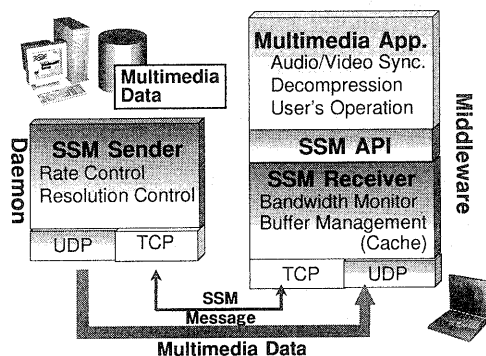


図 2 SSM アーキテクチャ

4.2 SSM Receiver

SSM Receiver はパケットを受信し、フレーム、音声サンプルに再構成した後、ストレージに保存する。ストレージの空きが無くなった場合、SSM Receiver は優先度の低いフレーム、音声サンプルから順に破棄し、新しいフレーム、音声サンプルを保存する。

また、SSM Receiver はスループットのモニタリングとパケットロスの検出を行い、これらの情報をフィードバックとして、SSM Sender に送信する。

4.3 マルチメディアアプリケーション

マルチメディアアプリケーションは SSM API を利用して、SSM Receiver が管理するフレーム、音声サンプルを取得し、データの伸張を行い再生する。再生時には、メディア内の時間軸に対する同期を行う。映像の表示が間に合わない場合は、そのフレームはスキップされる。

4.4 優先度付与支援ツール

優先度付与支援ツールは、マルチメディアデータを読みとり、映像ストリーム、音声ストリームの解析を行うことで、スケジューリングに必要な情報を取得する。

マルチメディアデータの作成者、配布者は、GOP 単位でフレーム、音声サンプルに対し 4 段階の優先度を与えることができる。一連の優先度付与作

業から優先度ファイルが作成され、サーバにおいてスケジューリング時に利用される。

5 性能評価

本節は、SSM のプロトタイプにおける性能評価実験の結果について報告する。本プロトタイプには、(i) 音声扱えない、(ii) 品質の調整により生じた余剰転送路を高優先度のフレームの転送に使えないという機能的な制限がある。転送路の効率的な利用などは評価できないが、本送信手順の有効性を評価することができた。

実験として、有線 LAN 環境において、サーバマシンからクライアントマシンにビデオデータを転送し、再生を行った。テストデータとして1分9秒の映画の商業ビデオを4段階の品質で用意し、これを用いた。ビデオは映像トラックと音声トラックからなるが、本稿では映像トラックのみを実験対象とする。4段階の映像の品質は、解像度が異なり160×120、240×180、320×240、そして480×360である。その他の品質は4段階ともに共通で、16ビットカラー、フレームレートは15fpsである。符号化方式はMicrosoft Video1で、要求帯域幅は、約230KB/sec～約600KB/secである。映像データに対しては、優先度付与支援ツールを用い優先度を付与した。

送信手順、シーンの活動度に応じた品質調整を評価するために2つの実験を行った。

5.1 送信手順

SSM の送信手順の有効性を評価するため、ビデオに優先度情報のみを付与し、シーンの活動度は指定せずにデータ転送を行った。実験は有線 LAN 環境において行ったが、利用可能な帯域幅を128Kbpsに制限した。

実験の結果を図3、4に示す。図3から優先度が高いフレームは高品質で、低いフレームは低品質で再生されていることがわかる。また、図4よりスループットが変動しているながらもフレームレートは1以上に保たれていることがわかる。これにより、ネットワークの状況が変化した場合も柔軟に対応可能であると推測される。

実際の再生画面を観察すると、一定間隔で画像が更新され、解像度の変化もあまり目立たなかった。これにより、ユーザに大きな不快感を与えることなくネットワークの転送量を削減できることが確認できた。

5.2 シーンの活動度の指定

シーンの活動度の指定による効果を評価するために、もう一つ実験を行った。実験は5.1と同じ環境で行った。ただし、扱うビデオデータには優先度情報とさらにシーンの活動度の情報も付与した。

結果を図5、6に示す。図5から動きが激しいシーンと指定されている場合、全てではないがフレームレートが通常のシーンよりも上がっている。これにより、活動度の指定により動きが激しいシーンにおいてはフレームレートが上がっていることが確認された。しかし、静止しているシーンと指定されていた場合、通常でもフレームレートが1のため、これ以上フレームレートを下げることができず、フレームレートに変化は見られなかった。このため、静止しているシーンにおいては活動度の指定による効果は確認できなかった。

また、本来静止しているシーンでは品質は高く、動きの激しいシーンでは品質は低くなるはずであるが、図6からはそのことは確認できなかった。これは、扱っているデータに対して、ネットワークの転送能力が十分でなかったためと考えられる。

6 まとめ

本稿では、マルチメディアデータのコンテンツの意味的な重要度を考慮した優先度付けに基づく空間的解像度制御方式について提案した。また、その送信手順、本方式のアーキテクチャ、そして、実装について述べた。そして、プロトタイプを用いた実験により、本手法の有効性と可能性を確認することができた。

今後の課題は、本方式の実装を完了させ、実際のワイヤレス通信環境で実験を行い、その有効性を評価することである。また、本方式の改良も検

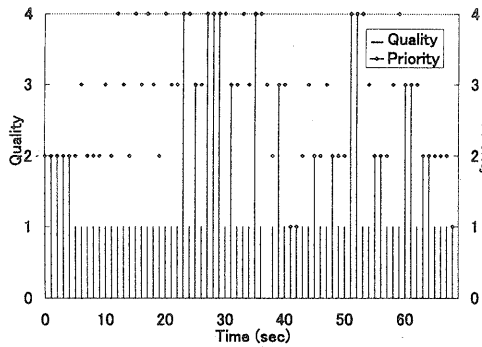


図 3 優先度と解像度の関係

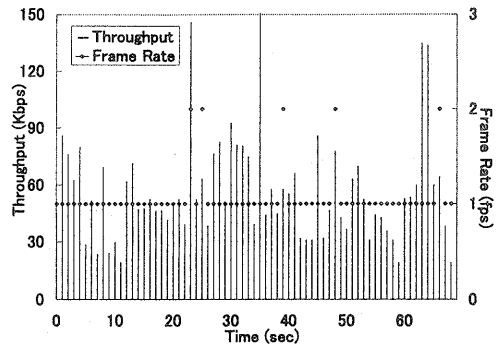


図 4 優先度とスループットの関係

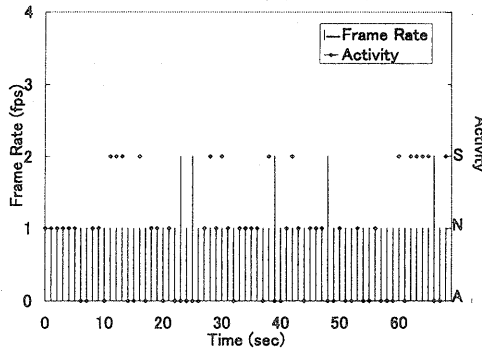


図 5 シーンの指定とフレームレートの関係

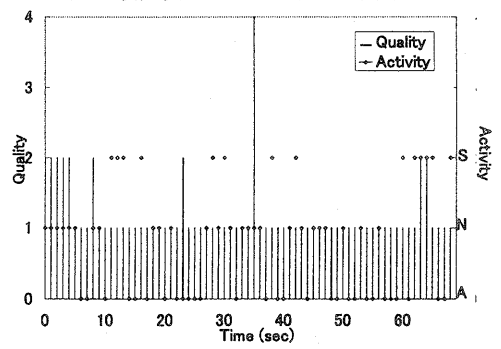


図 6 シーンの指定と解像度の関係

討していきたい。現在、本方式ではキーフレームも差分フレームもそのサイズは等価に扱っている。しかし、本来キーフレームと差分フレームではそのサイズには大きな違いがあるので、その特性を考慮してより効率的に通信路を扱える方式を検討し、実装を行い、現在の方式と比較したい。

参考文献

- [1] ファディガガラジ, 石橋豊, 田坂修二. メディア同期機能を持ったマルチメディア通信におけるビデオの動的解像度制御方式の性能評価. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 96, No. 543, pp. 25-32, Feb 1997.
- [2] 橋本浩二, 知念正, 佐藤純, 柴田義孝. 圧縮ビデオデータ転送のためのパケット及びフレームレート制御法. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 2, pp. 337-346, February 1998.
- [3] S. McCanne, V. Jacobson, and M. Vetterli. Receiver-driven Layered Multicast. *ACM SIGCOMM*, pp. 117-130, August 1996.

- [4] 太田賢, 渡辺尚, 水野忠則. ワイヤレス通信環境における選択的マルチメディア通信方式の実装. 情処研報 97-DPS-82, Vol. 97, No. 35, pp. 141-146, Apr 1997.
- [5] T. Turletti and C. Huitema. Video conferencing on the internet. *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 4, No. 3, pp. 340-351, June 1996.