

モバイルマルチメディアストリーミングサービスのための コンテンツ指向時空間的解像度制御方式

村田 嘉利^{†1} 増田 彰久^{†1} 太田 賢^{†2}
石原 進^{†3} 水野 忠則^{†4}

マルチメディアコンテンツの内容に応じて時間的・空間的解像度を制御し、低速、不安定な無線リンク上でも高品質なストリーミングサービスを提供するコンテンツ指向時空間的解像度制御方式 SSM (Contents Oriented Time and Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Multimedia Streaming Service) を提案する。SSM では単に伝送路の品質に応じて送信フレームの間引きや、空間解像度の低いデータを送るのではなく、マルチメディアコンテンツの制作者によって映像フレームおよびオーディオサンプルごとに与えられた意味的な優先度を使用して、送信フレームの間引き、および空間的解像度の調整を行う。SSM では通信路の状態を監視し、実効帯域が低下した場合、低優先度のシーンを低品質の解像度で送信し、優先度の高いシーンはできるだけ高い解像度で伝送する。これによって、筆者らがこれまでに提案してきた時間的解像度のみを制御していた方式と比べ、時間的解像度の変化の少ないユーザにとって鑑賞しやすい状態でのマルチメディアデータの再生を可能とした。提案システムを実装し、無線ネットワークエミュレーション環境でのデータ転送、および再生データの主観評価を行った結果、提案システムの有効性が確かめられた。

Contents Oriented Time and Spatial Resolution Control Scheme for Mobile Multimedia Streaming Service

YOSHITOSHI MURATA,^{†1} AKIHISA MASUDA,^{†1} KEN OHTA,^{†2}
SUSUMU ISHIHARA^{†3} and TADANORI MIZUNO^{†4}

In this paper we propose “contents oriented time and Spatial resolution control Scheme for Mobile multimedia streaming service (SSM)” which provides high quality multimedia data transmission even on unstable wireless links with control of time and spatial resolution of multimedia data. Instead of simply thinning down the time resolution of multimedia data or degrading the spatial resolution according to the status of wireless links, SSM uses semantic priorities assigned to each movie frame or audio sample to control the time and spatial resolution of the multimedia data to be sent. When effective bandwidth degrades, SSM degrades spatial resolution of movie frames or audio samples assigned low priority. And it sends them with other data assigned high priority without degrading the resolution. By controlling not only time resolution but spatial resolution, multimedia data can be played comfortably on the receiver side. We implemented SSM, and confirmed the effectiveness by subjective evaluations of quality of multimedia data transmitted by SSM.

1. はじめに

NTTドコモのIMT-2000 サービス FOMA が始まり、その伝送速度が従来の PDC の 9600 bps から最

大 384 Kbps へと大幅に高速化した。これにともない、TV 電話やダウンロード型のマルチメディアコンテンツ提供サービスが開始された。今後は、ダウンロード型サービスに加えて、IMT-2000 の携帯電話をマルチメディアサーバに接続してストリーミング形式でマルチメディアコンテンツを楽しむサービスも予定されている。また、W-CDMA では伝送速度 2 Mbps への高速化、cdma2000 では最大伝送速度数 Mbps を実現する HDR など、IMT-2000 サービスではさらなる高速化が計画されている。このような伝送速度の高速化にともない、今後コンテンツのダウンロード型に加えて

†1 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ東海
NTT DoCoMo Tokai, Inc.

†2 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ
NTT DoCoMo, Inc.

†3 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University

†4 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

ストリーミング型のマルチメディアサービスが一般化すると考えられる。

マルチメディアコンテンツをストリーミングモードで再生する場合、伝送品質の低下にともない、画像品質/オーディオ品質が劣化する。この問題に対し、インターネットやIMT-2000においては、伝送品質の劣化に対して、誤り訂正や再送制御に加えて、伝送帯域の変化に応じて画像フレームの削除や解像度を低下させるといった手法が使われてきた。このような方式においては、伝送品質に応じて単純に品質を落とす処理を行うことから、その画像に含まれる意味的重要度は考慮されないという欠点があった。

本論文では、単に伝送品質の状態に応じてフレームの間引きや解像度の低下を行うのではなく、そのコンテンツの持つ意味的重要度に応じてフレームの間引きや解像度の制御を行うコンテンツ指向時空間的解像度制御方式SSM (contents oriented time and Spatial resolution control Scheme for Mobile multimedia streaming service) を提案する。SSMでは、コンテンツ製作者によって与えられる連続メディア内の各シーンの意味的重要度を用いて、実際に伝送するデータの品質を制御する。伝送路の品質が悪化した場合には、意味的重要度の高いシーンに対しては高品質を保ちつつ、優先度の低いシーンに対しては品質を劣化させたデータを伝送する。これにより、伝送路の許容帯域を最大限に活かし、シーンに応じたフレームレートと解像度でコンテンツを提供することを可能とする。

以下、2章で関連研究について述べ、3章ではコンテンツ指向時空間的解像度制御方式SSMを提案する。次に4章でSSMのプロトタイプの実装について述べ、5章でこのプロトタイプを用いた性能評価について述べる。最後に6章でまとめとする。

2. 関連研究

2.1 符号化方式

インターネットや移動通信のように伝送品質が安定せず、伝送帯域幅が変化する通信システム下でもビデオやオーディオといったマルチメディア情報を伝送するべく、様々な符号化方式が研究され実用化されている⁷⁾。DVDなどに使用されているMPEG-2では、部分的にコンテンツの内容を用いた解像度の制御を行っている。また、インターネットおよび移動通信環境下でのマルチメディア伝送を目的に標準化されたMPEG-4¹⁰⁾は、符号化能率が高いことに加えてエラー耐性も強い。特にMPEG-4シンプルプロファイ

ルにおいては、伝送品質の劣化に対してフレーム内の誤り訂正やフレームの再送といった誤り訂正制御に加え、伝送帯域の低下に対するフレームレートの低下、オーディオ品質の低下といった制御が行われている。

2.2 適応的レート制御手法

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適應する手法がこれまで提案されてきた^{6),8),9)}。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。PAVS (Packet Audio Video System)¹⁾は、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。ASRC (Adaptive Source Rate Control)³⁾は、通信路の状況に応じてビデオの符号化レートを調節する。これにより、リアルタイムビデオの効果的な伝送を可能とする。

2.3 選択的マルチメディア通信方式

MPEG-2やMPEG-4などの符号化方式では、伝送品質が劣化し帯域が狭くなった場合、その意味的重要度に関係なく一律に単位時間あたりのフレーム数の削減や解像度の劣化を行っており、意味的に重要なシーンとそれ以外を区別して伝送することができなかった。コンテンツ製作者や配信者がコンテンツのフレームに対してタグを付与する方式として、MPEG-7²⁾がある。MPEG-7では、各フレームに対して検索のためのタグを付加する。たとえば、サッカーのゲームにおいてシュートシーンだけに対してタグを付加し、そのシーンだけを再生可能となる。しかし、伝送帯域に応じてフレームに優先順位をつけて伝送するといった伝送制御は行われていない。

このような課題に対し筆者らは、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、コンテンツの内の意味的に重要な情報を優先して伝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る。マルチメディアコンテンツの作成者らは、自らの主観に基づいて各映像フレーム/オーディオブロックに対して、その意味的な重要度に基づいて優先度を与える。SMAPは、この優先度に基づき予測される帯域内で映像フレーム/オーディオブロックを選択的に伝送する。実効帯域が減少した場合、低優先度の映像フレーム/オーディオブロックはスキップされるものの、優先度の高い情報は確実に伝送される。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。しかしながら、SMAP は時間的解像度の制御のみで伝送帯域の変化に対応することから、ビデオ再生時にはフレームレートの変化が激しいという問題がある。

3. コンテンツ指向時空間的解像度制御方式

本章では、マルチメディア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に提供するコンテンツ指向時空間的解像度制御方式 SSM (contents oriented time and Spatial resolution control Scheme for Mobile multimedia streaming service) を提案する。

3.1 SSM の概要

2 章で述べたように、従来の適応的手法にはマルチメディアコンテンツの意味的な重要度を考慮していないという問題がある。また、SMAP は意味的に重要な情報を確実に伝送できるものの、再生時のフレームレートの変動が激しいという問題があった。

SMAP のフレームレートの変動は、空間的解像度を一定にしたままで、優先度に応じて時間的解像度のみを制御していたことに起因する。そこで SSM では、(i) 優先度および通信路の予測実効帯域に基づいて送信ビデオ・音声データの空間的解像度を動的に制御し、(ii) 動画データの動きの激しさに応じた空間的解像度および時間的解像度の調整を行う。

優先度に基づいた制御

優先度に基づいて送信するビデオデータの解像度および音声データの品質の調整を行う。高優先度のデータは高品質で伝送し、低優先度のデータは低品質で伝送する。これにより、意味的に重要なシーンを高品質で再生しながら全体の伝送量を削減する。また、各優先度のデータに対応する品質は送信時の通信路の状態に応じて動的に決定される。これにより、実効帯域が小さい場合でも確実にデータを送信することができる。優先度に基づく制御の詳細は 3.3.2 項 (3) および 3.3.3 項 (1) で述べる。

動画データの動きの激しさに応じた制御

一般にビデオデータの中には動きの激しいシーンと逆に動きの少ないシーンが混在している。この動きの激しさの度合いを本論文では活動度と呼ぶことにする。人の目から見た場合、動きの激しいシーンでは、フレームレートの減少は認識されやすいが、画質の劣化は認識されにくい。逆に、静止しているシーンでは画質の劣化は認識されやすいが、フレームレートの減少は認識されにくいと考えられる。そこで、SSM は動きの激しいシーンでは高フレームレート・低画質、

静止しているシーンでは低フレームレート・高画質というようにシーンの活動度に応じて空間的解像度と時間的解像度の調整を行う。これにより限られた通信路をより有効に活用する。この具体的手法については 3.3.2 項 (2) で述べる。

以上の制御により、SSM はネットワークのサービス品質が変動した場合でも、意味的に重要なシーンの高品質な再生、およびデータ全体にわたっての安定したフレームレートでの再生を可能とする。以下、SSM での処理の詳細について述べる。

3.2 コンテンツの前提条件

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 ($1, 2, \dots, M$) の空間的解像度のフレームが得られ、音声は任意のサンプル番号に対し L 段階 ($1, 2, \dots, L$) の品質の音声サンプルが得られることとする (とともに値が大きいほど品質が良い)。

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。優先度付与作業の効率を考慮し GOP (Group of Picture) 単位で優先度を付与する。また、ビデオデータには、各シーンの動きの激しさに応じて 3 段階の活動度 (A : 動きが激しい, S : 静止している, N : どちらでもない) も付与する。

各シーンへの優先度および活動度の与え方は、優先度と活動度を付与する人間の主観にゆだねられる。たとえば、コマーシャルビデオにおいては、商品の説明のシーンに高い優先度が与えられると考えられる。また、活動度に関しては、アクションシーンのような動きの激しいシーンには活動度 A が与えられ、風景や図面などの静止シーンには S が与えられる。

SSM は与えられた優先度と活動度に基づいて、送信データの空間的解像度と時間的解像度を制御する。

3.3 送信手順

本節では、SSM でのビデオと音声の品質制御から送信までの手順について述べる。

一般にビデオと音声では要求される品質が異なる。ビデオの再生時の途切れがユーザに与える不快感は小さいが、音声の途切れが与える不快感は大きい。そこで SSM では、ビデオに関しては必要なフレームのみ送信し、音声に関しては全音声サンプルを送信することでこれに対処する。ビデオと音声、それぞれの送信手順について、3.3.2 項、3.3.3 項で述べる。

ビデオを構成するキーフレーム (単独で再生可能) と差分フレーム (キーフレームとの差分) のグループ。

3.3.1 帯域の分配

具体的な送信手順について述べる前に、ビデオと音声データへの帯域の分配方法について述べる。SSMは、ネットワーク状況を監視し、現在利用可能な帯域幅を予測する。これを予測帯域幅 B_c とする。SSMは、ユーザの指定した割合 a ($0 \leq a \leq 1$) で B_c をビデオ用 $B_V (= aB_c)$ と音声用 $B_A (= (1-a)B_c)$ に分配する。SSMはそれぞれ B_V と B_A を超えない範囲でビデオフレームと音声データを送信する。

ビデオは GOP 単位で品質調整およびスケジューリングが行われ、音声は対応するビデオの GOP 単位で品質調整が行われる。これらの操作は一定の間隔で行われる。その時点で未処理の先頭 GOP から順にフレームの空間的解像度と音声サンプルの品質が計算され、必要なフレームと音声サンプルが送信スケジュールされる。

3.3.2 ビデオデータの送信手順

ビデオデータの送信・再生に先立ち、まず基準となるビデオの解像度とフレームレートが決定される。この基準となる品質を基に、送信時のネットワークの状況と優先度および活動度に応じて再生時の空間的解像度が決定され、あらかじめ複数の解像度に対して用意されたビデオデータのうちから1つが選択され、1 GOP 分のデータが送信スケジュールされる。以下、この手順の詳細について述べる。なお、特に断らない限り、以下本項では解像度と呼んだ場合、空間的解像度のことを意味する。

(1) 基準フレームレートの決定

再生に先立ちユーザはあらかじめ用意された M 段階の解像度の中から再生時の基準となる解像度 (基準解像度: $k = 1, 2, \dots, M$) を選択する。ユーザが使用するビデオ用の帯域 B_V において、基準解像度で伝送可能な最大のフレームレートを基準フレームレート F_b とする。 F_b は式 (1) から求められる。ここで V_k は式 (2) から求められる基準解像度 k のビデオにおける1フレームの平均容量である。式 (2) において、 V_k^h は解像度 k のビデオデータ全フレーム数 H のうちの h 番目のフレームの容量である。

$$F_b = B_V / V_k \tag{1}$$

$$V_k = \sum_{h=1}^H V_k^h / H \tag{2}$$

(2) 再生フレームレートの決定

次にシーンの活動度に応じて再生時のフレームレートを決定する。送信する GOP の活動度、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 再生フレームレート
Table 1 Frame rate of play.

活動度	F_o と F_b の比較	F_p (再生フレームレート)
S (静)	—	F_b / α
N (通常)	—	F_b
A (動)	$F_b < (F_o / \alpha)$	αF_b
	$F_b \geq (F_o / \alpha)$	$F_b + ((F_o - F_b) / \alpha)$

表 2 優先度と解像度 (品質) の対応
Table 2 Correspondence of priority to resolution.

優先度の段階数 (N) と解像度 (品質) の選択枝数 (j) の関係	優先度 P に対応する解像度 Q_V or 品質 Q_A
$N \leq j$	$P + (j - N)$
$N > j$	$\lceil P / (N/j) \rceil$

表 1 のように再生フレームレート F_p を決定する。再生フレームレートは、シーンの状態に応じ、動きが激しいほど高くなるように決定される。表 1 において、 α は活動度によるフレームレートの変化の割合を決めるパラメータであり、 $\alpha \geq 1$ である。

(3) 再生解像度の決定

再生時の解像度は、GOP ごとの優先度とデータ送信時の予測帯域に従って、送信時に動的に決定される。

ここで、 B_V^t および F_p^t をそれぞれ t 番目 ($t = 1, 2, \dots, T$) の GOP 送信時における予測帯域のビデオ分配分および、再生フレームレートとする。まず、現在の帯域で送信可能な最大解像度 j を、 F_p^t に対応した数のフレームを送信した場合のスループットが B_V^t を超えない最大の値として式 (3) より求める。ここで、 V_j は解像度 j におけるビデオの1フレームの平均容量である。 B_p^t は t 番目までの GOP を送信する間に生じた帯域の余裕であり、式 (4) により求める。 V^t は t 番目の GOP 送信時に実際に選択された解像度におけるビデオの1フレームの平均容量である。

$$B_V^t + B_p^t \geq F_p^t V_j \tag{3}$$

$$B_p^t = \begin{cases} 0 & (t = 1) \\ B_p^{t-1} + B_V^{t-1} - F_p^{t-1} V^{t-1} & (t \geq 2) \end{cases} \tag{4}$$

さて、 j は式 (3) を満たす最大のビデオの解像度を示す値であるとともに、解像度の選択枝数でもある。 j により各優先度 P の GOP に対応した解像度 Q_v が表 2 のように求まる。すなわち、優先度の段階数より解像度の選択枝数の方が多い場合、優先度が最も高い GOP に対しては選択可能な最も高い解像度を割り当て、以下、優先度が低くなるに従って、低い解像度を割り当てる。また、優先度の段階数より解像度の選択枝数の方が少ない場合、選択できる解像度に可能な限り均一に分散するように優先度を割り当てる。低解

像度のデータが選択された場合、現在利用可能な帯域に余裕が生じることになるが、ここで生じた余裕は後に送信されるより高い優先度の GOP の送信のために用いられる。

(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。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される。

3.3.3 音声データの送信手順

音声データの送信では、まず、再生時に送信できる最高の品質を求め、優先度と品質の対応を決定する。次に、優先度に基づき再生品質を決定する。品質が決定すると各音声サンプルがその品質で送信される。以下、手順の詳細について述べる。

(1) 優先度と品質の対応の決定

想定した音声用の最大帯域 B_A^t 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求める。これは、式 (5) を満たす品質 l の最大値として求まる。 B_o^t は t 番目までの音声サンプルを送信する間に生じた帯域の余裕であり、式 (6) により得られる。 A_l 、 A^t はそれぞれ、品質 l における音声サンプル、および t 番目に実際に選択された品質の音声サンプルの単位時間あたりの平均容量である。

$$B_A^t + B_o^t \geq A_l \quad (5)$$

$$B_o^t = \begin{cases} 0 & (t = 1) \\ B_o^{t-1} + B_A^{t-1} - A^{t-1} & (t \geq 2) \end{cases} \quad (6)$$

A_l の決定に従い、選択可能な音声の最高品質 l が決定される。

(2) 再生品質の決定

ビデオの場合と同様に選択可能な音声の最高品質 l は音声品質の選択肢数である。各優先度 P に対応した品質 Q_A がビデオの場合と同様に表 2 より求められる。

(3) 音声サンプルの送信

対象となる音声サンプルを優先度に応じた品質で送信する。

4. プロトタイプの実装

提案方式 SSM のプロトタイプを実装した。プロトタイプでは、ビデオ伝送のみが実装され、音声の伝送は実装されていない。

4.1 ソフトウェア構成

図 1 に SSM のソフトウェア構成を示す。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

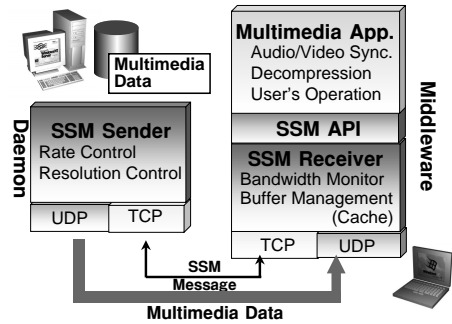


図 1 SSM のソフトウェア構成
Fig. 1 Software structure of SSM.

のアプリケーション SSM Sender と受信側でミドルウェアとして実現される SSM Receiver によって行われる。受信したデータの再生は SSM Receiver の提供する SSM API を介して、再生用のマルチメディアアプリケーションが行う。

SSM Sender

SSM Sender は 3.3 節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い、UDP によりデータを送信する。また、一定間隔で SSM Receiver に対しプローブメッセージを TCP を介して送信し、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。

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、バッファに保存する。バッファの空きがなくなった場合、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 は実効帯域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 SSM Sender に送信する。

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 が管理するビデオフレーム、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。フレームや音声サンプルデータの到着が再生に間に合わない場合は、そのデータの再生はスキップされる。

4.2 優先度付与支援ツール

SSM で利用する優先度、活動度をマルチメディアデータに付与するためのツールとして、優先度付与支援ツールを実装した。このツールを用いることで、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 N 段階の優先度と 3

段階の活動度を与えることができる．一連の優先度付と作業から優先度ファイルが作成され，SSM Senderでの品質制御に用いられる．

5. 評価

本章では，SSM プロトタイプを用いた性能評価について述べる．

5.1 実験概要

SSMのトラフィック特性を調べるためのプロトタイプによるデータ伝送実験と，SSMによる品質制御がユーザの視覚に及ぼす影響を確認するための主観評価実験を行った．

これらの実験では，外部ネットワークの影響を防ぐため，1台のマシンの中でサーバ，クライアントを動作させた．また，ネットワークの状況をエミュレートするためサーバ，クライアント間の帯域を擬似的に変動させた．

テストデータとして，長さ1分9秒の，ある映画のコマーシャルビデオを用いた．このビデオは映像トラックのみからなり，品質は16ビットカラー，フレームレート15fpsである．また，符号化方式はMicrosoft Video1である．提案方式を適用するため，このビデオを 160×120 ， 200×150 ， 240×180 ， 280×210 ， 320×240 ， 360×270 ， 400×300 ， 440×330 ， 480×360 (pixels) の9段階の解像度で用意し，基準解像度を 320×240 (pixels) とした．これらデータの送信における要求帯域は約480～3,800 Kbpsであるが，実験では帯域幅を500 Kbps以下に制限した．映像データには，優先度付与支援ツールを用い優先度(4段階)，活動度(3段階)を付与した．すべての実験において，優先度と活動度データは同一のものを使用した．

5.2 データ伝送実験

優先度指定による効果，帯域幅が変動した場合の振舞い，活動度指定による効果を調べるため3つの実験を行った．

5.2.1 優先度指定による効果

優先度に基づく伝送の効果を評価するため，映像データに優先度のみを付与して伝送した．ここで活動度はすべてN(どちらでもない)を指定した．これは優先度による品質制御の効果を明確にするためである．実験では，帯域幅を500 Kbpsに固定した．

図2に優先度と解像度の関係を示す．この図から高優先度のフレームは高解像度で，低優先度のフレームは低解像度で再生されていることが分かる．

5.2.2 帯域幅が変動した場合の振舞い

次に，帯域幅が変動した場合の振舞いを評価するた

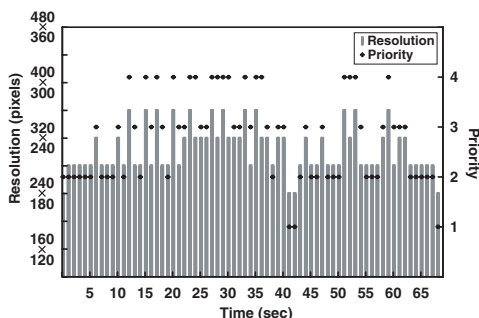


図2 優先度と解像度の関係

Fig. 2 Relation between priority and resolution.

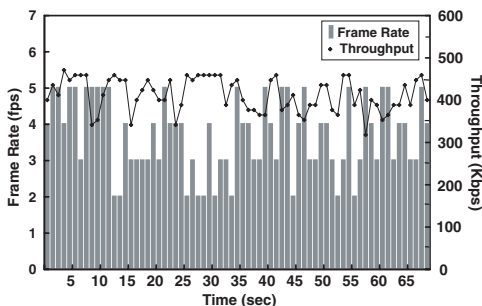


図3 従来方式で得られた再生時フレームレート

Fig. 3 Frame rate obtained by a conventional method.

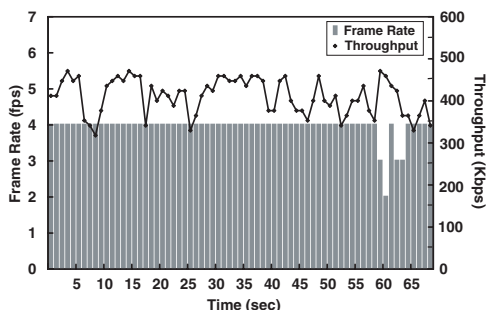


図4 SSMで得られた再生時フレームレート

Fig. 4 Frame rate obtained by SSM.

め，優先度を考慮しない従来型の伝送と提案方式による伝送を比較した．実験では，毎秒1/2の確率で帯域幅が500～350 Kbpsの間で変化するように設定した．また，本実験でも5.2.1項と同様に優先度による効果を明確にするために，映像データに優先度のみを付与し，活動度はすべてNとした．

従来方式，SSMそれぞれの結果を図3，図4に示す．従来方式では，帯域の変動にともない，データ再生に間に合わないフレームが発生し，再生時のフレームレートが大きく変化している．これに対し，SSMでは帯域の変動に左右されることなく，ほぼ一定のフレームレートで再生されている．60秒付近で，フレー

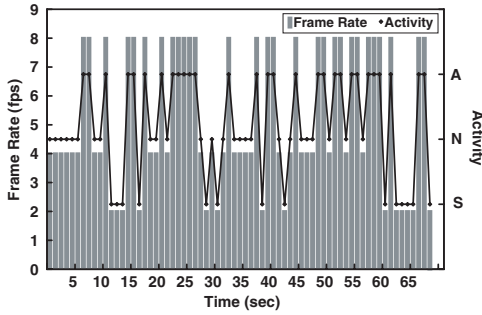


図 5 活動度とフレームレートの関係

Fig. 5 Relation between activity and frame rate.

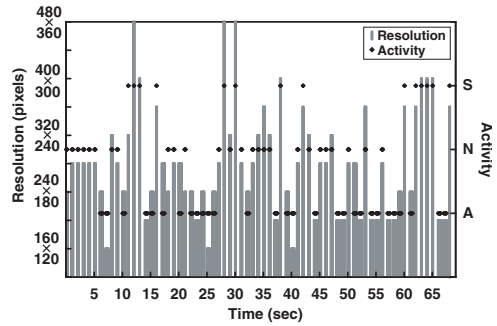


図 6 活動度と解像度の関係

Fig. 6 Relation between activity and resolution.

表 3 実験で用いたビデオの解像度とフレームレート
Table 3 Resolution and frame rate of video on experiment.

	画質 (pixels)	フレームレート (fps)
a (無処理)	320×240	4
b (SMAP)	320×240	0~5
c (SSM, 優先度)	160×120 ~ 480×360	4
d (SSM, 優先度+活動度)	160×120 ~ 480×360	2~8
e (全フレーム表示)	120×90	15

ムデータが再生に間に合わなかったために再生時のフレームレートが減少しているが、これ以外は優先度による空間解像度の調整により、フレームレートが維持されている。

5.2.3 活動度に基づく伝送

活動度に基づく伝送の効果を評価するため、優先度と活動度の両方を指定して SSM による伝送を行った。実験では、帯域幅は 500 Kbps 固定とした。

図 5 に活動度と実際に再生されたフレームレートの関係を示す。基準フレームレートは 4 fps であるが、活動度が A (動きが激しい) の場合、再生時のフレームレートが 8 fps に上がっている。また、活動度が S (静止している) の場合フレームレートが 2 fps に下がっており、活動度が再生時のフレームレートに反映されている。

活動度と解像度との関係を図 6 に示す。基準解像度が 280 × 210 (pixels) であるのに対し、活動度が S の場合解像度が最大で 480 × 360 (pixels) まで上がっている。また、活動度が A の場合解像度が最小で 160 × 120 (pixels) まで下がっており、活動度が解像度に反映されている。

なお、今回の実験では、実効帯域を 350 ~ 500 Kbps という限定された値の中で変動させた結果のみを示したが、帯域がこれと異なった場合でも SSM での品質制御の本質は変わらない。たとえば、実効帯域を 600 ~ 1,500 Kbps に設定した場合、基準解像度は 320 × 240 (pixels)、基準フレームレートは 11 fps となり、全

体的に再生時の解像度、フレームレートは高くなるものの、優先度と活動度に基づいて再生を行うという点は変わらない。

5.3 主観評価実験

SSM による品質制御がユーザの視覚に及ぼす影響を確認するため、被験者にコマースビデオを表 3 に示す 5 つの方式で見てもらい、アンケートによる主観評価を行った。

実験に先立ち、まずビデオデータをネットワークを介さない普通の状態で見てもらい、実験の説明を行った。次に、5 つの方式でビデオを見てもらい、下記のアンケートを行った。被験者は 44 人の大学生、大学院生である。

順位 再生を見て良かったものから順に、1 (良い) ~ 5 (悪い) での順位付け。

良かった理由 順位で一番良かったものに意図したものを選んだ理由。

悪かった理由 順位で一番悪かったものに意図したものを選んだ理由。

解像度の変化 c と d に関して、再生中の解像度の変化が気になったかを 5 段階評価で採点。

フレームレートの変化 a, b, d に関して、再生中のフレームレートの変化が気になったかを 5 段階評価で採点。

実験では、帯域幅を 500 Kbps に固定した。映像データに対し、b, c, d 方式には同じ優先度を付与し、d 方式に関しては活動度も付与した。ここで、SMAP と

は 2.3 節で述べた方式であり、全フレーム表示とは限られた帯域でオリジナルデータのすべてのフレームを表示できるように、解像度を落として再生した方式である。

5.4 アンケート結果

図 7 にアンケートの順位の項目についての結果を示す。提案方式である c, d は 1~3 位に評価が集中している。一方で、従来方式である a, b, e は 3~5 位に評価が集中している。このことから、提案方式が高い評価を受けていることが分かる。また、1~5 位にそれぞれ 5~1 点の点数を付け、平均をとった結果を表 4 に示す。この結果からも提案方式が従来方式よりも高い評価を受けていることが明らかとなった。

c, e を一番良いと答えた被験者の多くは、良かった理由として画質とフレームレートのバランスが良かったと回答した。また、a, b を一番悪いと答えた被験者の多くは悪かった理由としてフレームレートの変化が気になったと回答している。このことからフレームレートの変化よりも解像度の変化の方がユーザに受け入れられやすいということが分かる。また、e を一番悪いと答えた被験者の多くは悪かった理由として画質が悪すぎると回答している。このことから、フレームレートが高くて安定していても解像度が低すぎるとユーザの満足感を得られないことが分かる。

図 8 に解像度の変化の項目についてのアンケート結果を示す。c に関しては 77%、d に関しては 61%の被験者が、解像度の変化がまったく気にならなかったか、あまり気にならなかったと答えている。このことから提案方式における画質の変化はユーザにとって許容可能な範囲にあることが分かる。

また、フレームレートの変化の項目のアンケート結果を図 9 に示す。a では 68%、c では 70%の被験者がフレームレートの変化を気にしているのに対し、d では 59%の被験者がまったく気にならなかったか、あまり気にならなかったと答えている。このことから、提案方式が従来方式よりもフレームレートの変化が目立たず、ユーザにとって好ましいということが分かる。

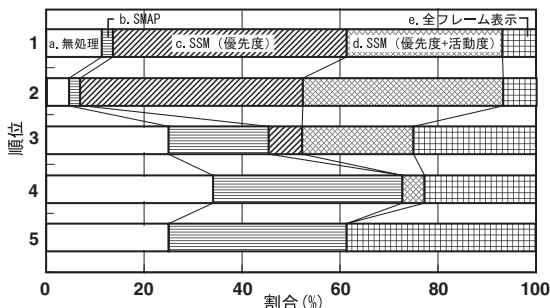


図 7 各順位における各方式の割合
Fig. 7 Rate of each ranking.

表 4 各方式の平均順位
Table 4 Average of ranking.

方式	平均点
a (無処理)	2.4
b (SMAP)	2.0
c (SSM, 優先度)	4.4
d (SSM, 優先度+活動度)	4.0
e (全フレーム再生)	2.2

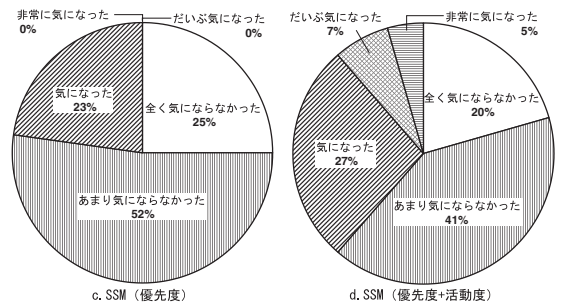


図 8 解像度の変化に関する利用者の反応
Fig. 8 Reaction of changing resolution.

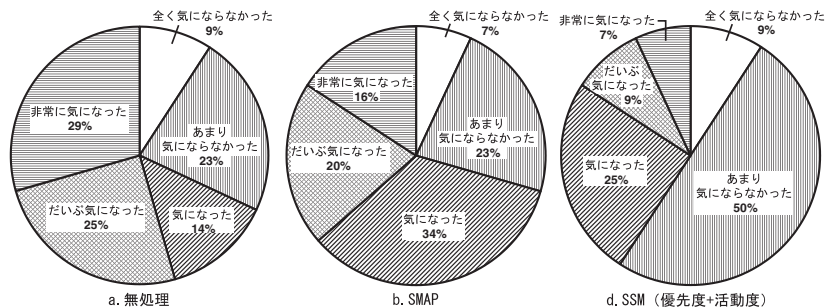


図 9 フレームレートの変化に関する利用者の反応
Fig. 9 Reaction of changing frame rate.

5.5 考 察

実験の結果から、ビデオデータに付与された優先度と活動度に従い、データ伝送時に解像度とフレームレートが適切に調節されることが確認された。5.2.2 項より帯域幅の変動に柔軟に対応できることも示され、SSM は従来方式よりも効率的に通信路を使用しているといえる。また、評価実験の結果から提案方式 SSM が従来方式よりも主観的に高い評価を受けており、ユーザの視点から見た場合に高い品質でビデオを伝送できているといえる。

SSM を用いた優先度のみの指定による品質制御と、優先度と活動度の両方を指定した場合に対するユーザの主観評価の比較では、予想に反して、優先度のみの制御を行った方がわずかながら高い評価となった。優先度のみの指定の場合、フレームレートはほぼ一定で、画像の解像度のみが変化するが、活動度も指定した場合、フレームレートと画像の解像度の両方が変化する。SSM 以外の方式との比較から、解像度の変化よりもフレームレートの変化の方がユーザの主観に大きく影響を与えることが確認されているので、この結果は SSM の特徴の 1 つである活動度による品質制御の是非を問うものといえる。

ただし、今回の実験ではフレームレートの変化を決めるパラメータ $\alpha = 2$ であり、フレームレートの変化がユーザにとって極端すぎた可能性がある。また、利用したビデオデータが、比較的多くの動きのあるシーンを含み、図面のように特に高解像度が期待される静止シーンが少なかったこともユーザの主観評価に影響したと考えられる。今後より多くの種類のビデオデータ、および α を用いた検討が必要である。

なお、今回の実験では、ユーザに対し優先度について事前に知らせずに実験を行った。また、優先度はコンテンツの提供者側の意図により付与されたものである。これは、ユーザにとって必ずしも好ましいものではないともいえる。ユーザにとって満足のいくデータの再生を行うためには、複数の選択基準に基づく優先度付けの自動化や活動度付けの自動化を行い、ユーザの嗜好に合わせて優先度の選択基準を選択可能とすることが有効と考える。

6. ま と め

本論文では、移動通信環境下でのマルチメディアストリーミングサービスにおいて高品質を維持するため、コンテンツの意味的重要度を考慮した優先度に応じて、時間的・空間的解像度制御を行う時空間的解像度制御方式 SSM を提案した。また、その伝送手順、アーキ

テクチャ、およびソフトウェア構成について述べた。

PC ベースでのプロトタイプを開発し、実験・品質評価を行った結果、(i) 優先度、活動度に応じた品質の調整、(ii) 伝送帯域幅の変動への柔軟な対応、(iii) 主観的に高い品質での再生、を確認することができた。また、(a) 活動度指定によるフレームレートの変化はユーザによっては必ずしも好まれない、(b) 優先度、活動度がコンテンツ提供者側の一方的な意図になっている、といった問題点も明らかとなった。

今後は、IMT-2000 の実環境下においてオーディオの送信・再生を含めた SSM の実装を行い実験、評価を進める。また、カメラつき IMT-2000 端末を利用してコンテンツ利用者の反応を分析し、利用者の満足度の高い画像のフレームレート、空間的解像度の制御手法についても検討していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 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 (1998).
- 2) 堀 修: マルチメディア内容記述標準 MPEG-7 とその応用, 電子情報通信学会誌, Vol.84, No.9, pp.635-638 (2001).
- 3) Liu, H. and Zarki, M.E.: Adaptive source rate control for real-time wireless video transmission, *Mobile Networks and Applications*, Vol.3, No.1, pp.49-60 (1998).
- 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, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.312-320 (1998).
- 5) Turlitti, T. and Huitema, C.: Video conferencing on the Internet, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.4, No.3, pp.340-351 (1996).
- 6) 高山修一, 堀 良彰, 砂原秀樹, 尾家祐二: インターネットにおける実時間情報伝送システムの構築, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.95, No.494, pp.1-6 (1996).
- 7) 若宮直紀, 長岡利幸, 村田正幸, 宮原秀夫, 大山公一: アプリケーションレベルの要求品質を考慮した動画画符号化転送方式, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.98, No.668, pp.111-116 (1999).
- 8) 阪谷 徹, 渡辺浩志, 畔上修一, 丸井博次, 林泰仁: インターネットを利用したリアルタイムオーディオ配信システム—Audio Link, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.96, No.3, pp.5-9 (1996).
- 9) 浅見 徹: インターネットのリアルタイム通信—その特徴とスケラビリティ, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.97, No.183, pp.39-46 (1997).
- 10) 三木弼一: MPEG-4 のすべて, 工業調査会

(1998).

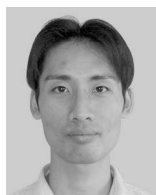
(平成 14 年 3 月 25 日受付)

(平成 14 年 6 月 4 日採録)



村田 嘉利

昭和 29 年生。昭和 54 年名古屋大学工学部電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT)、横須賀電気通信研究所入社。移動通信システムの研究開発に従事。平成 4 年 NTT 移動通信網株式会社に異動。モバイルマルチメディアサービスの開発に従事。平成 9 年 NTT 東海移動通信網株式会社に異動。モバイルマルチメディアサービスの普及に従事。ACIS 会員。



増田 彰久(正会員)

昭和 50 年生。平成 10 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。平成 12 年同大学大学院理工学研究科計算機工学専攻修士課程修了。同年株式会社エヌ・ティ・ティドコモ東海入社。携帯電話を利用したサービスの開発に従事。電子情報通信学会会員。



太田 賢(正会員)

昭和 46 年生。平成 6 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。平成 8 年同大学大学院修士課程修了。平成 10 年同大学大学院博士課程修了。博士(工学)。平成 11 年 NTT 移動通信網(株)入社。現在(株)NTTドコモマルチメディア研究所勤務。平成 9 年度日本学術振興会特別研究会特別研究員。モバイルコンピューティング, マルチメディア通信, グループウェア, 分散システムに関する研究に従事。訳書「コンピュータネットワーク第 3 版」(プレントイスホール出版)など。電子情報通信学会会員。



石原 進(正会員)

昭和 47 年生。平成 6 年名古屋大学工学部電気学科卒業。平成 11 年同大学大学院工学研究科博士後期課程電子情報学専攻修了。平成 10 年度日本学術振興会特別研究員。平成 11 年静岡大学情報学部情報科学科助手。平成 13 年同大学工学部システム工学科助教授。博士(工学)。モバイルコンピューティング, 無線環境用 TCP/IP に関する研究に従事。電子情報通信学会, ACM 各会員。平成 9 年度電気通信普及財団賞。



水野 忠則(正会員)

昭和 20 年生。昭和 43 年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。平成 5 年静岡大学工学部情報知識工学科教授。現在, 同大学情報学部情報科学科教授。工学博士。情報ネットワーク, モバイルコンピューティング, 放送コンピューティングに関する研究に従事。著書としては「プロトコル言語」(カットシステム)、「コンピュータネットワーク概論」(ピアソン・エデュケーション)などがある。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。当会フェロー。