

# 移動網におけるベストエフォート IP パケット通信に適した 可変レート音声画像通信システム

佐藤 仁 樹<sup>†</sup>, 石場 正大<sup>†</sup>, 有馬 太 公<sup>††</sup>  
安川 祥 正<sup>††</sup> 木村 東 樹<sup>††</sup> 笠間 俊 夫<sup>††</sup>

我々は、狭帯域・低品質な移動網や広帯域・高品質なイントラネット等の様々な IP ( Internet protocol ) パケット網で、音声・画像によるリアルタイム IP 通信を行うために必要となる以下の方式を開発した：(1) 符号化速度 8 kbps ~ 数 Mbps の可変レート音声画像符号化方式，(2) 高いパケット廃棄率に対応可能な廃棄パケット補間方式，(3) 大きな遅延ゆらぎに対応可能な遅延ゆらぎ吸収方式，(4) ユーザプログラム可能な符号化パラメータ設定機能を持つ符号化パラメータ制御方式．また，上記方式，および安定性と帯域変動に対する追従性に優れた TCP-friendly な輻輳制御アルゴリズム MAQS ( the maximum throughput and QoS guaranteed congestion control algorithm ) を実装した可変レート音声画像通信システムを開発した．本システムにより，移動および有線網におけるベストエフォートサービスを利用して，音声・画像によるリアルタイム通信を安定した品質で提供できるようになった．本論文では，本システムの概要と実験網による性能評価結果を述べる．

## A Variable-rate Voice and Video Communication Systems Suitable for Best-effort IP Packet Communications over Mobile Networks

HIDEKI SATOH,<sup>†</sup> MASAHIRO ISHIBA,<sup>†</sup> TAIKOU ARIMA,<sup>††</sup>  
YOSHIMASA YASUKAWA,<sup>††</sup> MOTOKI KIMURA<sup>††</sup> and TOSHIO KASAMA<sup>††</sup>

We developed the following methods for real-time voice and video communications over various Internet protocol (IP) networks such as narrow-band low-quality mobile networks and high-speed high-quality wired networks: (1) a variable-rate voice and video encoding method that covers bit rates from 8 kbps to several Mbps, (2) a method that can compensate for packets lost with a high probability, (3) a delay absorbing method that can cope with large fluctuations in the delay time, and (4) a user-programmable control method to adjust the values of coding parameters. We developed a variable-rate voice and video communication system by using the above four methods and the maximum throughput and QoS guaranteed congestion control algorithm (MAQS), which is TCP-friendly, highly stable, and provides fast response against bandwidth and packet-loss-ratio fluctuations. By using the system, we obtained stable and high-quality communications over the best-effort service of mobile and wired networks. This paper summarizes the system and the results of its performance evaluation over experimental networks.

### 1. はじめに

IP ( Internet protocol ) ネットワークのベストエ

フォートサービスを利用したリアルタイム通信として，RTP( real-time transport protocol )/UDP( user datagram protocol ) を利用したインターネット TV 会議や VoIP ( voice over IP ) の検討がさかんに行われている．しかし，これら多くのシステムは輻輳制御機能を持っていない．そのため，これらのシステムを利用することにより輻輳が発生し，インターネットの QoS ( quality of service ) が悪化する恐れがある<sup>1),2)</sup>．したがって，TCP-friendly<sup>3)</sup> かつリアルタイム通信

<sup>†</sup> 株式会社ワイ・アール・ビー移動通信基盤技術研究所  
YRP Mobile Telecommunications Key Technology Research Laboratories Co., Ltd.

<sup>††</sup> 株式会社富士総合研究所  
Fuji Research Institute Corp.  
現在，公立はこだて未来大学  
Presently with Future University-Hakodate  
現在，三洋電機株式会社デジタルシステム研究所  
Presently with Digital Systems Development Center,  
Sanyo Electric Co., Ltd.

同じバスを通る TCP コネクションと同じスループットが得られる．

に適した輻輳制御方式や可変レート音声画像符号化方式が必要となる。

画像の受信品質に影響を与える符号化パラメータとして、フレームレート、量子化スケール、空間解像度、およびパケット廃棄耐性があげられる。可変長符号化<sup>4)</sup>を用いた符号化方式では、符号化速度は上記符号化パラメータだけでなく入力信号にも依存する。そのため、符号化後の符号速度が輻輳制御アルゴリズムの決めたパケット送出速度と一致するように、符号化パラメータを調整しなければならない。また、使用目的により上記符号化パラメータの重要度が異なるため、上記符号化パラメータへの符号化ビット割当てを、ユーザが任意に設定できることが望ましい。

近年の移動通信の発達にともない、移動網でのリアルタイム IP パケット通信もさかんにになっている。しかし、有線網と比較して、移動網では、(1) パケット廃棄率が大きい、(2) 伝送速度が低い、(3) フェージング等の影響によりパケット廃棄率の時間変動が大きい、(4) 異なる帯域の移動網を通過することにより遅延時間や利用可能な帯域の変動が大きいという問題点がある。そのため、QoS が保証されていないベストエフォート通信により移動環境下で安定した受信品質を得るには、廃棄パケット補間、低速度に対応した画像符号化器、パケットの遅延ゆらぎ吸収が不可欠である。また、輻輳制御アルゴリズムはパケット廃棄率の時間変動に対して安定に動作し、かつ利用帯域の変動にともない素早くパケット送出速度を変更する必要がある<sup>5)</sup>。

しかし、現在提案されている様々な音声画像通信システム<sup>1),2),5)</sup>では、上記機能が不十分である。そのため、これらのシステムを低品質な通信網で用いた場合には、品質の変動や劣化が大きく、最悪の場合にはコネクションが切断されてしまうという問題があった。

そこで我々は、狭帯域・低品質な移動網や広帯域・高品質なイントラネット等の様々な環境で利用可能な符号化速度 8 kbps ~ 数 Mbps に対応した可変レート音声画像符号化方式を開発した。また、帯域や品質の変動が大きい移動網と広帯域なイントラネットの双方で安定した通信を行うために、移動網における高いパケット廃棄率に対応した廃棄パケット補間方式、移動環境における大きな遅延ゆらぎに対応した遅延ゆらぎ吸収方式、およびユーザプログラマブルな符号化パラメータ設定機能を持つ符号化パラメータ制御方式を、REDiC (requirement-and-error based distributed control method<sup>6)</sup>) を基に開発した。さらに、従来方式<sup>7),8)</sup>と比べて定常状態における安定性と過渡状

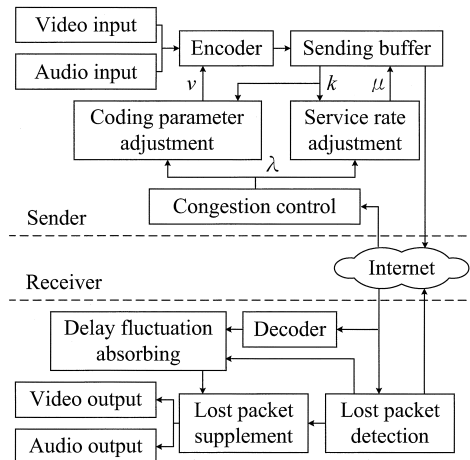


図 1 システム構成

Fig. 1 System configuration.

態における応答特性の両者が優れた TCP-friendly な輻輳制御アルゴリズム MAQS (the maximum throughput and QoS guaranteed congestion control algorithm<sup>9)</sup>) を採用することにより、パースト的なパケット廃棄が起こる移動環境でも安定したパケット送出速度が得られ、かつ移動網の帯域変動に素早く追従することが可能となった。我々は、上記機能をノート PC (personal computer) に実装し、可変レート音声画像通信システムを構築した。本論文では、本システムの概要と実験網による性能評価結果を述べる。

## 2. システム構成

我々は、インターネット等の IP パケット網を介してリアルタイムで双方向通信を行う機能をノート PC に実装した。その構成を図 1 に示す。送信端末では、まず、ビデオカメラとマイクから入力された信号が、符号化パラメータ  $v$  に従い符号化機能により圧縮符号化される。その後、入力信号の符号語が送信バッファに一時蓄積され、サービス速度  $\mu$  で送信バッファから出力される。輻輳制御機能はネットワークの状況を受信端末から返信される ACK (acknowledgement) パケットを受信することにより把握し、符号化速度の目標値  $\lambda$  を決定する。符号化パラメータ  $v$  に対する符号化速度は、 $v$  の値だけでなく入力信号にも依存する。そこで、 $\lambda$  にできるだけ近かつ送信バッファでの符号語溢れを起こさないような符号化速度を得るために、 $\lambda$  および送信バッファのキュー長  $k$  から、符号化パラメータ決定機能により  $v$  を調整する。また、 $\mu$  を  $\lambda$  と  $k$  から決めることにより、送信バッファのオーバーフローを防止する。送信バッファから出力された符号

語はパケット化されネットワークに送信される。受信端末は、復号化機能によりパケット内の符号語を復号する。復号された信号は、遅延ゆらぎを吸収した後にディスプレイとスピーカに出力される。ネットワークや遅延ゆらぎ吸収バッファ等におけるパケット廃棄がパケット廃棄検出機能により検出されると、廃棄されたパケットに対応する信号はパケット補間機能により補間され、ディスプレイとスピーカに出力される。パケットの受信または廃棄情報は、ACK パケットにより送信端末に返信される。

### 3. 情報源符号化方式

狭帯域かつ帯域の変動が大きい移動網と広帯域なイントラネットの双方に対応するためには、符号化速度を広い範囲で迅速に変更しなければならない。また、移動網ではパケット廃棄率が非常に高くなる場合があるため、パケット廃棄に対してロバストな符号化方式と廃棄パケット補間方式が必要となる。本章では、上記要求を満たす可変レート符号化方式、および廃棄パケット対策を提案する。

#### 3.1 音声符号化方式

8kHz で標準化された 1 チャンネルの音声信号を入力とする。音声符号化速度  $\lambda_A$  に応じて 1 音声パケット (30 ms) ごとに PCM (pulse code modulation) 方式と CS-ACELP (conjugate structure algebraic code-excited linear prediction) 方式<sup>9)</sup>を切り替える。 $\lambda_A$  が所定の値よりも大きい場合には、PCM の量子化スケールを  $\lambda_A$  に応じて変更し、量子化スケールに応じた固定長の符号語を出力する。 $\lambda_A$  が所定の値以下の場合には、CS-ACELP 方式により 8 kbps で符号化する。

#### 3.2 音声パケット廃棄補間方式

パケットが廃棄された場合には、前パケットの音声信号のピッチを検出し、ピッチ区間のデータ (補間情報) を繰り返すことにより廃棄された情報を補間する。その際、補間情報の電力を指数関数的に減少させる。また、補間情報と受信された情報のつなぎ目を中心とする前後 30 サンプルに対して、FIR (finite impulse response) ローパスフィルタ (カットオフ周波数 3.4 kHz, フィルタ次数 15 次) によるフィルタリングを行う。

#### 3.3 画像符号化方式

提案方式は、離散コサイン変換、フレーム間差分<sup>4)</sup>、および解像度変換に基づいており (図 2 参照)、フレームレート  $F_R$ 、フレーム内符号化フレーム (I-frame)<sup>4)</sup> 間のフレーム間予測符号化フレーム (P-frame)<sup>4)</sup> の数

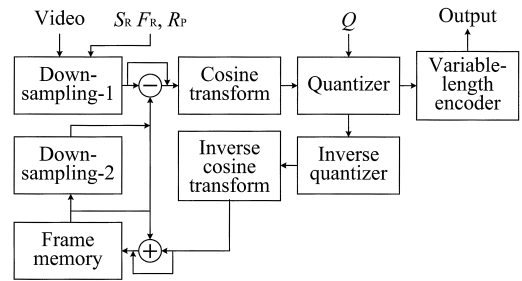


図 2 画像符号化器  
Fig. 2 Video encoder.

で定義される差分フレーム率  $R_P$ 、原画像をダウンサンプリングして得られる符号化対象画像の空間解像度  $S_R$ 、および量子化スケール  $Q$ <sup>4)</sup> をリアルタイムで変更できる。これにより、従来の MPEG (moving picture coding experts group) 2 や MPEG-4<sup>4)</sup> と比較して柔軟かつ迅速な符号化速度の変更が可能となった。以下に、I-frame と P-frame の符号化方法をまとめる。

#### ● I-frame の符号化

(1) 原画像を解像度  $S_R$  にダウンサンプリングし (図 2, Down-sampling-1), それをさらに  $16 \times 16$  の画像領域 (マクロブロック) に分割する。(2) 次に、各画像領域の  $8 \times 8$  のブロックに対して離散コサイン変換係数を求め、この係数を量子化スケール  $Q$  の量子化マトリクスを用いて量子化する。(3) 最後に、量子化結果に対して可変長符号化<sup>4)</sup>を行う。

#### ● I-frame 後の P-frame の符号化

(1) 量子化された I-frame の離散コサイン変換係数を逆量子化し、逆離散コサイン変換した後 (ローカルデコード), フレームメモリに格納する。(2) 次に、原画像を解像度  $S_R$  にダウンサンプリングし (図 2, Down-sampling-1), フレームメモリ内の参照画像との差分画像を求める。(3) 差分画像のマクロブロックに対して離散コサイン変換係数を求め、この係数を量子化スケール  $Q$  の量子化マトリクスで量子化する。(4) 最後に、量子化結果に対して可変長符号化を行う。

#### ● P-frame 後の P-frame の符号化

(1) 量子化された P-frame の離散コサイン変換係数を逆量子化し、逆離散コサイン変換する。その後、フレームメモリ内の参照画像との和を計算し、これをフレームメモリに格納する。(2) 次に、上記 P-frame の (2) から (4) と同じ手順で符号化を行う。

### 3.4 画像パケットの廃棄対策

画像パケットが廃棄されない場合には、上記符号化アルゴリズムで得られた符号語（これを主符号語と呼ぶ）が受信側で復号される。パケット廃棄により主符号語が廃棄された際に生じる画質の劣化を防ぐために、廃棄された主符号語の代わりに画像信号の再生に利用する補助符号語を、主符号語とは別なパケットで送信する。また、主符号語と補助符号語が同時に廃棄された場合には、前フレームの符号語を用いて廃棄された符号語に対応する画像信号を補間する。

補助符号語は、主符号語と同じアルゴリズムを用いて得られる。符号化パラメータの値は、 $S_R$  または  $Q$  を除いて主符号語のものと同じであり、 $S_R$  または  $Q$  により補助符号語の符号化速度  $\lambda_{VS}$  を調整する。補助符号語の  $S_R$  または  $Q$  は、主符号語の  $S_R$  または  $Q$  と、補助符号語率  $A_x = \lambda_{VS}/\lambda_{VM}$  から決められる。ここで、 $\lambda_{VM}$  は主符号語の符号速度であり、 $\lambda$ 、 $\lambda_{VM}$ 、 $\lambda_{VS}$ 、および  $\lambda_A$  の関係は次式で表される：

$$\lambda = \lambda_{VM} + \lambda_{VS} + \lambda_A. \quad (1)$$

ただし、補助情報の P-frame に使用する参照画像には主符号語の参照画像が用いられる。これは、どのパケットが廃棄されるかが分からないため、受信側で差分信号の復元に必要となる参照画像が、主符号語からの復号画像か補助情報からの復号画像かを送信側で予測できないからである。そのため、フレーム間差分をとる場合、フレームメモリの画像をダウンサンプリングする必要がある（図 2, Down-sampling-2）。

本システムでは補助符号語のほかに、以下のパケット廃棄対策を行っている。そのため、従来の MPEG-2 や MPEG-4 と比較してパケット廃棄に対する耐性が飛躍的に向上した。その反面、パケット廃棄がない状況で従来方式と同等の画質を得るには、より高い符号化速度が必要となる。以下に、本システムの画像符号化方式と MPEG のパケット廃棄耐性に関する違いをまとめる。

- 本システムでは補助符号語を新たに導入することにより、パケット廃棄耐性が向上した。

- MPEG では送信ビット量を削減するために、離散コサイン変換の直流成分の予測を行っている。また、各パケットに位置情報を乗せていない。そのため、直流成分や位置情報を含むパケットが廃棄されると後続パケットの情報を正確に再生できない。本システムでは各パケットに位置情報を付加し、離散コサイン変換の直流成分の予測を行わないことにより、パケット廃棄耐性が向上した。

## 4. システムの統合制御

### 4.1 REDiC

システム出力  $y_m$  がシステム入力  $x_m$  に対して単調増加するような、以下の未知の非線形システム  $f = (f_I, f_{II}, \dots, f_{m_{\max}})$  を考える：

$$y_m = f_m(x_m), \quad (2)$$

$$\partial f_m(x_m)/\partial x_m > 0. \quad (3)$$

ここで、 $m \in \mathcal{M} = \{I, II, \dots, m_{\max}\}$  である。システム  $f_m(x_m)$  の特徴量を  $c_m$ 、 $c_m$  の確率変動の大きさを  $y_{m+I}$ 、 $y_{m+I}$  を調節するためのシステム入力を  $x_{m+I}$  とする。また、 $z_m$  を次式で定義される状態変数とする：

$$z_m = g_m(x_m, y_m). \quad (4)$$

ここで、 $\partial g_m/\partial x_m > 0$  および  $\partial g_m/\partial y_m > 0$  である。我々は、システム  $f$  の定常状態と過渡応答を制御するために、文献 8) で提案した制御方式を拡張し、以下の制御方式 REDiC を提案した<sup>6)</sup>：

**REDiC**  $m \in \mathcal{M}$ , 参照入力  $z_m^*$ , および定数  $x_{m_{\max+I}}$  に対して、 $z_m$  が  $z_m^*$  に追従するように  $x_m$  を決定する。

$x_m$ ,  $y_m$ , および  $z_m$  が各々  $\bar{x}_m$ ,  $\bar{y}_m$ , および  $\bar{z}_m$  に確率収束<sup>10)</sup>すると仮定すると、

$$\bar{z}_m = z_m^* \quad (5)$$

が得られる<sup>8)</sup>。ここで、 $\bar{z}_m = g_m(\bar{x}_m, \bar{y}_m)$  である。定常状態において、 $\bar{x}_m$  と  $\bar{y}_m$  は、制御曲線  $\bar{y}_m = g_m^{-1}(\bar{x}_m, z_m^*)$  と特性曲線  $y_m = f_m(x_m)$  の交点となる。  $c_m$  の変動の大きさは  $c_m$  の標準偏差  $\sigma_{c_m}$  で表される。しかし、過渡状態における  $\sigma_{c_m}$  は  $c_m$  の確定的な変動を含む。また、 $c_m$  の確率的な変動と確率的な変動を区別するのは困難である。そこで、定常状態では  $z_m$  の移動平均  $W_x[z_m]$  (付録参照) は  $W_x[z_m] \cong z_m^*$  であり、過渡状態では  $W_x[z_m] \neq z_m^*$  であるという性質を利用して、 $y_{m+I}$  を次式で定義する：

$$y_{m+I} = \frac{\sigma_{c_m}}{\|z_m^* - W_x[z_m]\| + 1}. \quad (6)$$

ここで  $\|\cdot\|$  はノルムである。

離散システム  $y_m(t) = f_m(x_m(t-d))$  を考える。ここで、 $t$  は離散時刻、 $d$  は観測遅延である。また、状態変数  $z_m(t)$  を次式で定義する：

$$z_m(t) = g(x_m(t-d), y_m(t)). \quad (7)$$

REDiC により  $x_m(t)$  を決定するには、 $f_m(\cdot)$  が未

$m$  が特徴量  $c_m$  の次数であることを表すために、1, 2, ... の代わりにローマ数字 I, II, ... を使用している。

知であるため  $z_m(t)$  と  $x_m(t-d)$  の関係を同定する必要がある。  $y_m(t)$  は  $x_m(t-d)$  に対して単調増加すると仮定しているため、我々は  $z_m(t)$  をそのテーラ展開の  $q_m$  番目の項で近似した：

$$z_m(t) = \zeta_m x_m(t-d)^{q_m} + \varepsilon_m(t-d). \quad (8)$$

ここで、 $\zeta_m$  は未知係数、 $\varepsilon_m(t-d)$  は残差である。また、 $dy_{m+1}/d(q_m^{-1}) > 0$  であり<sup>6)</sup>、 $x_m(t)$  の過渡応答は  $q_m$  により決まるため、 $x_{m+1}(t)$  を

$$x_{m+1}(t) = 1/q_m \quad (9)$$

とする。  $W_x[\varepsilon_m(t-d)] \cong 0$  と仮定し、 $z_m(t+d)$  の変動を最小にすることを目的とする最小分散制御<sup>10)</sup>を式(8)と式(9)に適用すると、次式が得られる：

$$x_m(t) = \left( \frac{z_m^*}{W_x[z_m(t)]} \right)^{x_{m+1}(t)} W_x[x_m(t-d)]. \quad (10)$$

#### 4.2 輻輳制御方式

輻輳制御アルゴリズムにより決められる符号化速度の目標値  $\lambda$  の変動により画像や音声の受信品質が変動するため、目標値  $\lambda$  の変動をできるだけ小さく抑えるべきである。一方、ネットワークの輻輳を回避するためには  $\lambda$  をできるだけ早く調整する必要がある。本システムでは、バースト的なパケット廃棄が起こる移動環境でも安定したパケット送出速度が得られ、かつ移動網の帯域変動に素早く追従するために、従来方式<sup>7),8)</sup>と比べて定常状態における安定性と過渡状態における応答特性の両者に優れ、かつ TCP-friendly な輻輳制御アルゴリズム MAQS<sup>6)</sup>を採用した。MAQS は、REDiC に基づいてパケット送出速度を決める輻輳制御アルゴリズムである。本節ではその概要を述べる。 $\lambda(n)$  を  $n$  番目のパケットの送出速度、 $r(n)$  を  $n$  番目のパケットの ACK を受信した際に送信端末が観測するパケット廃棄イベントの生起率、 $\tilde{n}$  を最も新しい ACK に対応するパケットのシーケンス番号とする。 $\lambda(n)$  をシステム入力  $x_1$ 、 $r(n)$  をシステム出力  $y_1$ 、 $\phi_{\lambda I}^*$  を参照入力  $z_1^*$ 、および  $\phi_{\lambda I}(n)$  を状態変数  $z_1$  とする。式(10)の  $z_m^*$ 、 $z_m(t)$ 、 $x_m(t)$ 、 $x_m(t-d)$ 、および  $x_{m+1}(t)$  を、各々  $\phi_{\lambda I}^*$ 、 $\phi_{\lambda I}(\tilde{n})$ 、 $\lambda(n)$ 、 $\lambda(\tilde{n})$ 、および  $a_{\lambda II}(n)$  に置き換えることにより、次式が得られる：

$$\lambda(n) = \left( \frac{\phi_{\lambda I}^*}{W_\lambda[\phi_{\lambda I}(\tilde{n})]} \right)^{a_{\lambda II}(n)} W_\lambda[\lambda(\tilde{n})]. \quad (11)$$

最も広く使われている輻輳制御アルゴリズム Reno<sup>7)</sup>の特性は、次式で表される<sup>3)</sup>：

$$\frac{\nu}{RTT} = \bar{\lambda} \left( \sqrt{\frac{2\bar{r}}{3}} + 6\sqrt{\frac{3\bar{r}}{2}} \bar{r}(1+32\bar{r}^2) \right) \quad (12)$$

ここで、 $\nu$  はセグメントサイズ、 $\bar{\lambda}$ 、 $\bar{r}$ 、および  $\overline{RTT}$  は、各々  $\lambda(n)$ 、 $r(n)$ 、および  $RTT$  (round trip time) の平均値である。式(11)が TCP-friendly であるためには、式(11)の特性が式(12)で表されればよい。この要求は、式(11)の  $\phi_{\lambda I}^*$  と  $\phi_{\lambda I}(n)$  を次式で与えることにより満足される：

$$\phi_{\lambda I}^* = \nu / \overline{RTT}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \phi_{\lambda I}(n) &= g_{\lambda I}(\lambda(n), r(n)) \\ &= W_\lambda[\lambda(n)](\sqrt{2W_\lambda[r(n)]}/3 \\ &\quad + 6\sqrt{3W_\lambda[r(n)]/2W_\lambda[r(n)]} \\ &\quad (1+32W_\lambda[r(n)]^2)). \end{aligned} \quad (14)$$

$\lambda(n)$  の過渡応答を制御するために  $a_{\lambda II}(n)$  を以下のように決定する。 $\lambda(n)$  をシステムの特徴量  $c_1$  とする。 $\lambda(n)$  の変動を正規化した標準偏差  $\sigma_\lambda(n)$  で表す：

$$\sigma_\lambda(n) = \frac{(W_\lambda[\lambda(n)]^2 - W_\lambda[\lambda(n)]^2)^{1/2}}{W_\lambda[\lambda(n)]}. \quad (15)$$

$\phi_{\lambda II}(n)$  を状態変数  $z_{II}$ 、 $\phi_{\lambda II}^*$  を参照入力  $z_{II}^*$  とする。式(6)の  $y_{m+1}$ 、 $\sigma_{cm}$ 、および  $\|z_m^* - W_\lambda[z_m]\|$  を、 $\phi_{\lambda II}(n)$ 、 $\sigma_\lambda(n)$ 、および  $|\phi_{\lambda I}^* - W_\lambda[\phi_{\lambda I}(n)]|/W_\lambda[\phi_{\lambda I}(n)]$  に置き換えると、 $\phi_{\lambda II}(n)$  は次式により得られる：

$$\phi_{\lambda II}(n) = \frac{\sigma_\lambda(n) W_\lambda[\phi_{\lambda I}(n)]}{|\phi_{\lambda I}^* - W_\lambda[\phi_{\lambda I}(n)]| + W_\lambda[\phi_{\lambda I}(n)]}. \quad (16)$$

ここで、 $|\cdot|$  は絶対値である。 $\mathcal{M} = \{I, II\}$  として、式(10)の  $z_m^*$ 、 $z_m(t)$ 、 $x_m(t)$ 、 $x_m(t-d)$ 、および  $x_{m+1}(t)$  を  $\phi_{\lambda II}^*$ 、 $\phi_{\lambda II}(\tilde{n})$ 、 $a_{\lambda II}(n)$ 、 $a_{\lambda II}(\tilde{n})$ 、および定数  $a_{\lambda III}$  で置き換えると、 $a_{\lambda II}(n)$  は次式で得られる：

$$a_{\lambda II}(n) = \left( \frac{\phi_{\lambda II}^*}{W_\lambda[\phi_{\lambda II}(\tilde{n})]} \right)^{a_{\lambda III}} W_\lambda[a_{\lambda II}(\tilde{n})]. \quad (17)$$

$\hat{r}(\lambda(n))$  を  $\lambda(n)$  に対するパケット廃棄イベントの生起率の理論値(式(12)から求められる)、 $\hat{N}_{\text{loss}} = \hat{r}(\lambda(n))N_\lambda$  を  $N_\lambda$  パケットに対するパケット廃棄イベントの発生数の期待値とする。式(26)(付録参照)における  $N_x$  を  $\hat{N}_{\text{loss}}/\hat{r}(\lambda(n))$  に置き換えることにより、移動平均  $W_\lambda[\cdot]$  のパラメータ  $\omega_{\lambda 0}$  は

$$\omega_{\lambda 0} = (1-S)^{\hat{N}_{\text{loss}}/\hat{r}(\lambda(n))} \quad (18)$$

となる。 $W_\lambda[r(n)]$  の確率変動を十分小さく抑えるため、本論文では  $\hat{N}_{\text{loss}} = 10$  とした。

#### 4.3 符号化パラメータおよびサービス速度調整方式

輻輳制御アルゴリズムが指定するパケット送出速度の目標値  $\lambda$  は ms 単位でつねに変動する。符号化速度を  $\lambda$  に一致させるには、画像の符号化パラメータ(フ

表 1 音声信号の符号化速度  
Table 1 Coding rate of audio signals.

$\lambda$	$\lambda_A$	Encoder
$3.5 \text{ Mbps} \leq \lambda$	128 kbps	PCM 16 bit
$3.0 \text{ Mbps} \leq \lambda < 3.5 \text{ Mbps}$	120 kbps	PCM 15 bit
:	:	:
$1.0 \text{ Mbps} \leq \lambda < 1.5 \text{ Mbps}$	88 kbps	PCM 11 bit
$0.5 \text{ Mbps} \leq \lambda < 1.0 \text{ Mbps}$	80 kbps	PCM 10 bit
$\lambda < 0.5 \text{ Mbps}$	8 kbps	CS-ACELP

表 2 符号化パラメータテーブル  
Table 2 Coding parameter table.

$i$	$\lambda_V$	$S_R$	$F_R$	$R_P$	$A_x$
0	$0 \leq \lambda_V < \lambda_1/s$	64	10	1	0.2
1	$\lambda_1/s \leq \lambda_V < \lambda_2/s$	128	10	1	0.2
:	:	:	:	:	:
$m$	$\lambda_m/s \leq \lambda_V < \lambda_{m+1}/s$	128	15	2	0.1
$M$	$\lambda_M/s \leq \lambda_V$	512	30	5	0.05

フレームレート, 量子化スケール, 空間解像度, パケット廃棄耐性) を変更する必要がある. また, ユーザの使用目的に応じて上記符号化パラメータを調整できることが望ましい. しかし, 可変長符号化<sup>4)</sup>を用いた符号化方式では, 符号化速度は上記符号化パラメータだけでなく入力信号にも依存するため, 上記機能は実現されていなかった. 本節では, REDiC を用いて符号化パラメータ  $v = (S_R, F_R, R_P, Q, A_x, \lambda_A)$  および送信バッファのサービス速度  $\mu$  を制御する方法を提案する.

まず, 符号化速度の目標値  $\lambda$  から, 表 1 を参照して音声符号化速度  $\lambda_A$  を決定する. 次に, 画像符号化速度  $\lambda_V = \lambda - \lambda_A$  から, 解像度  $S_R$ , 画像フレームレート  $F_R$ , 差分フレーム率  $R_P$ , および補助符号語率  $A_x$  を, 表 2 に従い決定する. ここで,  $\lambda_1, \lambda_2 \dots$  は定数,  $i$  はテーブルのインデックス,  $s > 0$  はテーブル正規化係数であり,  $s$  が大きいほど符号化速度が高くなる. フレームレート  $F_R$ , 解像度  $S_R$ , 補助符号語率  $A_x$ , および差分フレーム率  $R_P$  は I-frame を符号化する直前に変更され, 次の I-frame までは一定とする. 表 2 を書き換えることにより, ユーザはパケット廃棄に対するロバスト性や圧縮時の画質 (フレームレート, 解像度, パケット廃棄耐性等) を任意に選択できる.

本システムでは離散コサイン係数を可変長符号化<sup>4)</sup>しているため符号化パラメータ  $v$  と画像符号化速度  $\lambda_V$  の関係は入力画像により変動する. そこで, テーブル正規化係数  $s$  を逐次更新することにより,  $\lambda_V$  と  $v$  の最適な関係を維持する. テーブル正規化係数  $s$  と送信バッファのキュー長  $k$  の関係は,  $\partial k / \partial s > 0$  と

なる.  $s^*$  を  $s$  の目標値,  $k^*$  を  $k$  の目標値,  $b_s \geq 0$  と  $c_s \geq 0$  を定数とする.  $n_{IP}$  を I-frame のシーケンス番号,  $s(n_{IP})$  をシステム入力,  $k(n_{IP})$  をシステム出力,  $\phi_{sI}^* = s^{*b_s} k^{*c_s}$  を参照入力  $z_I^*$ , および  $\phi_{sI}(n_{IP}) = s(n_{IP})^{b_s} k(n_{IP})^{c_s}$  を状態変数  $z_I$  とする.  $m_{\max} = I$  として, 式 (10) の  $z_m^*, z_m(t), x_m(t), x_m(t-d)$ , および  $x_{m+I}(t)$  を, 各々  $\phi_{sI}^*, \phi_{sI}(n_{IP}-1), s(n_{IP}), s(n_{IP}-1)$ , および  $a_{sII}$  に置き換えることにより, 次式が得られる:

$$s(n_{IP}) = \frac{\phi_{sI}^{*a_{sII}} W_s[s(n_{IP}-1)]}{W_s[\phi_{sI}(n_{IP}-1)]^{a_{sII}}}. \quad (19)$$

上式を用いて,  $s(n_{IP})$  は I-frame を符号化する直前に更新される.

量子化スケール  $Q$  の逆数  $Q_{\text{inv}}$  と送信バッファのキュー長  $k$  の関係は  $\partial k / \partial Q_{\text{inv}} > 0$  となる.  $Q_{\text{inv}}^*$  を  $Q_{\text{inv}}$  の目標値,  $b_Q \geq 0$  と  $c_Q \geq 0$  を定数,  $n_b$  をマクロブロックのシーケンス番号,  $Q_{\text{inv}}(n_b)$  をシステム入力,  $k(n_b)$  をシステム出力,  $\phi_{QI}^* = Q_{\text{inv}}^{*b_Q} k^{*c_Q}$  を参照入力  $z_I^*$ ,  $\phi_{QI}(n_b) = Q_{\text{inv}}(n_b)^{b_Q} k(n_b)^{c_Q}$  を状態変数  $z_I$ ,  $x_{m+I}(t)$  を  $a_{QII}$ , および  $m_{\max} = I$  とすると, 式 (19) と同様に次式が得られる:

$$Q(n_b) = \frac{W_Q[\phi_{QI}(n_b-1)]^{a_{QII}}}{\phi_{QI}^{*a_{QII}} W_Q[Q_{\text{inv}}(n_b-1)]}. \quad (20)$$

上式を用いて,  $Q(n_b)$  は離散コサイン変換を行うマクロブロックを一定個数符号化することに更新される.

$R_\mu = \lambda_V / \mu$  とする.  $R_\mu$  と送信バッファのキュー長  $k$  の関係は  $\partial k / \partial R_\mu > 0$  となる.  $R_\mu^*$  を  $R_\mu$  の目標値,  $b_\mu \geq 0$  と  $c_\mu \geq 0$  を定数,  $R_\mu(n)$  をシステム入力,  $k(n)$  をシステム出力,  $\phi_{\mu I}^* = R_\mu^{*b_\mu} k^{*c_\mu}$  を参照入力  $z_I^*$ ,  $\phi_{\mu I}(n) = R_\mu(n)^{b_\mu} k(n)^{c_\mu}$  を状態変数  $z_I$ ,  $x_{m+I}(t)$  を  $a_{\mu II}$ , および  $m_{\max} = I$  とすると, 式 (19) と同様に次式が得られる:

$$R_\mu(n) = \frac{\phi_{\mu I}^{*a_{\mu II}} W_R[R_\mu(n-1)]}{W_R[\phi_{\mu I}(n-1)]^{a_{\mu II}}}. \quad (21)$$

上式を用いて,  $R_\mu(n)$  はパケットごとに更新される.

$R_\mu, s, Q$  の変更周期は異なる. そのため, 各々の移動平均の 80%-ウィンドウ幅 (付録参照) が実時間で一致するように, 移動平均をとるためのパラメータ  $\omega_{(var)0}$  および  $\omega_{(var)1}$  を異なる値に設定する必要がある.  $T_{\text{call}(var)}$  を  $var \in \{s, R_\mu, Q\}$  に対して  $var$  が変更される周期 (ms),  $T_{WA}$  を移動平均の 80%-ウィンドウ幅 (ms),  $N_{(var)}$  を  $T_{WA}$  内で  $var$  が変更される回数とすると,  $N_{(var)} = T_{WA} / T_{\text{call}(var)}$  が得られる. これを, 式 (26) に代入すると,

$$\omega_{(var)0} = (1 - S)^{T_{\text{call}(var)} / T_{WA}} \quad (22)$$

が得られる．

#### 4.4 遅延ゆらぎ吸収方式

遅延ゆらぎ吸収の制御方式として，遅延ゆらぎ吸収バッファでのパケット廃棄率  $e$  を一定にする方式，および  $e$  と遅延ゆらぎ吸収バッファでの遅延時間  $d_A$  の両者をできるだけ小さくする方式の2つが考えられる．移動網では遅延ゆらぎが非常に大きいので，ユーザの好みや利用形態により，制御方式を自由に変更できることが望ましい．しかし，従来は有線網におけるパケット通信を想定していたため，遅延ゆらぎの想定範囲が短く，ユーザが制御方式を変更できない．そこで本節では， $\partial e / \partial d_A < 0$  であることを利用して，REDiCに基づく遅延ゆらぎ吸収方式を提案する．

$d_{Ainv}$  を  $d_A$  の逆数， $d_{Ainv}^*$  を  $d_{Ainv}$  の目標値， $e^*$  を  $e$  の目標値， $b_d \geq 0$  と  $c_d \geq 0$  を定数， $n_A$  を音声パケットのシーケンス番号， $d_{Ainv}(n_A)$  をシステム入力  $x_I$ ， $e(n_A)$  をシステム出力  $y_I$ ， $\phi_{dI}^* = d_{Ainv}^* b_d e^* c_d$  を参照入力  $z_I^*$ ， $\phi_{dI}(n_A) = d_{Ainv}(n_A)^{b_d} e(n_A)^{c_d}$  を状態変数  $z_I$ ， $x_{m+I}(t)$  を  $a_{dII}$ ，および  $m_{max} = I$  とすると，式 (19) と同様に次式が得られる：

$$d_A(n_A) = \frac{W_d[\phi_{dI}(n_A - 1)]^{a_{dII}}}{\phi_{dI}^{*a_{dII}} W_d[d_{Ainv}(n_A - 1)]}. \quad (23)$$

上式を用いて， $d_A(n_A)$  は音声パケットを受信するごとに更新される．

### 5. 性能評価

我々が開発した可変レート音声画像通信システムにおける MAQS の動作を確認するために，無線 LAN (local area network) で構築した実験網においてパケット送出速度とその標準偏差を測定した．ここで，パケット廃棄イベントの生起率は，無線伝搬路の状態が悪い場合に想定される値 ( $10^{-2}$ ) に設定した．その結果を図3に示す．ここで，MAQS-Cは， $m_{max} = II$ ， $\phi_{\lambda II}^* = 0.5$ ，および  $a_{\lambda III} = 4$  としたときの式 (11) および式 (17) による特性を表す．また，式 (17) の効果を示すために， $m_{max} = I$  および  $a_{\lambda II}(n) = 1$  とした場合の式 (11) の特性も評価した．これを MAQS-F で示す．MAQS-C と MAQS-F の平均パケット送出速度は，ともに式 (12) から得られる理論値とほぼ等しい．したがって，両者とも TCP-friendly であることが分かる．一方，MAQS-F のパケット送出速度の標準偏差 (平均パケット送出速度で正規化) は非常に大きい，MAQS-C の標準偏差はその目標値 ( $\phi_{\lambda II}^* = 0.5$ ) の2倍程度に収まっている．これにより，MAQS-C の過渡応答を制御する式 (17) の効果が本システムにおいても確認された．ここで，RTT = 50 ms のとき

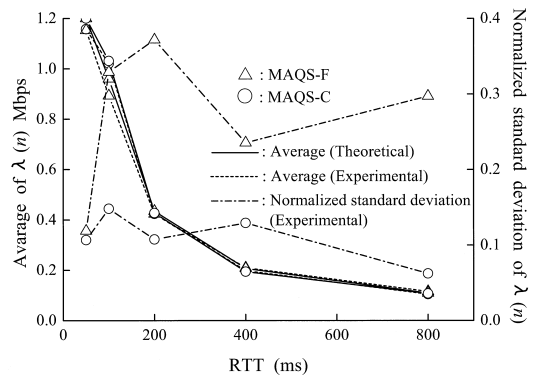


図3 RTT に対するパケット送出速度特性  
Fig. 3 Effect of RTT on transmission rate.

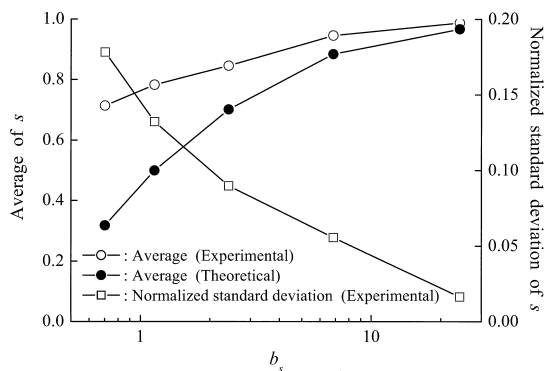


図4  $b_s$  に対するテーブル正規化係数  $s$  の特性  
Fig. 4 Effect of  $b_s$  on  $s$ .

の MAQS-F の標準偏差が小さいのは，パケット送出速度の上限を 1.2 Mbps としているためである．

4.3 節で提案した符号化パラメータおよびサービス速度調整方式の動作を調べるために，パラメータ  $b_s$  に対するテーブル正規化係数  $s$  の平均 (実験値と理論値) と標準偏差 (実験値， $s$  の平均値で正規化) を評価し，これらを図4に示す．ここで， $\phi_{sI}^* = 1000.0$ ， $\phi_{sI}^* = 100.0$ ， $b_Q = 1.33$ ， $\phi_{\mu I}^* = 1000.0$ ， $b_\mu = 1.0$ ，および  $c_s = c_Q = c_\mu = 1.0$  とした． $s$  の平均値  $\bar{s}$  の理論値は， $k$  の平均値  $\bar{k}$  の実験値と式 (19) の定常状態  $\phi_{sI}^* = \bar{s}^{b_s} \bar{k}^{c_s}$  より導出した．また，制御曲線  $\bar{k} = (\phi_{sI}^* / \bar{s}^{b_s})^{1/c_s}$  と特性曲線を図5に示す．図4では， $b_s$  が大きくなるに従い  $\bar{s}$  が大きくなる．これは，特性曲線と制御曲線の交点で与えられる  $\bar{s}$  が  $b_s$  の増加にともない図5のように変化するためである．また，図4では， $b_s$  が大きくなるに従い  $s$  の正規化標準偏差が小さくなる．これは，図5の制御曲線から分かるように， $b_s$  が大きくなるに従って制御曲線の傾きが大きくなり，送信バッファのキュー長  $k$  の変化に対する  $s$  の動きが規制されるためである．また， $b_s$  が

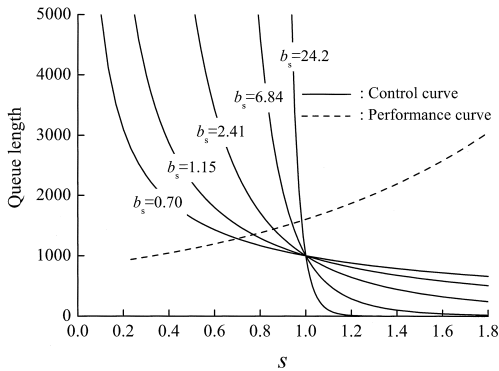


図 5 制御曲線と特性曲線

Fig. 5 Control and performance curves for coding parameter adjustment.

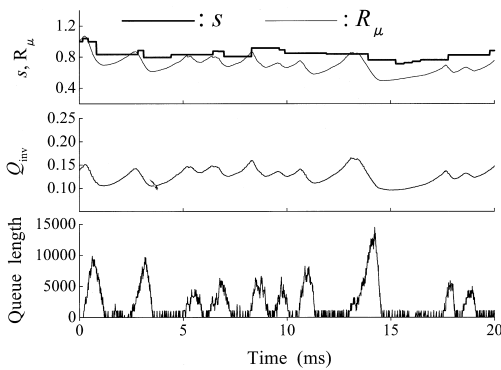


図 6  $s, Q_{inv}, R_{\mu}$ , および  $k$  の時間変化  
Fig. 6 Dynamics of  $s, Q_{inv}, R_{\mu}$ , and  $k$ .

小さくなるに従い、 $\bar{s}$  の実験値が理論値より大きくなる。これは、 $b_s$  が小さくなり、 $s$  の平均値が減少し標準偏差が増加するに従い、 $s$  の瞬時的な減少が  $s$  の定義域 ( $s > 0$ ) により制限されるためである。 $s$  の標準偏差が十分小さいときには理論値と実験値が一致しており、4.3 節で提案した符号化パラメータおよびサービス速度調整方式が正常に機能していることが分かる。図 6 に、 $b_s = 2.4$  のときの、 $s, Q_{inv}, R_{\mu}$ , および  $k$  の時間変化を示す。キュー長が増加するに従い、キュー長の増加を抑えるために  $s, Q_{inv}$ , および  $R_{\mu}$  が減少している。これからも提案方式が正常に機能していることが分かる。

補助符号語率  $A_x$  の効果を調べるために、被験者 22 人に  $A_x$  の異なる 4 種類の映像 (各 30 秒) を 4 回ずつランダムな順番で見せ、5 段階評価を行った。その平均値とエラーバー (1 シグマ) を図 7 に示す。ここで、平均パケット廃棄率を  $10^{-1}$ 、符号化速度  $\lambda_V$  (主符号語と補助符号語の合計) を 1.5 Mbps とした。また、補助符号語の  $Q$  の値を主符号語のものとする

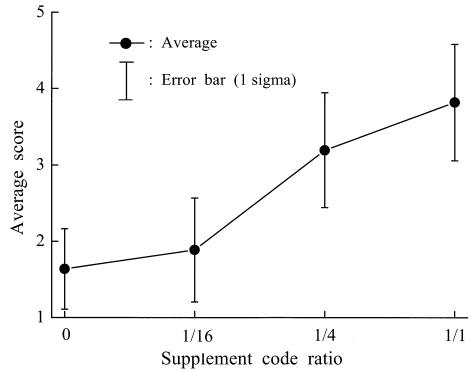


図 7 補助符号語率に対する主観評価結果

Fig. 7 Effect of supplement code ratio on average score.

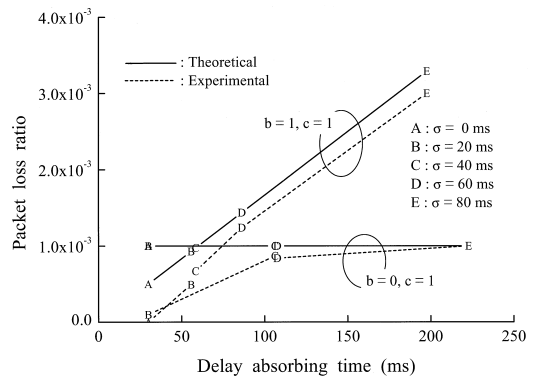


図 8 遅延ゆらぎが遅延ゆらぎ吸収制御に及ぼす影響

Fig. 8 Effect of standard deviation in delay time on delay fluctuation absorbing.

ことにより  $A_x$  を調整した。図 7 のエラーバーにより、上記評価により得られたスコアの平均値が有効であることが分かる。また、本実験のように主符号語と補助符号語の符号化速度の合計値を一定としても、補助符号語の符号化率が大きいほどスコアの平均値が良い。したがって、移動網で想定される平均パケット廃棄率が  $10^{-1}$  という劣悪な状態でも、補助符号語がパケット廃棄対策として有効であり、画質の主観品質を改善できることが分かる。

パケット到着遅延ゆらぎの標準偏差  $\sigma$  が遅延ゆらぎ吸収制御に及ぼす影響を図 8 に示す。ここで、伝搬遅延は 50 ms、 $d_A^* = 50$  ms、 $e^* = 10^{-3}$  である。 $b_d = 0, c_d = 1$  の場合には、遅延ゆらぎ吸収バッファでのパケット廃棄率  $e$  は、その目標値  $10^{-3}$  を満たしているが、 $\sigma$  が増加すると遅延ゆらぎ吸収のための遅延時間  $d_A$  が非常に大きくなる。一方、 $b_d = 1, c_d = 1$  とすることにより、 $\sigma$  の増加に対して  $e$  と  $d_A$  の両者が大きくなるが、 $d_A$  の増加は抑えられることが分かる。ここで、 $\sigma = 0$  ms と  $\sigma = 20$  ms の場合に



理論値と実験値の差が大きくなるのは、 $d_A$  の最小値を 30 ms としているためである。リアルタイム通信におけるパケット廃棄率と遅延時間の両者が会話に及ぼす影響を考慮して、 $b_d$ ,  $c_d$ , および  $\phi_{dl}^*$  を適切に選ぶことにより、遅延ゆらぎの大きい移動網においても用途に応じて適切な遅延ゆらぎ吸収が可能となる。

本章では、我々が開発した可変レート音声画像通信システムの性能評価結果をまとめた。一般に、パケット送出速度  $\lambda(n)$  は音質と画質に、遅延ゆらぎ吸収時間  $d_A$  は会話の応答性に直接影響する。そのため、これらの平均値と標準偏差(変動量)の目標値は主観的な評価を行うことにより決定できる。しかし、テーブル正規化係数および送信バッファのキュー長の標準偏差は、受信品質に直接影響しない。また、これらの変動量は相互依存する。そのため、その目標値を設定する方法は明らかでない。また、文献 6) で提案された REDiC には、定常状態と過渡応答を制御するために、確率変動を表す特徴量  $y_{m+1}$  (式 (6) 参照) が導入されている。しかし、この特徴量に移動平均が用いられているため、過渡応答状態の表現能力に限界がある。今後は、テーブル正規化係数と送信バッファのキュー長の標準偏差が受信品質やネットワークに与える影響の調査、符号化パラメータと送信バッファのキュー長の時間特性の定式化、および定常状態と過渡応答を表す特徴量の改良を行い、本システムの定常状態と過渡状態の特性を改善していく予定である。

## 6. ま と め

本論文で、狭帯域・低品質な移動網や広帯域・高品質なイントラネット等の様々な IP パケット網で、音声・画像によるリアルタイム通信を行うために必要となる以下の方式を提案した：(1) 符号化速度 8 kbps ~ 数 Mbps の可変レート音声画像符号化方式、(2) 高いパケット廃棄率に対応可能な廃棄パケット補間方式、(3) 大きな遅延ゆらぎに対応可能な遅延ゆらぎ吸収方式、(4) ユーザプログラムブルな符号化パラメータ設定機能を持つ符号化パラメータ制御方式。また、上記方式、および安定性と帯域変動に対する追従性に優れた TCP-friendly な輻輳制御アルゴリズムである MAQS を実装した可変レート音声画像通信システムにより、移動および有線網におけるベストエフォートサービスを利用した音声・画像のリアルタイム通信を、安定した品質で提供できることを示した。

謝辞 本研究の実験にご協力いただいた、幕張ギガビットリサーチセンター榎本正研究員、東京大学森川博之助教授、東京電機大学小林岳彦教授、および高知

工科大学島村和典教授に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) Jacobs, S. and Eleftheriadis, A.: Streaming Video Using Dynamic Rate Shaping and TCP Congestion Control, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.9, No.3, pp.211-222 (1998).
- 2) Rejaie, R., Handley, M. and Estrin, D.: RAP: An End-to-end Rate-based Congestion Control Mechanism for Real-time Streams in the Internet, *IEEE INFOCOM'99*, pp.1337-1345 (1999).
- 3) Floyd, S., Handley, M., Padhye, J. and Widmer, J.: Equation-based Congestion Control for Unicast Applications: The Extended Version, *International Computer Science Institute* (Mar. 2000).
- 4) Information Technology — Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio International: Video, ISO/IEC 13818-2 (May 1996).
- 5) Chung, Y.J., Kim, Y.-G., Kim, J.W. and Kuo, C.-C.J.: Receiver-based Congestion Control Mechanism for Internet Video Transmission, *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol.4, pp.239-242 (1999).
- 6) Satoh, H. and Ishiba, M.: Distributed Control of Transient Response for Best-effort IP Packet Communications over Wireless Systems, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E85-A, No.7, pp.1472-1481 (2002).
- 7) Stevens, W.: TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms, RFC2001 (Jan. 1997).
- 8) Satoh, H. and Kobayashi, T.: Distributed Power Control for Real-time and TCP Packet Communications over CDMA Wireless Link, *IEICE Trans. Fundamentals*, Vol.E84-A, No.7, pp.1702-1713 (2001).
- 9) Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate Structure Algebraic Code-excited Linear Prediction (CS-ACELP), ITU-T, Recommendation G.729 (1996).
- 10) Astrom, K.J.: *Introduction to Stochastic Control Theory*, Academic Press, London (1970).

## 付 録

## 移動平均

$x(n), x(n-1), \dots$  の移動平均は次式で定義される:

$$W_x[x(n)] = \sum_{\ell=0}^{\infty} \omega_{x1} \omega_{x0}^{\ell} x(n-\ell) \\ = \omega_{x0} W_x[x(n-1)] + \omega_{x1} x(n). \quad (24)$$

ここで,  $n$  はシーケンス番号,  $\omega_{x1} \omega_{x0}^{\ell}$  は  $x(n-\ell)$  に対する重み,  $0 < \omega_{x0} < 1$ , および  $\omega_{x1} = 1 - \omega_{x0}$  である.  $S$  を  $N_x$  個のデータ  $x(\cdot)$  の重みの和とする (本論文では  $S = 0.8$  とした).  $\omega_{x0}$  の変化が十分小さいと仮定すると,  $S$  と  $\omega_{x0}$  の関係は次式で近似される:

$$S \cong \sum_{\ell=0}^{N_x-1} \omega_{x1} \omega_{x0}^{\ell} = 1 - \omega_{x0}^{N_x}. \quad (25)$$

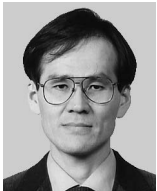
したがって, 上式より次式が得られる:

$$\omega_{x0} = (1 - S)^{1/N_x}. \quad (26)$$

上記移動平均には無限に過去のデータ  $x(\cdot)$  が含まれ, ある区間内の算術平均により定義された移動平均と異なり, 移動平均をとるための区間は存在しない. そこで,  $N_x$  個のデータ  $x(\cdot)$  を得るための区間長  $T_x$  (ms) を  $S \times 100\%$ -ウィンドウ幅と定義する.

(平成 14 年 3 月 25 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



佐藤 仁樹

昭和 36 年生. 昭和 62 年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了. 同年東芝研究開発センター入社. 音声のパケット化, ATM 網のトラヒック制御, およびインターネット

の輻輳制御の研究に従事. 平成 12 年 4 月よりワイ・アール・ピー移動通信基盤技術研究所に出向. 移動通信網の送信電力制御, 輻輳制御, およびインターネット TV 会議システムの研究に従事. 平成 14 年より公立はこだて未来大学助教授. 博士 (情報科学). 電子情報通信学会会員.



石場 正大 (正会員)

昭和 33 年生. 昭和 58 年静岡大学工学部卒業. 昭和 59 年三洋電機ハイパーメディア研究所入社. 平成 12 年 5 月よりワイ・アール・ピー移動通信基盤技術研究所に出向. 移動通信システムにおける通信網の送信電力制御, 輻輳制御, およびインターネット TV 会議システムの研究に従事. 平成 14 年三洋電機デジタルシステム研究所に帰任. 電子情報通信学会会員.



有馬 太公

昭和 44 年生. 平成 11 年東北大学大学院理学研究科物理学博士後期課程修了. 同年富士総合研究所入社. TV 会議システムの研究に従事. 博士 (理学).



安川 祥正 (正会員)

昭和 42 年生. 平成 4 年慶應義塾大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了. 同年富士総合研究所入社. 動画像符号化方式, TV 会議システムの研究に従事.



木村 東樹

昭和 38 年生. 昭和 62 年日本大学理工学部土木工学科卒業. 同年芙蓉情報センター入社. 音声符号化, 音声信号処理の研究に従事. 現在, 富士総合研究所事業開発部に勤務. オーディオ符号化の研究に従事.



笠間 俊夫 (正会員)

昭和 39 年生. 昭和 62 年東京理科大学理学部応用数学科卒業. 同年芙蓉情報センター入社. 音声符号化, FAX 符号化, 光伝送路シミュレーションの研究に従事. 現在, 富士総合研究所事業開発部に勤務. MPEG2, MPEG4 等の動画像符号化, TV 会議システムの研究に従事.