

PHS を用いたマルチメディア通信システムの構成

坂巻知樹 茨木久 木村司 富田靖浩 市川忠嗣 鈴木良太

NTT ヒューマンインタフェース研究所画像通信研究部

〒238-03 神奈川県横須賀市武 1-2356

デジタル無線技術の発展, CPU の小型・高速化, LSI の高集積化等により, マルチメディアデータによる携帯型サービスの提供が可能となりつつある. 特に PHS (Personal Handy Phone System) が 1995 年にサービス開始したのに伴い, その高速な通信速度を生かして, 屋外で画像, 音声, 文字等のマルチメディア情報を通信するサービスの開発が活発化している. 本資料では, 画像, 音声, データ等を通信可能な携帯型マルチメディア通信評価システムの開発を目指した, マルチメディア情報に適したモバイル通信方式について検討・評価した結果について述べる.

A Study of Multimedia Communication System using PHS

T.Sakamaki H.Ibaraki T.Kimura T.Ichiakwa R.Suzuki

NTT Human Interface Laboratories, Visual Communication Laboratory

1-2356, Take, Yokosuka-shi, Kanagawa, 238-03 Japan

Due to advances in wireless digital technology, and reductions in the size and increases in the processing speeds of CPUs, it is now becoming possible to provide portable-terminal services that use multimedia data. In Japan in particular, with start of PHS (Personal Handy Phone System) service in 1995, the development work on mobile communication services that take advantage of the system's high 32 kbps speed has become active. We have been studying mobile multimedia communication system which can transfer video, voice and data at the same time. This report presents a mobile communication method for multimedia information.

1. はじめに

デジタル無線技術の発展、CPUの小型・高速化、LSIの高集積化等により、マルチメディアデータによる携帯型サービスの提供が可能となりつつある。特にPHS(Personal Handy Phone System)が昨年7月からサービス開始したのに伴い、そのデジタル信号を直接利用した非制限デジタルベアラ伝送サービスが検討されている。ベアラ伝送サービスでは、従来の携帯電話より約3倍程度高速な32kbit/sでの通信が可能であるため、その高速性を生かして新たな携帯型サービスが実現できるものと期待されている。しかし、無線伝送路では、フェージングによる伝送誤りが発生することから、高効率・高品質な通信を確保することが重要な課題となっている。

本資料では、画像・音声・データ等を通信可能な携帯型マルチメディア通信端末を実現するために、マルチメディア情報の中でも特に誤りに対する耐性の低い画像情報に着目し、高誤り環境下で高効率・高品質な通信を実現する方法を検討・評価した結果を述べる。

2. 無線伝送路における誤り特性と画像劣化

無線伝送路はISDNなどの有線伝送路に比べて伝送誤りが多発し、一般に伝送ビット誤り率が 10^{-2} ~ 10^{-3} 程度にもなり、また伝送誤り率が変動するという特徴を有している。図1に、無線伝送路により伝搬され、端末で受信される電波の受信レベルの時間変化を示す。R_mは受信レベルの中央値を表し、R_mに比例し平均伝送ビット誤り率が変動する。R_m、即ち平均的な伝送ビット誤り率(ランダムビット誤り率)は無線基地局と端末間の距離に応じて変化する。

また、無線伝送路における伝送誤りは、端末の移動速度に依存して短時間で変動するレーリーフェージングと呼ばれるバースト的な誤りを発生する性質を持つ。レーリーフェージングによる伝送ビット誤り率の変動は、基地局からの距離には関係なく、端末の移動速度のみに依存する受信レベルの変動ピッチ(フェージング周波数)に起因する。このフェージング周波数 f_d は電波の波長を λ 、移動速度を v とすると、 $f_d = v/\lambda$ となる。従って、移動速度が速くなればフェージング周波数が高くなるため、受信レベルが低下する周期が短くなり、平均伝送ビット誤り率が低下する。

以上のように無線伝送路の影響は基地局と端末の距離に依存する受信電波の減衰によるランダム誤りと、移動速度に依存するレーリーフェージングによるバースト誤りに大別される。以下では、これ

らの誤りがマルチメディア情報、特に誤りの影響が大きい画像符号化方式について、誤りの影響を解析する。

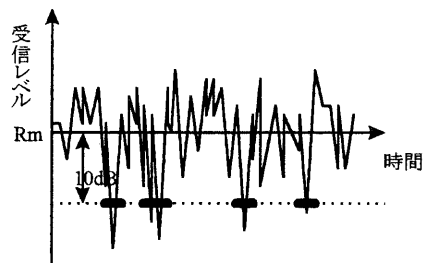


図1. 無線伝送路での受信レベルの変化

画像符号化においては圧縮率を高くするために前フレームの画像から現フレームの画像を予測し、その差分信号のみを伝送するフレーム間符号化及び変換係数などの発生頻度に応じて符号長を可変にする可変長符号化を用いている。フレーム間符号化方式では現フレームを差分信号から再構成するために前フレームをフレームメモリに蓄える。このため伝送誤りによる劣化は、予測復号により誤ったフレームが参照されるため、以降のフレームに誤りの影響が伝搬し、フレーム内符号化された画像信号によりフレームメモリが更新されるまで継続する。また、可変長符号化方式は伝送中に誤りが生じた場合、以後のデータが全て誤って解釈される可能性があり、伝送誤りが画像の広い領域にわたって波及していくという性質がある。

伝送誤りによる画像品質劣化要因は視覚的に以下の5つのタイプに分類できる。

(1)タイプ1 ひずみ誤り

符号化により必然的に発生するひずみではなく、符号化におけるDCTブロック、MB(Macro Block)、GOB(Group Of Blocks)単位に強いブロックひずみ誤りが生じたり幾何学的な模様が発生するもの。ひずみ誤りの頻度は平均伝送誤り率に依存し、また、フェージング周波数が低いときにはひずみが1フレームに集中して発生し、フェージング周波数が上がると、複数のフレームにひずみが分散し全体的な画像品質が劣化する。一度ひずみ誤りが発生するとフレーム内符号化された情報が伝送されるまで劣化が継続する。

ひずみ誤りの発生原因は、変換係数の誤り、量子化テーブルの誤りなどである。この劣化はDCTなどの変換符号化におけるもっとも基本的な誤りであるが、MBやGOB単位の誤りはH.261の符号化単位に依存する。

(2)タイプ2 位置ずれ誤り

ブロック内の直線的物体のずれや連続したいくつかの MB や GOB が異なった位置に出現するもの。視覚的な影響が大きく、次のフレーム内符号化まで劣化が波及する。

位置ずれ誤りの発生原因は、動きベクトル、MB 或いは GOB アドレスが誤り、情報源復号部の可変長復号部により指定されるベクトル或いはアドレスが誤ることにより、一画面内の他の部分に画像信号が使用されることによる。この劣化はフレーム間符号化を用いることに起因しているが、前述のひずみ誤りと同様に、MB や GOB 単位などの劣化は H. 261 の符号化単位に依存する。

(3)タイプ3 フレーム落ち誤り

伝送されたフレームが欠落し、フレーム数の減少による不連続性及び本来と異なる信号を用いたフレーム予測による画像の乱れなどが生じるもの。

フレーム落ち誤りはフレーム情報の開始を示す符号が誤り、復号化装置が符号化データのフレーム開始位置が検出できない場合に発生するため、他の誤りのタイプに比べて発生頻度は小さい。

(4)タイプ4 表示サイズ誤り

QCIF で符号化された画像が CIF として再生され、原画像を 1/2 縮小したものが表示されたり、または逆に CIF で符号化された画像が QCIF として再生され原画像の 4 分割の左上部分が 2 倍に拡大して表示されるもの。

この劣化は QCIF/CIF のフォーマット指定部分に誤りが混入し、フォーマット変換部が誤動作するために発生するもので、画像フォーマットの種類と符号化単位に依存する。H. 261 においてはフォーマット指定は固定長 (1 ビット) で、フレーム毎に指定される。このため発生頻度は低く、また複数フレームに波及しないが、視覚的な影響は大きい。

(5)タイプ5 累積誤り

フレーム間符号化方式では一度発生した誤りの影響による劣化が、引き続くフレームにも波及して現れる。このため劣化が長時間存在し、さらに新たな劣化が重畳していくため、視覚的影響はきわめて大きい。

フレーム間符号化方式では、一度発生した劣化が受信側フレームメモリに残り、それに差分信号を重畳して復号化を行うため、引き続くフレームにも同じ劣化が波及して現れる。H. 261 では、132MB 単位毎に 1 MB をフレーム内符号化しているが、動き補償により劣化した MB を用いる可能性があるため、リフレッシュされない MB が発生する場合があります、劣化が波及してあらわれる。

各誤りが対応する部分のビット数を求めることにより、各誤りの発生頻度を推定することができる。QCIF の場合、ひずみ誤り：(1 フレームのビット数-31) ビット、位置ずれ誤り：705~6150 ビット、フレーム落ち誤り：37 ビット、表示サイズ誤り：6 ビットとなり、この順に発生しやすい。また、累積誤りはひずみ誤り、位置ずれ誤り、フレーム落ち誤りが波及したものであり、最も発生しやすく、視覚的な影響が大きい。このように、画像符号化方式では誤りの影響が大きいため、画像符号化に対する誤り耐性の付加や下位レイヤでの誤り制御等を検討する必要がある。

3. 多重化方式の検討

3.1 多重化方式への要求事項

多重化方式を構成するために必要となる要求条件を以下に示す。

- (1)高伝送効率
- (2)低伝送遅延
- (3)メディア多重の柔軟性
- (4)伝送の信頼性 (誤り耐性)
- (5)端末間同期方法

特に PHS などの無線を利用したフェージング誤りなど的高誤り環境下における多重方式において重要となる課題について、以下に示す。

(1)高伝送効率の実現

携帯端末では無線による通信が一般的であり、その伝送速度は ISDN 等と比較すると低く、有線による通信以上に高い伝送効率求められる。そのため、同期、能力交換などに割り当てるデータ量について検討する必要がある。更に無線伝送では 10^{-3} 程度の誤りが発生するため、誤り制御などの実現も必要となるが、一般に無線伝送路における伝送品質は時々変動する。このような条件下で誤り制御を実行でき、また伝送効率の高い方式の実現が必要となる。

(2)低伝送遅延

リアルタイムの双方向通信をする場合などは、通信の自然性を保つため低遅延であることが必要である。マルチメディア情報の中でも特に音声は遅延の影響が大きい。無線伝送路においては、伝送誤りを補償するために誤り制御が行われることになるが、遅延の小さい誤り制御を実現する必要がある。

(3)メディア多重の柔軟性

マルチメディア通信サービスにおいては、利用するアプリケーションによって、音声、画像及びデータの種類及び要求品質に異なりがあり、これら各種のメディアを各種伝送速度で多重化できることが望ましい。また、利用可能メディア、要求メディア

が異なることから、呼接続時や通信中に符号化能力や通信能力等の情報を交換し、端末相互で多重化モードを切り換える事が必要となる。特にフェージングなどの誤り環境下においては、誤りの影響により送信側と受信側の通信モードに不整合が発生し、通信に破綻をきたすこともあり、端末相互に整合が取れた状態での多重化を実現する必要がある。

(4)伝送の信頼性(誤り耐性)

フェージング環境下などでマルチメディア通信を実現する上で最も重要な課題の1つである。ARQ (Automatic Recovery Quotient), またはリードソロモン符号等の誤り訂正符号により誤り制御方式が容易に実現できる事が望ましい。特に、多重化方式は誤り制御方式と関連が強いため、どのように誤り制御を行うのかを考慮した上で多重化方式を決定する必要がある。また、それぞれのメディア毎に要求される品質が異なることから、メディア毎に誤り制御方式を変更できることが望ましい。

(5)端末間同期方法

PHSを使ったデジタルデータ通信では、PHS回線相互間の接続だけではなく、PHS-ISDN回線間でデータ通信する場合が考えられる。PHSとISDN間でデータ通信する場合には、網内で32kbit/s信号から64kbit/sに速度変換される。このことを考慮した上で、PHS-PHS端末相互間での通信だけでなく、PHS-ISDN端末相互間でもそれぞれのメディア毎に同期可能な多重化方式である必要がある。

3. 2 データ同期方法

(1)同期方法の概要

デジタルデータを伝送する場合、端末間でのデータ同期が必要となる。PHSを用いる場合のデータ同期方法には、以下のものなどが考えられる。

(i)案1 PHS伝送クロック同期方式

網の8kHzクロックを利用し、データ単位を4ビット単位のセルとして多重を行う方式である。図2にセルの構成例を示す。音声、画像、データを4ビット内に配分する構成が考えられる。

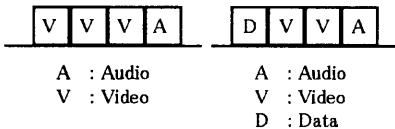


図2. 4ビット単位のインターリーブ多重の例

(ii)案2 PHS伝送フレーム同期方式

PHSのレイヤ2, LAPDCの情報部単位にフレームを構成する方法。情報部の160bitを1フレームとし、160bitに音声、画像、データを固定的に割り付ける。

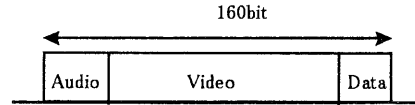


図3. 160ビット単位のフレーム多重の例

(iii)案3 H.221に基づいたフレーム多重

H.221のフレーム構成に従って多重を行う方法。フレーム長は640ビットとなる。

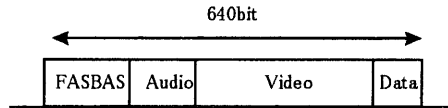


図4. H.221に基づいたフレーム多重の例

(iv)案4 可変長パケット多重

データをHDLC形式のフレームとしてパケット多重を行う。フレーム長は可変。



図5. 可変長パケット多重の例

(2)同期方法の特徴

以下に伝送の信頼性の要求に対する以外の要求事項に対する、各同期方法における特徴を示す。伝送の信頼性を実現するための誤り制御方式については後述する。

(i)案1

- (1)同期を実現するために必要となる付加ビットはなく、伝送効率が高い。
- (2)伝送遅延は小さい。
- (3-1)多重モードの柔軟性は小さい
- (3-2)通信モード設定のための能力交換をインチャネルで実現するためにはスチールされる情報量が大きくなり、伝送効率の劣化が大きくなる。別に制御チャネルを用いる場合は、通信モード切替との間で不整合発生のおそれが増大する。
- (4)網の8kHzクロックに従属同期することにより、ISDN網との同期は容易。ただし、ISDN側にてI.460に基づいた速度整合が必要。

(ii)案2

- (1)フレーム長が160ビットと小さいことから、フレーム内のオーバーヘッドが大きいと伝送効率は低くなる。
- (2)伝送遅延は小さい。
- (3-1)160ビット内での実現できる多重モードであるため比較的柔軟性有り。

(3-2) 160 ビットフレーム内に制御用ビットを持つ必要がある。

(4) PHS 側では、網のクロックに従属することにより同期可能。ISDN 側では 160 ビットのフレームを識別するために、160 ビットのフレーム中に同期ビットを挿入する必要がある。また、ISDN 側にて I. 460 に基づいた速度整合が必要。

(iii)案3

- (1) 伝送効率はや中程度。
- (2) 伝送遅延は許容範囲。
- (3-1) 多重モードの柔軟性は高い。
- (3-2) BAS を用いることにより通信モードは可変。
- (4) H. 221 のフレームを識別することにより同期可能。ただし、ISDN 側にて I. 460 に基づいた速度整合が必要。

(iv)案4

- (1) フレーム長が小さい場合には、オーバーヘッドの比率が増加し、伝送効率は低下する。
- (2) フレーム長を大きくすると伝送遅延が大きくなる。
- (3-1) 多重モードの柔軟性は高い
- (3-2) 制御フレームを用いることにより、通信モードは変更可能。
- (4) HDLC のフレームを識別することにより同期可能。ただし、ISDN 側にて I. 460 に基づいた速度整合が必要。

4. 誤り制御方式の検討

複数のメディアを伝送する場合、各メディアが持つ特性から求められる品質が異なっている。例えば、音声符号化は遅延に厳しいが多少の誤りは許容できる。逆に画像符号化は遅延にはさほど厳しくないが、誤りが波及する特徴があるため誤りに対しては厳しい。データについては 1 ビットでも誤ると全く異なる意味となるため誤りは許されませんが、多少の遅延は認められる。このように伝送するメディア毎に要求される品質が異なるため、複数のメディアを伝送する場合には、メディア毎に適した誤り制御を行い、要求される品質を実現する必要がある。以下に画像情報に対する誤り制御方法について検討した結果を示す。

(1)誤り訂正方式

PHS 等の携帯通信端末で発生する伝送誤りは、レイラフェージングによるバーストエラーが中心であり、BER (Bit Error Rate)は $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 程度に劣化することがある。更にこの伝送誤りは時々変化することが知られている。このような高誤り環境で信

表 1. 誤り制御方式

誤り制御方法	内容
誤り訂正符号	BCH やリードソロモン等の誤り訂正符号により、誤りを符号の能力で訂正する方法。
自動再送制御	誤りのあった多重化フレームを誤りなく伝送できるまで再送する方法。
Intra フレームリフレッシュ	誤りが発生した次の画面を Intra フレームで符号化し、誤りの影響が波及することを防止する方法。
誤り補正	誤りをデータの性質を利用して他の正常なデータから誤ったデータを推測する方法。

表 2. 誤り制御方式の特性

	利点	欠点
誤り訂正符号	帰還通信路が不要 遅延が小さい 制御が簡単	バースト誤りに対して処理が難しい 冗長度が大 復号器が複雑
自動再送制御	信頼度が高い 予想できない誤りに強い 復号器が簡単	期間通信路が必要 遅延が大きくなる場合がある 誤り率が高いと再送ばかり繰り返す
Intra フレームリフレッシュ	プロトコルに依存しない 処理が簡単	誤りのある画面を隠蔽できない 画像のフレームレートが劣化する
誤り補正	遅延が小さい 誤りにより伝送効率が劣化しない	データの信頼度が低い バースト誤りに弱い データ間に相関が必要

号全体に誤り訂正符号を用いることは、冗長ビットが非常に大きくなり伝送効率が悪い。そのため、誤りの影響の大きさや発生頻度から情報に重み付けし、重要なビットに強い誤り訂正符号を用いることが考えられる。しかし、画像符号化では誤りの影響の大きいひずみ誤り、位置ずれ誤り、累積誤りが情報量のほとんどの部分を占めており情報の重み付けが不可能である。更に、誤り訂正のための冗長ビットは固定のため、伝送誤りが最悪の状態に合わせて訂正符号を付加する必要がある。

(2)ARQ 方式

ARQ は、誤りが無くなるまで再送するため、データの精度を補償することが可能である。誤りが少ない状態では再送も少なくなるため、時々変化する誤り環境に適しており、誤りがバースト的に発生することもフレーム単位の再送に適している。ARQ では伝送遅延の増加が問題となるが、元々 PHS 等の無線伝送路で再生できる画像を考えてみると、伝送速度が低いため 1 秒間に 4~6 枚程度の映像であり、常に 200msec 程度の遅延が生じることになる。そのため、再送により多少伝送遅延が増加しても問題とならないと考えられる。また、誤り率が $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 程度に劣化した場合でも再送を繰り返すことなく伝送

することが必要であるが、フレーム長を適正に設定することにより対処可能である。

(3)Intraフレームリフレッシュ(誤り耐性の符号化方式への付加)

Intra フレームリフレッシュは、伝送速度がもっとも高速な場合には有効であるが、32kbit/s程度の伝送速度ではあまり有効ではない。理由はIntra フレームを送るのに1秒程度かかってしまい、その間エラーのある画面を隠蔽することができないためである。さらに1フレームの情報量が大きいので、Intra フレーム伝送中に再度誤りが発生し、リフレッシュを繰り返してしまう。

(4)誤り補正

誤り補正は、他の正常なデータから誤ったデータを推測する方法である。もともと動画画像情報は、周囲データや前後のフレームとの相関が強いため、誤り補正に適していると考えられる。誤りの程度によって伝送効率が低下しないことも伝送速度が低速な無線伝送に適している。しかし、この方法は伝送誤りが軽微なものであることが必要で、誤り率が 10^{-2} ~ 10^{-3} 程度に劣化した状態では近傍情報すら用いることが困難になる。そのため、誤り訂正符号等、他の誤り制御方式と組み合わせて用いることが必要であり、システム構成は複雑になる。

このように、各誤り制御方式を比較検討すると、ARQによる誤り制御が簡易且つ効果的であることが分かる。

5. システム構成案

本検討を基に、PHSを用いた携帯型マルチメディア通信システムを試作した。前章までの検討を基本として誤り制御方式にARQを用いることとし、多重化方式にはARQと整合性の良い案4に示したHDLCによる可変長パケット多重化方式を用いることとした。音声については、伝送遅延の増加を防ぐためARQによる再送はせず、誤り訂正符号の一つであるビタビ符号を用いている。評価システムの機能ブロック及び外観図をそれぞれ図6、図7に、仕様諸元

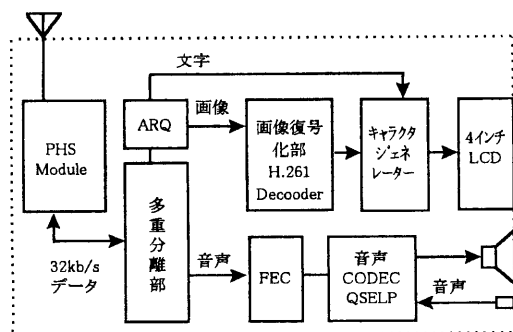


図6. 機能ブロック

を表4に示す。本評価システムでは内部にPHSを搭載しており、PHSの32kbpsベアラ通信により画像、音声及びデータを同時に通信することができる。



図7. システム外観

表3. 仕様諸元

項目	仕様内容	備考
通信方式	PHS 基地局経由 ISDN 基本インタフェース 32kbpsによるベアラ通信	RCR STD-28
多重化方式	HDLC フレーム多重 (メディア毎に多重化)	
フレーム種別	画像・音声・文字・データ	
フレーム長	40, 80, 160, 400Byte	
誤り制御方式	映像:自動再送制御 音声:ビタビ符号化による誤り訂正(FEC) データ:自動再送制御 (ARQ)	
符号化方式	映像 H.261 準拠 音声 8kbps QSELP 文字 ASCII コード	

7. 伝送効率の評価結果

本評価システムを用いて、PHSのベアラ通信32kbpsに対する伝送効率を測定した結果を図8に示す。フェージング周波数を2~10Hzの間で変化させ、受信レベルを変化させた時に実際に伝送されるデータ量を計測した。誤りの発生状況に合わせてHDLCフレームのフレーム長を適応的に制御することにより、 10^{-3} 程度のビット誤りが発生するような状況においても、60%以上の伝送効率を実現している。具体的には、誤りの少ない状態ではフレーム長を大きくし、フレームに占めるオーバーヘッドの割合を減少させることにより伝送効率を確保し、誤りの多い状態では、フレーム長を小さくすることにより再送の繰り返しの防いで伝送効率を向上させている。フレーム長を制御する基準としては、HDLC

フレームの誤り数を測定し、予め設定した範囲を越えた場合に段階的にフレーム長を変更する方法が簡易である。

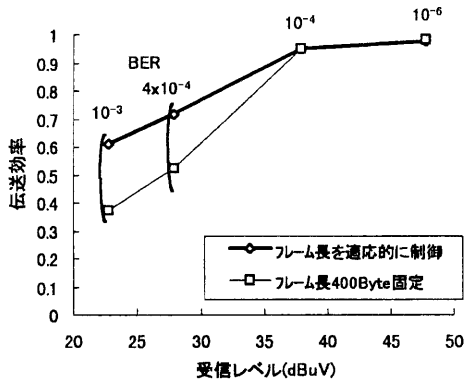


図8. 伝送効率

8. まとめ

本資料では、画像、音声、データ等を通信可能な携帯型マルチメディア通信評価システムに適したモバイル通信方式について検討し、実環境において高い伝送効率が確保できたことを報告した。今後は、本検討を元に更に効率的な誤り制御方式、低ビットレート符号化方式について検討していく予定である。

9. 参考文献

1. 第二世代コードレス電話システム標準規格第2版, RCR STD-28, 社団法人電波産業会
2. Y. Matsumura, S. Nakagawa, T. Nakai: "Very Low Bit Rate Video Coding with Error Resilience", VLBV95
3. M. Wada: "Selective Recovery of Video Packet Loss Using Error Concealment", IEEEJ. on Selected Areas in Commu. Vol. 7, No. 5 (1989)
4. 須田, 安達: "レイリーフェージング無線チャネルにおけるブロック符号の適用効果", 第11回情報理論とその応用シンポジウム (1988)
5. 茨木, 藤本, 中野, 島村: "モバイル通信における映像符号化品質劣化防止技術の検討", 画像電子学会, 第23回, 第5号, pp.445-453 (1994)
6. 中島, 三木: "移動通信網の展望とマルチメディア化の課題", TV学会誌, vol. 48, No. 4, pp. 415-419 (1994)

7. 丹田, 山本, 中村: デジタルコードレス非電話通信の実験的検討, 1995年春季信学会全大, B-349
8. 後藤, 茨木, 藤本: "無線画像通信プロトコルに関する一検討", 1994年春季信学会全大
9. "わかりやすい誤り訂正符号技術の基礎と応用", JIEC T-4330, 日本工業技術センタ