64 kb/s ビデオ通信のためのカラー画像符号化方式

正会員 山 口 博 久[†], 正会員 和 田 正 裕[†]

あらまし 「見ながら話す」ことは電話発明以来の夢であるが、この技術を実現させるためには従来のアナログ電話回線に代る公衆デジタル回線網が必要である。現在各国で進められている ISDN は、このような新技術、新サービスの発展のための好機であり、過去 20~30 年にわたって蓄積されて来たデジタル信号処理技術を誰でもが利用できる形で提供することは、今まさに多くの技術者に課せられた課題である。本論文においては ISDN における狭帯域デジタル回線、特に 64 kb/s を利用することにより可能となる近い将来のビデオ通信システムと、このために基本となる動画像符号化方式について述べる。動画像信号をこのような狭帯域で伝送する場合には、ある程度の符号化劣化を考慮せねばならず、このためには視覚特性の利用が非常に効果的である。本論文においては、輝度信号と色差信号間の相互マスキングを利用する方法について、その効果を論ずる。

1. ま え が き

電話がこの世に誕生したのは 1876 年 Philadelphia においてであったが、当時そこに居合わせた人々は、いったい何を考えたであろうか。これは偉大な発明だ、通信の革命である、だがしかし相手の顔も見えたらなあ、と思った者がきつといたであろう。事実「見ながら話す」ための技術はビデオ電話として 1956 年 Bell 研究所において走査線数 60 本、0.5 フレーム/秒、帯域幅 1.2 MHz¹⁾ のものが試作された頃を契機として各方面で活発な研究が開始され、とりわけ 1970 年代の後半よりテレビ会議、すなわち会議における複数の参加者どうしを通信回線で結んだビデオ会議が、国内外を問わず将来の新たな大容量通信メディアとして提唱されて以来、そのサービス性に対する期待が徐々に大きくなりつつある²⁾。

一方、時間上の仕事効率が重視されるビジネスの分野における通信の多くは個人対個人型であり、長距離接続、特に国際間ビデオ通信サービスのこれからの発展を考えた場合に、このような個人通信の要求に容易に応えることのできるシステムがますます重要となっ

ている。

このようなビデオ通信システムとしては前記 Bell 研究所において 1964 年に帯域幅 0.5 MHz、次いで 1968 年に帯域幅 1 MHz のシステムが試作され³⁾、当時の注目を大いに浴びた経緯があるが、広帯域アナログ回線の敷設に膨大な費用が必要とされたこと、ならびに当時のディスプレイ装置がまだかなり高価であったこと等の理由で中止のやむなきに至ったのはよく知られている。ところが近年のデジタル信号処理、特に符号化技術の進展および CCITT 等を中心とした将来の多目的デジタル伝送路 (ISDN) に関する国内外の検討が進められるにつれ、デジタル通信の立場での狭帯域ビデオ伝送が再び注目を集めつつあり、例えば個人対個人の対話における話者の肩上像等であれば非常に高能率にデータ圧縮を実現できる見通しが得られつつある⁴⁾。しかもこれに音声信号、制御信号を多重化、さらに各種テレマチック信号、静止画像信号等を時分割伝送する機能を付加することにより、少くとも ISDN における基本伝送速度 64 kbit/s におけるビデオ通信 (電話) が技術的には十分に可能な状況にあるものと考えられる。さらに、これによりビジネス分野における個人通信サービスのいっそうの発展が図られるばかりでなく、動画像通信を一般大衆レベルにまで浸透させてゆく好機の得られることが期待できる⁵⁾。このためには動画像信号の超高圧縮を実現する

[†] 国際電信電話株式会社 研究所

"Encoding Color Video Signals for 64 kbit/s Integrated Video Communication" by Hirohisa Yamaguchi and Masahiro Wada (Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd., Tokyo)

必要があるが、方法として従来のテレビ信号の高効率符号化における基本技術だけでは必ずしも充分ではなく、むしろ視覚特性の積極的な利用や強力な符号化雑音除去フィルタが効果的である。本論文においてはこのための基本方式について述べると共に、これを用いたカラー動画像の狭帯域（48～64 kb/s）伝送方式に関して述べる。

2. 64 kb/s ビデオ通信の概観

動画像および音声信号を 64 kb/s に統合した形で提供しようとする場合には、原音声 PCM 信号 64 kb/s を信号の有無および符号化を用いて圧縮し、これによって得られる余剰部分を画像信号に割り当てる方法が基本的である。

電話音声信号の帯域圧縮に関しては 32, 16, 8 kb/s 等、各種圧縮方式が活発に研究されており、ビットレートと音声品質との関係がだまかにではあるが明らかにされつつある⁹⁾¹²⁾。これらの結果によれば、原音声信号 PCM 64 kb/s に対して 16 kb/s 程度までの符号化圧縮と比較して圧縮をさらに 8 kb/s にまで高めた場合にはかなりの品質劣化が伴い、したがって、品質として現在の電話音声とさほどの差を生じないことを前提とすれば、現状では 16 kb/s が一応の圧縮限界であると考えられる。したがって 64 kb/s 回線の場合、16 kb/s を符号化音声信号に割り合えると画像信号、例えば動画像信号に対して割り当てられるのは 48 kb/s（正確には有音時において 48 kb/s、無音時においては 64 kb/s）となるが、このような性格の異なる信号の送出においては、優先権処理を導入した形で回線容量の有効利用を図る方式が提案されている⁷⁾。

一般に画像情報は動画および静止画に分けられ、前者が話者の表情等情緒的性格の強いものに対して、後者は実質的な情報価値そのものの高いことから、このような異なった種類の画像信号の送り分けをどのように行うかが重要である。このためのひとつの方法としては、常時、動画像を送信しておき、静止画像等の送信が必要となった際にだけ動画像の送出を停止（約 10 秒）させ静止画を伝送するといった方法をとる。これによれば、静止画像用に固定的な伝送スロットを割り当てる場合と比較して、回線利用効率、静止画像情報の優先性等の面でより多くの利点が得られる。

このようなビデオ通信システムの一例を図 1 に示す。図中ドキュメントコーデックとあるのはファクシミリを利用した文書伝送を考慮したためであり、その扱いは先に述べた静止画像に対するものと同一である。

このような狭帯域ビデオ通信では端末装置の小型化および可搬化を図る必要があり、このためには複数のディスプレイ装置を必要とするのではなく、同一ディスプレイ画面内に静止画および動画像が同時に表示できれば望ましい。このうち静止画像は特に品質の重視されることから解像度としては 500×500 画素程度が必要である。これに対して標準ノンインターレースモニタの表示走査線数は約 480 本であり、縦横方向を同一解像度とすれば画面横方向の画素数としては 640 画素、すなわち結局 480×640 が実質的な全表示画素数である。このため、このうちより 480×512 画素を静止画像部分に、残りの部分（480×128 画素）を動画像表示に割り当てる。

さらに動画像信号表示部分は図 2 に示すように、さらに 4 分割し自画像のモニタおよび最大 3 対地接続における動画像の同時ディスプレイを可能とする。この

図 1 ビデオ通信システムの構成例
An example of the narrow-band video communication system.

S：静止画像表示領域（点線部分は動画像拡大表示領域）
M1～M4：動画像表示領域

図 2 ディスプレイ画面の構成
Layout plan for the display.

ような画面分割によって、動画像表示部分の画素数は 120×128 となるが、後で示すように、話者の肩上像程度に対してはまず充分な解像度が得られる。補足的な機能として図2中点線で示したように静止画部分に動画像を拡大表示する機能がディスプレイ画面を効率的に使用するうえで有効であり、一方、走査の方式は画像品質を考慮すればノンインターレース方式が好ましい。

3. 視覚特性を利用したカラー画像信号の圧縮

画像信号の情報量圧縮においては、符号化により発生する劣化を人間の視覚特性上検知されにくい部分により多く集中させることにより、さらに高い圧縮効果が得られる。このような視覚特性のうち、特にカラー画像信号に対しては従来より輝度、色差成分信号に対する視感度特性の違いが利用されており、具体的には色差成分の帯域制限ならびにサブサンプリングを基本とした輝度、色差成分信号の個別符号化が一般的な手法となっている⁸⁾。一方、近年の視覚生理等における研究の成果によれば、人間の脳においては明暗の変化および色の変化が別個のシステムで認識されており、これらのシステム間で、画像認識のための何らかの相互的な働きかけのあることが明らかにされつつある⁹⁾。

このような視覚特性は輝度、色差成分間の相互マスキング効果と呼ばれており、色差信号の変化と比べて輝度信号の変化の大きい部分では色差信号に多少の劣化が許容される性質 (luminance masking)、および輝度信号の変化と比べて色差信号の変化の大きい部分では輝度信号に多少の劣化が許容される性質 (chrominance masking)⁸⁾ と呼ばれている。このような効果は高能率符号化に利用できるものと考えられ、従来の輝度、色差信号の個別符号化に対してさらに高い圧縮度の達成できることが期待される¹⁰⁾¹³⁾。

この視覚効果は輝度差分信号および色差差分信号 (広帯域および狭帯域の2種類がある) により定義される3次元空間を用いて記述するのが最も自然である。詳細は別稿¹⁰⁾¹³⁾に譲るが、上記相互マスキング効果はこのような3次元空間における差分信号 (ベクトル) に対して輝度差分および色差差分信号軸上以外の量子化代表ベクトルを削除することにより考慮される。

実際の符号化においては、色差信号に対してはさらに視感度の低下を考慮してサブサンプリングが適用できるためベクトル量子化の次元はさらに低くでき、例えば図3に示したサブサンプリングパターンに対して図4(a), (b)のような量子化特性を交互に適用して

図3 色差信号に対するサブサンプリングパターン例
An example of the subsampling pattern for chrominance signals.

(a) 量子化代表ベクトル数=7

(b) 量子化代表ベクトル数=7

図4 サブサンプリングパターンに対応した量子化特性
Quantization characteristic corresponding to the subsampling pattern.

やれば良い。この図中 e_Y , e_I , e_Q はそれぞれ輝度差分信号、広帯域ならびに狭帯域色差差分信号を表している。量子化特性、特に各量子化代表ベクトルの座標は画像信号の局所的な変動量 (アクティビティ)¹³⁾ に適応して制御することにより図4の例のように、代表ベクトルの数を制限した場合でも実効的な量子化ベクトル数を多く、かつベクトル量子化につきものの演算量を低く抑えることができる。

写真1(b), (e)は同(a), (d)に示した原静止画像に対して図4(a), (b)に定義した (適応) ベクトル量子化特性を画素毎交互に適用することによって得られた符号化結果を示す⁹⁾。同様の符号化を (マスキング効果を考慮しない) 通常のスカラー量子化を用いて行った場合の符号化エントロピーは写真1(a), (d)に対してそれぞれ2.9および3.3 (b/画素) とな

(a) 原画像 (標本化周波数 12.5 MHz, 量子化は R, G, B 各 8 ビット)

(b) 2次元ベクトル量子化 (1.99 b/画素, 38.81 dB (輝度))

(c) 4次元ベクトル量子化 (1.49 b/画素, 37.01 dB (輝度))

(d) 原画像 (標本化周波数 12.5 MHz, 量子化は R, G, B 各 8 ビット)

(b) 2次元ベクトル量子化 (2.68 b/画素, 30.29 dB (輝度))

(c) 4次元ベクトル量子化 (2.18 b/画素, 28.54 dB (輝度))

写真 1 符号化結果
Encoded results.

っており、これらの結果から、本方式を用いて視覚特性を考慮することにより約20%の符号化エントロピーの削減ができることがわかる。

ここではさらにベクトルの次元を上げた場合、すなわち量子化処理を画素毎にではなく複数の画素に対して一括して適用した場合の符号化エントロピーに関して述べる。このため図3のサブサンプルパターンを基本として同図に点線で示したような同一ラスタ上の連続する2画素を単位として視覚のマスクング効果を考慮した量子化を適用する。

この場合、連続する2画素を I_A , I_B と添字A, Bで区別すると、量子化の対象となるのは輝度差分信号 e_{YA} , e_{YB} および色差差分信号 e_{IA} , e_{QB} の4つである。したがって、量子化特性は実質4次元となるが、 (e_{YA}, e_{IA}) および (e_{YB}, e_{QB}) 空間におけるマスクング効果はすでに量子化特性、図4(a), (b)により考慮されており、したがって、これらを4次元へ拡張するためには (e_{YA}, e_{YB}) , (e_{YA}, e_{QB}) , (e_{IA}, e_{YB}) , (e_{IA}, e_{QB}) 空間のうちいずれかを1つ選んで量子化

特性を定義してやれば良い。ここでは基本的な (e_{YA}, e_{YB}) 空間を選択する場合について考え、量子化特性としては図5に示すような基本的な特性を採用する。このようにして定義される $(e_{YA}, e_{YB}, e_{IA}, e_{QB})$ 4

()内は対応する4次元量子化代表ベクトルの数 (合計49ベクトル)

図5 (e_{YA}, e_{YB}) 空間に対する量子化特性の例
An example of quantization characteristic in (e_{YA}, e_{YB}) space.

写真 2(a) 原画像

Original pictures.

128 画素×120 ライン

10 フレーム/秒

量子化は R, G, B 各 8 ビット

写真 2(b) 符号化結果

Encoded results.

5 kb/フレーム (0.33 b/画素)

次元量子化における量子化代表ベクトルの配置はこれを直視的に表すことができないので、この代りに図5における(e_{YA} , e_{YB})2次元空間内に配置された量子化代表ベクトルに対応する4次元量子化代表ベクトル数を()内に示した。

これらを総計すれば、結果として4次元空間内に配置される量子化代表ベクトルの総数は49すなわち1画素当たり24.5個となり、図4で定義された画素毎の量子化特性のちょうど3.5倍となっていることがわかる。以上の量子化特性に対し、先に1画素毎のベクトル量子化に対して適応したと全く同様の方法⁹⁾¹³⁾により量子化代表ベクトルの座標を画像信号の局所的な変動量(アクティビティ)により適応的に制御する。このようにして得られた符号化結果を写真1(c), (f)に示す。同(b), (e)と比較すると、輝度および色差成分の共に大きく変化する部分、例えば飽和した赤色のエッジ等においては若干のぼけの増加が検知できるものの、画質としてはおおむね同等のものが得られている。一方、符号化エントロピーではかなりの減少が達成でき、1画素毎のベクトル量子化(輝度差分、色差差分成分信号の個別量子化)と比較すると34~50%の符号化エントロピーの削減が得られている。この効果は、量子化の次元を増やすことにより特に差分輝度信号における冗長性がさらに除去された結果であると考えられる。

一方、すでに述べたように、この圧縮効果は3.5倍多い数の量子化代表ベクトルに対する演算処理を前提としており、実際の符号化回路の構成においてはこの観点からの考察も必要である。処理の次元数をさらに増加させた場合の効果に関しては、研究的な興味はあるものの、実際の演算規模に問題が生ずる。

4. カラー動画画像信号符号化への適用

カラー静止画像の符号化に関しては、3章で述べた符号化方式を直接適用することにより画像1枚(520×480画素)当りの伝送量を400~700kビット程度に抑えることができる。これに対し、カラー動画画像(128×120画素)を64kb/s以下の狭帯域にて伝送する場合には、まずフレームレート自体を通常のテレビジョンの1/2あるいは1/3程度に制限する必要がある。シミュレーションの結果によれば、個人的な会話等の場合、動画画像といっても動いている部分は限られており、10(フレーム/秒)程度のフレームレートであれば表示される動きにはほとんど不自然さが感じられない*。

* この点に関しては画面の大きさ、走査線数との関係を含めてさらに検討する必要がある¹¹⁾。

このような理由から、本符号化方式においては1フレーム当りの符号化情報量を5kビットに設定、音声の有無にかかわらず動きの極めて大きい場合を除き平均10(フレーム/秒)以上のフレーム数が符号化されることを基本としている。図6に本符号化方式の構成を示す。斜線の部分(VECT ENC)は3章で述べたベクトル量子化を実行する部分であり、フレーム間、フレーム内の局所変動量(アクティビティ)の大小により予測関数の選択を行う点を除けば、基本的に3章で述べた量子化方式そのものである。符号化処理の流れを簡単に述べると、まず入力となるフレーム信号はビデオカメラ出力のうちの偶数(むしろ奇数でも良い)フィールドより輝度および色差信号の形で選択的に取り込まれ、フレーム間雑音の平滑化(PRE FLT)および動き量の検出(MV)が実行される。動き量は適当な初期偏位の後、8×8画素を単位ブロックとして前符号化フレーム内の61個の代表ベクトル(上下左右最大6画素/符号化フレームの変化を検出)ならびに1つの背景ベクトルの計62ベクトルのうちからただ1つが選択される。背景ベクトルは背景メモリと呼ぶ特別のフレームメモリ(BM)から読出されるが、このメモリーの内容は検出動き量が0となりかつ後で述べる条件付画素補充の実行される等の条件を満たす場合にのみ前符号化出力による書き換えが実行され、これに

B : ENCODED BITS FOR PREVIOUS FRAME
BM : BACKGROUND MEMORY
CONT : THRESHOLD CONTROL
COND REP : CONDITIONAL REPLENISHMENT
FRM : FRAME MEMORY
MV : MOVEMENT ESTIMATION
PRE FLT : PRE-FILTER
SEL : SELECTOR
TEMP FLT : TEMPORAL FILTER
VECT ENC : VECTOR ENCODER

図6 動画画像符号化方式の構成
Schematic diagram of the encoder.

より静止背景部分の情報を記憶する．動き量の検出された単位ブロックはさらに4×4画素を単位とするサブブロックに分割され，動き補償フレーム間差分の大きさに応じて条件付画素補充 (COND REP) あるいは符号化 (VECT ENC) のうちどちらかが選択され実行される．条件付画素補充あるいは符号化された結果は，さらに前符号化フレーム信号を用いた符号化雑音の平滑化 (TEMP FLT) が実行された後，次フレームの符号化のためフレームメモリ (FRM) に記憶される．本方式ではこのように動き量情報，条件付画素補充情報およびベクトル量子化情報の3種類の情報の伝送が必要となるが，伝送量を効果的に制御するうえでは条件付画素補充の判定閾値 (T_{CR}) および原点近傍での量子化代表ベクトルの配置間隔の制御が効果的である．一方，このような制御を行うことによりダーティウィンドウ状の符号化雑音が発生するが，これを除去するため平滑化フィルタ (TEMP FLT) では現符号化信号値と前フレームにおける動き補正符号化信号値とを用いた非線形平滑化が有効である．この平滑化方法は例えば次式で表される．

$$J^{(0)} = (1-a)I^{(0)} + aJ^{(-1)*} \quad (1)$$

ただし $I^{(0)}$ は現符号化信号値， $J^{(-1)*}$ ， $J^{(0)}$ はそれぞれ1フレーム前の動き補正平滑化符号化信号値ならびに現符号化信号値に対する平滑化出力を表し， a は図7に示したように条件付画素補充の判定値 (T_{CR}) により制御される平滑化係数である．このような非線形フィルタによりフレーム間信号差分の小さな部分だけに対して平滑化処理が適用され解像度の劣化が抑えられる．一方，条件付画素補充の判定閾値 (T_{CR}) は次式に従い過去の2フレームに関する符号化出力を基にフレーム毎更新される．

$$T_{CR}^{(0)} = T_{CR}^{(-1)} + [(T_{CR}^{(-1)} - T_{CR}^{(-2)}) / (B^{(-1)} - B^{(-2)})] \times (B^{(-1)} - B^*) \quad (2)$$

図7 符号化雑音の抑圧特性
Nonlinear characteristic for reducing encoding noise.

$$T_{CR}^{(0)} = T_{CRmax} \text{ if } T_{CR}^{(0)} > T_{CRmax} \\ = T_{CRmin} \text{ if } T_{CR}^{(0)} < T_{CRmin} \quad (3)$$

とし， $T_{CR}^{(-1)} = T_{CR}^{(-2)}$ あるいは $B^{(-1)} = B^{(-2)}$ となった場合には，

$$T_{CR}^{(0)} = \begin{cases} T_{CR}^{(-1)} - \Delta & \text{if } B^{(-1)} \leq B^* \\ T_{CR}^{(-1)} + \Delta & \text{if } B^{(-1)} > B^* \end{cases} \quad (4)$$

と制御を加える．($\Delta = T_{CRmax}/20$)

ここで， $T_{CR}^{(0)}$ ， $T_{CR}^{(-1)}$ ， $T_{CR}^{(-2)}$ はそれぞれ現フレーム，前フレームおよび前々フレームに対する閾値， $B^{(-1)}$ ， $B^{(-2)}$ はそれぞれ前フレーム，前々フレームに対する全符号化ビット量， B^* が制御の目標とするビット量 (ここでは5 kbit) である．

この符号化方式において基本的な役割を演ずるベクトル量子化部 (VECT ENC) において画素毎独立した量子化特性 (図4(a)，(b)) を適用する場合の符号化例を写真2に示す．本方式における符号化方法は視覚特性を重視したものであり，符号化画質を通常のSNR (ここではp-p信号値対符号化雑音比をとった) により評価することは必ずしも妥当であるとは考えられないが，参考のための輝度信号に対する符号化SNRと符号化ビット数との関係を図8に示す．結果はシミュレーション上の制約から符号化開始後32フレームの平均をとったものであり必ずしも定常値を与えるものではないが，これにより本方式における符号化情報量制御方式の概略が多少とも明らかとなるものと思われる．図中K点は，動き領域の割合が極端に多くなった場合に，各フレームに対する符号化出力ビット数を制御するモードからさらに符号化の対象とするフレームの時間間隔を制御するモードへ移行するための設定点を表わす．K点の具体的な位置は(3)式における T_{CRmax} の値により決定されるが，ちなみに図8における T_{CRmax} の値は1画素当たり8.75/256 (輝度) とした．

これに対し量子化にあたって3章で述べた4次元量子化を適用することにより，さらに符号化効率の向上が期待される．ところがこれに関しては全面的なフレーム内符号化の実行される特殊な場合 (符号化開始時および訂正不能な伝送路誤りを検出した場合) を除いて今のところさほど大幅な改善効果が見出されていない．これはすでに3章で触れたように，4次元量子化においてはその効率が差分輝度信号に含まれる冗長性の有無に依存しており，このため静止画像における全面的フレーム内符号化に対してはかなりの効果が期待できるものの，フレーム間符号化に対しては動き補償および条件付画素補充等の手法によってすでにこのような冗長性の多くが除去されており，このため，その

実線は得られた結果より推察される本方式の符号化特性を示す。

図 8 本方式の符号化特性
Encoding characteristic of the encoding scheme.

効果が充分発揮されないことによるものと考えられる。

以上より動画像信号に対する量子化特性としては次元をさほど高くする必要はなく、むしろ符号化以外の部分（条件付画素補充、動き補償、符号化雑音除去フィルタ）の効果がより重要となろう。

5. む す び

我々の生活にとって最も広汎な通信手段である電話にはすでに1世紀以上にわたるアナログ伝送の歴史があるが、今やISDNを基本としたend-to-endデジタル伝送により新世代へ移行する好期を迎えている。

本論文においては、このような革新的な伝送メディアを背景としたカラー静止画/動画像信号の高エネルギー符号化、伝送方式に関して述べた。特に音声および動画像信号をISDN 64 kb/s回線により伝送する上では動画像信号にある程度の符号化劣化を考慮せねばならず、このため符号化においては視覚特性、例えばカラー信号における輝度、色差信号相互間のマスキング効果の考慮が有効である。本論文においては、この視

覚特性を積極的に利用する場合の効果について静止画像を用いて得られた結果を述べると共に、この技術を用いた動画像信号、特に個人対個人の会話における話者肩画像の高エネルギー伝送方式を論じた。

現在、本論文に述べたビデオ通信システムの開発を進めており、この結果については別の機会で報告したい。

最後に、本研究を進めるにあたり日頃御指導頂く当研究所 鍛冶所長、野坂副所長、樽松次長ならびに御助言を頂いた端局装置研究室 山本室長に深謝すると同時に、同研究室の諸氏、特に本研究を進めるにあたって多大な御助力を頂いた(株)芙蓉情報センター朝日氏に、この場を借りて感謝いたします。

(昭和60年3月4日受付、昭和60年6月21日最終受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) "An Experimental Picturephone", Bell Lab. Record, **34**, 9, p. 334 (Sept., 1956)
- 2) 丸山, 山本: "5ヶ国間国際テレビ会議 (ITS) におけるシステム構成", 信学誌, **68**, 1, pp. 29-32 (Jan., 1985)
- 3) D. N. Carson: "The Evolution of Picturephone Service", Bell Lab. Record, **47**, 5, p. 282 (May, 1969)
- 4) J. Anderson, et al: "Codec Squeezes Color Teleconferencing Through Digital Telephone Lines", Electronics, pp. 113-115 (Jan., 1984)
- 5) 秋山稔: "企業内、地域情報ネットワーク", 信学誌, **67**, 12, pp. 1263-1271 (Dec., 1984)
- 6) J. L. Flanagan, et al: "Speech Encoding", IEEE Trans., **COM-27**, 4, pp. 710-736 (Apr., 1979)
- 7) 山口, 和田: "64 kbps テレビ会議/テレビ電話総合通信方式", 信学技報, CS 84-119, pp. 37-42 (Nov., 1984)
- 8) J. O. Limb, et al: "Digital Coding of Color Video Signals - A Review", IEEE Trans., **COM-25**, 11, pp. 1349-1385 (Nov., 1977)
- 9) 福島邦彦: "視覚の生理とバイオニクス", 信学会, p. 184 (1976)
- 10) H. Yamaguchi: "Vector Quantization of the Differential Luminance and Chrominance Signals", IEEE Trans., to be published in May 1985
- 11) 本間勉編: "テレビ電話", コロナ社, pp. 11-20 (1972)
- 12) 八塚陽太郎: "16 kbps APC 音声符号化方式における品質改善の一検討", 信学技報, CS 83-139, pp. 57-62 (Nov., 1983)
- 13) 山口博久: "視覚特性を用いたカラー画像信号の高エネルギー符号化", 信学論誌, **J67-B**, 12, pp. 1377-1384 (Dec., 1984)