

音声・画像符号化技術

Speech and Image Coding

VAN, ISDNなどのデジタル通信技術を用いた、高度通信網が急速に発展しつつある。これらの通信網を効率よく運用するためには、音声、静止画、動画などの冗長性に着目した高能率符号化技術が重要となる。

本稿はこれら符号化方式の内外標準化動向、技術内容を紹介し、更に、日立製作所でのマルチメディア多重化装置用音声符号化方式、ファクシミリ用静止画符号化方式、及びテレビジョン動画像符号化方式の開発と製品化状況について記述する。

鈴木俊郎* *Toshirô Suzuki*
 宮本宜則* *Takanori Miyamoto*
 中村浩三** *Kouzou Nakamura*
 滝沢正明* *Masaaki Takizawa*

1 緒言

近年のデジタル通信技術やLSI設計技術の進歩に支えられ、通信網のデジタル化が急速に進展しつつある。デジタル化の最大の目的は、音声、画像、データなどすべての情報を一元的に扱うISDN (Integrated Services Digital Network)を構築して、高度情報社会を実現するところにある。しかし、そこに至る以前にも機器のLSI化や、デジタル信号処理技術を用いた冗長情報の圧縮による通信コストの低減が、通信網デジタル化の大きな魅力となっている。

特に、高速デジタル伝送サービスなどを用いた企業内専用網では、企業活動の発展に伴って飛躍的に増加する電話通信のコスト低減を、システム導入の大きなよりどころとしている。このため、通常は64kbpsのPCM (Pulse Code Modulation)符号により通信されるべき電話音声を、32~8kbpsの中・低ビットレート符号化方式により圧縮して伝送するシステムが、ここ数年来急激に導入されつつある¹⁾。

ファクシミリ通信も急速に発展しつつある。一般の書類は冗長な白地部分が多く、静止画符号化技術の実用化によりモデムを用いた低速回線(4.8~9.6kbps)を介しても、実用的な時間内に静止画を送送できるようになった。この静止画符号化方式は、2値白黒画像に対しては既に国際標準化が確立している²⁾、符号器の効率的LSI化が盛んであり³⁾、更に中間調やカラー化などの標準化が待たれている。

テレビ電話などの動画像通信はマンツーマン通信の一つの究極であるが、広い伝送帯域を必要とすることが実用化の大きな障害要因であった。この動画像についても、デジタル信号処理による高効率符号化技術の進展が著しく、国際標準化の活動も活発化している⁴⁾。

図1は企業内情報通信システムの構成例を示すものであるが、音声の高能率符号化はマルチメディア多重化装置内で、静止画符号化はファクシミリ端末内で、動画符号化はテレビ会議システム、あるいはテレビ電話端末内で実現される。日

立製作所では、高度なデジタル信号処理技術を駆使したこれらの高能率情報符号化方式の開発、及びシステム製品への搭載を積極的に進めている。本稿では最近の開発、製品化状況及び今後の動向について述べる。

2 音声符号化技術

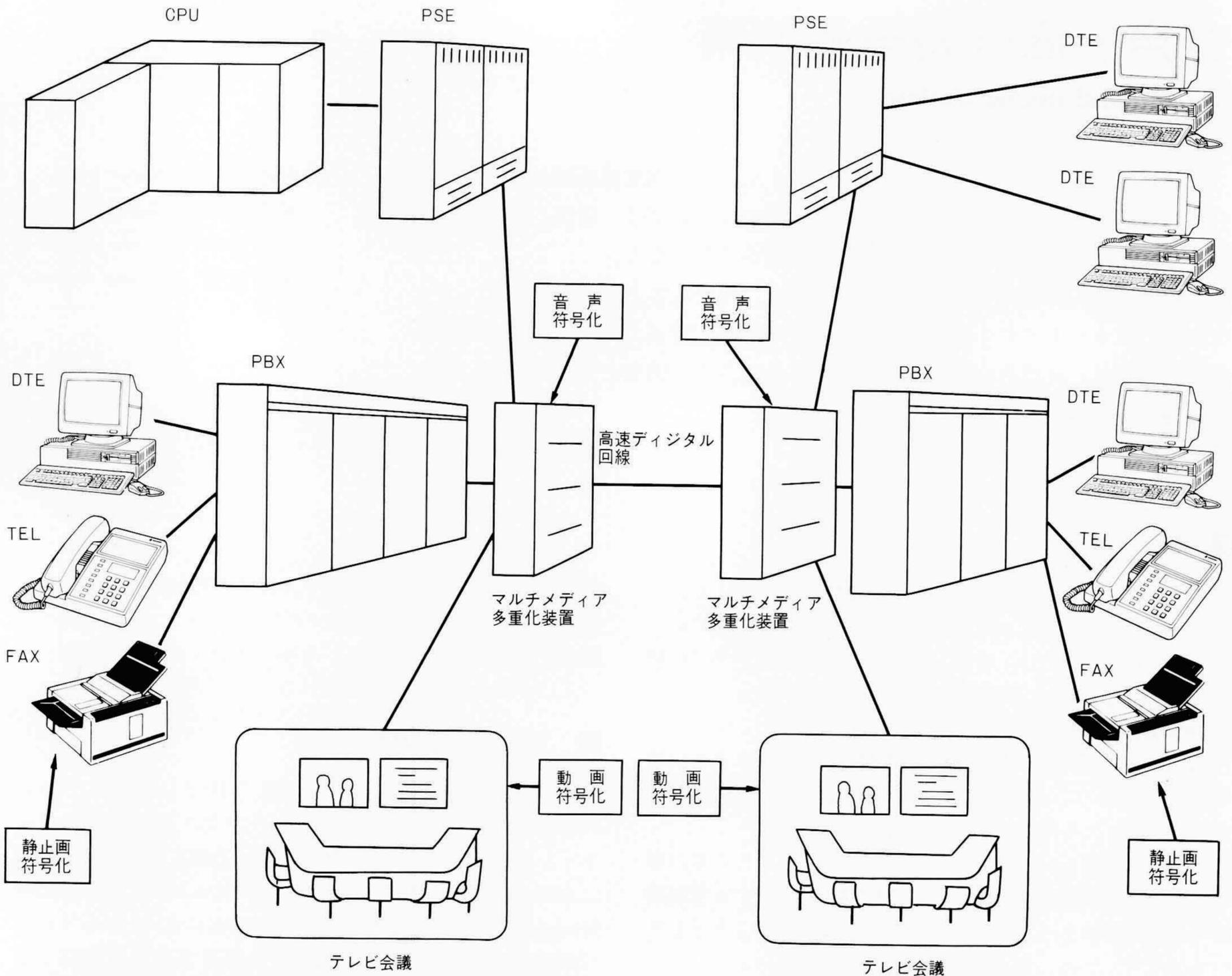
音声の高能率符号化は、最近のDSP (Digital Signal Processor)LSIの出現により急速に実用化が進んでいる。このような状況を背景として国際標準化の活動も活発で、1985年に32kbps ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)方式⁵⁾が、1987年に64kbps高品質SB (Sub Band)-ADPCM方式⁶⁾が相次いでCCITT (国際電信電話諮問委員会)から勧告され、更に16kbps方式の標準化作業も始まっている。一方、企業内専用網の発展は著しく、我が国では国際標準化に先立って独自方式による実用化が活発に進んでいる。

本章では、各種音声符号化技術の特徴及び日立製作所の独自方式開発状況について述べる。

2.1 音声符号化方式の比較

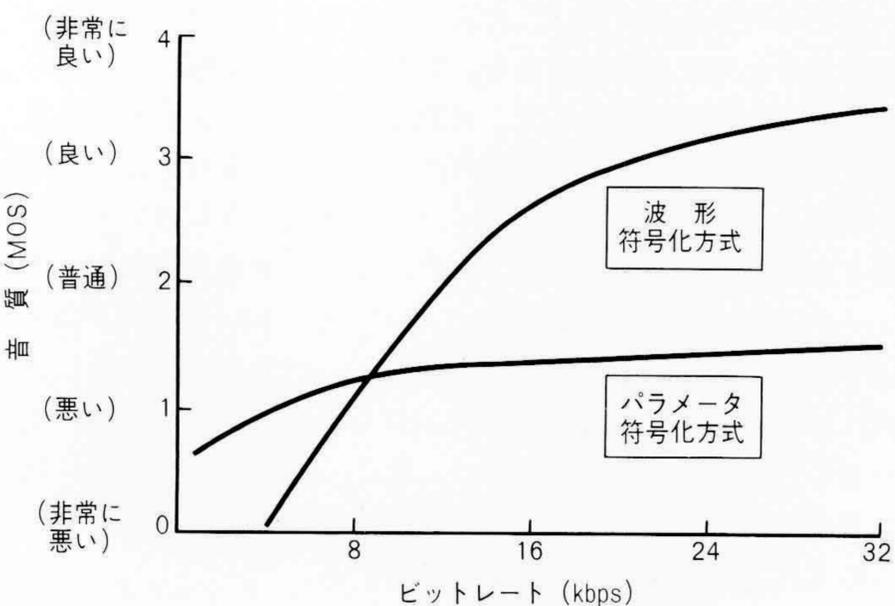
音声の符号化方式には、大別して波形符号化方式とパラメータ符号化方式の2種がある。前者は波形の振幅、こう(勾)配といった情報を抽出して、可能な限り原波形に忠実に符号化する方式である。後者は音声の生成機構に着目したモデルを設定し、このモデルのパラメータを伝送するものである。図2は両方式の特性を示しており、波形符号化方式はビットレートの高い領域で音質が良いものの、ビットレートを16kbps以下に落とすと急激に劣化する。一方、パラメータ符号化方式は16kbps以下でも比較的劣化は少ない反面、ビットレートを高くしても音質向上は少ない。最近、16kbps以下で更に高品質を実現するため、両方式の長所を取り入れたハイブリッド符号化方式の開発が盛んになっている。

* 日立製作所中央研究所 ** 日立製作所日立研究所



注：略語説明 CPU(コンピュータ), PSE(パケット交換機), DTE(データ端末), PBX(私設電話交換機), TEL(電話機), FAX(ファクシミリ)

図1 企業内情報通信システムの構成と音声, 画像符号化技術の適用例 音声の高効率符号化はマルチメディア多重化装置に, 静止画符号化はファクシミリ端末に, 動画符号化はテレビ会議システムなどに適用される。



注：略語説明 MOS(Mean Opinion Score:平均オピニオン評価値)

図2 音声符号化方式の比較 波形符号化方式は, 中・高ビットレート領域で, パラメータ符号化方式は低ビットレート領域で優位となる。

2.2 マルチメディア多重化装置用音声符号化方式

本節では日立製作所のマルチメディア多重化装置HIT-MUXシリーズ²⁾及びHTDMシリーズに搭載した高能率音声符号化方式について紹介する。

(1) 32kbps ADPCM方式

CCITT勧告の32kbps ADPCM方式は, 音声品質は良好であるが, ファクシミリなどに用いられる9.6kbpsのモデム信号をひずみなく伝送することはできない。そこでこのモデム信号の伝送も可能とする新しいADPCM方式を開発した³⁾。図3に本方式の概要を示す。ADPCM方式は音声の統計的性質を利用して, 過去の入力信号列から現在の入力信号を予測し, その予測値と実際の入力信号との差を量子化器によって符号化して伝送する。モデム信号は音声信号よりも波形の変化が激しく, 音声用の予測器では正確な予測が困難となり符号化ひずみが増加する。そこで予測器を音声用(2次極予測)とモデム用(10次極予測)の二つに分け, 音声, モデムのパワースペクトラムの差から, どちらの信号かを識別して使用する方

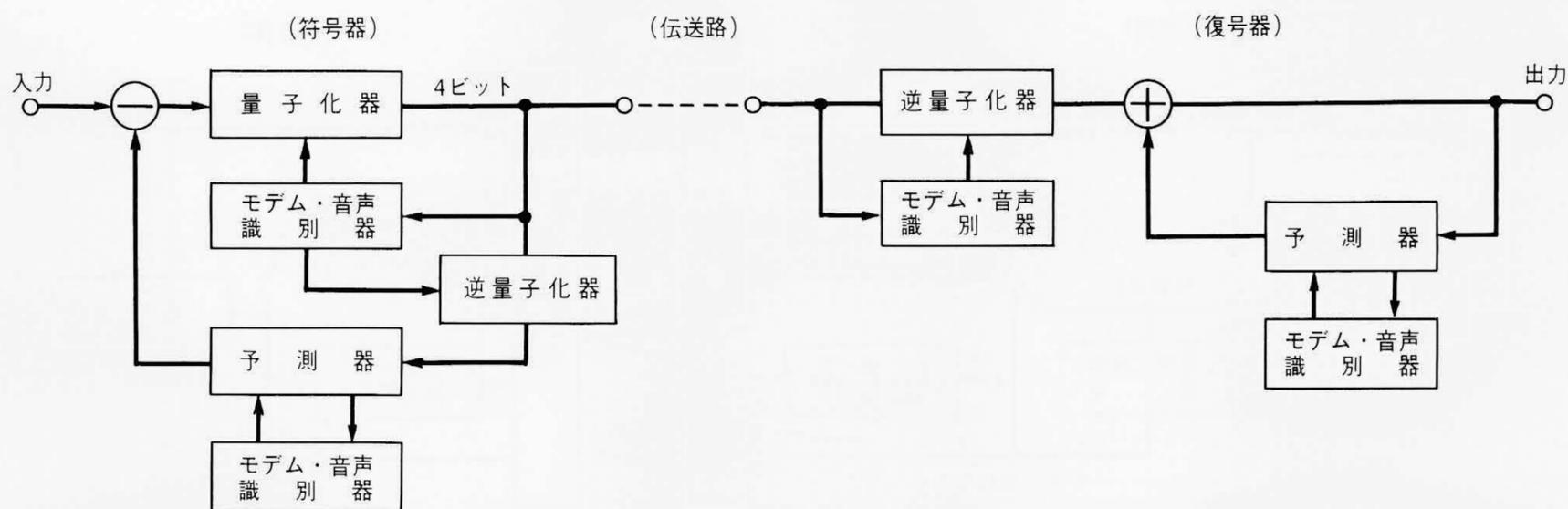


図3 モデム信号伝送可能な32kbps ADPCM(Adaptive Differential Pulse Code Modulation)方式 量子化器、逆量子化器及び予測器は、入力信号に応じて適応的に制御される。なおサンプリング周波数は8 kHz、量子化ビット数は4ビットである。音声・モデムの識別はそのスペクトラムの差を利用する。

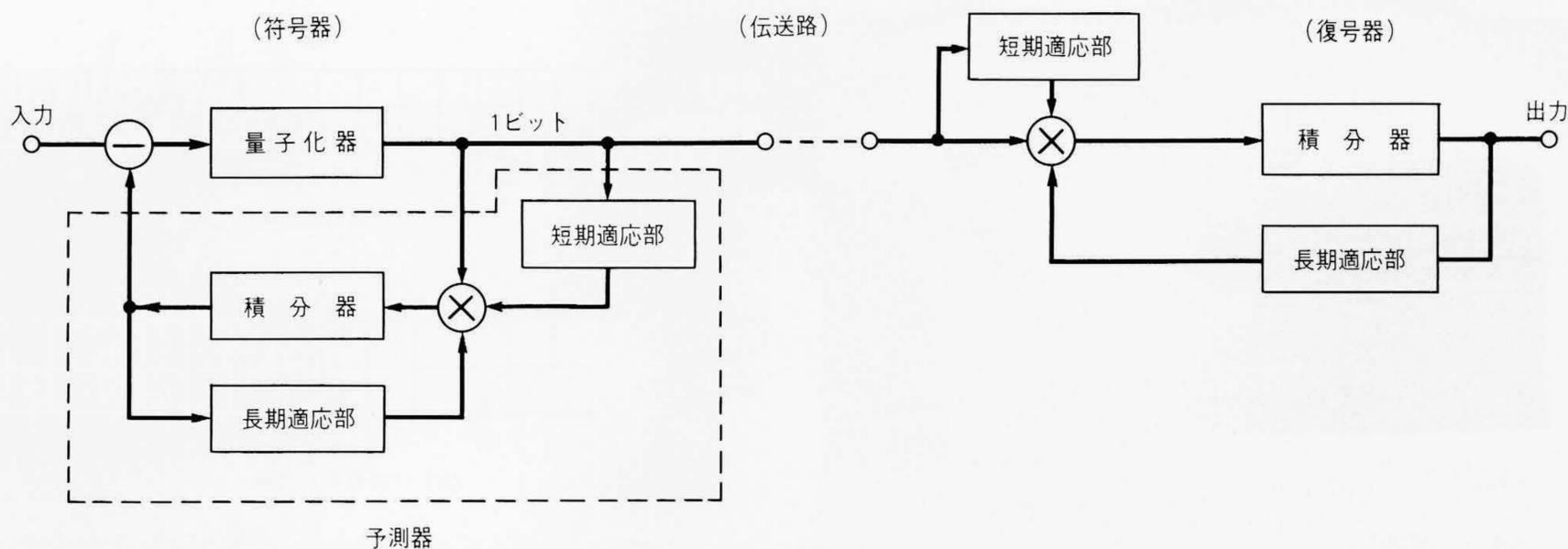


図4 16kbps CADM方式 積分器及び長期適応部は、一次のリーク付き積分フィルタから成る。なお、サンプリング周波数は16kHz、量子化ビット数は1ビットである。

式とした。本方式の音声品質は国際標準方式と同等であり、10 MOPS (Million Operation Per Second) のDSP 1個で実現されている。32kbps方式としてはほかにCVSD (Continuous Variable Slope Delta Modulation) 方式も実用化している。

(2) 16kbps CADM方式

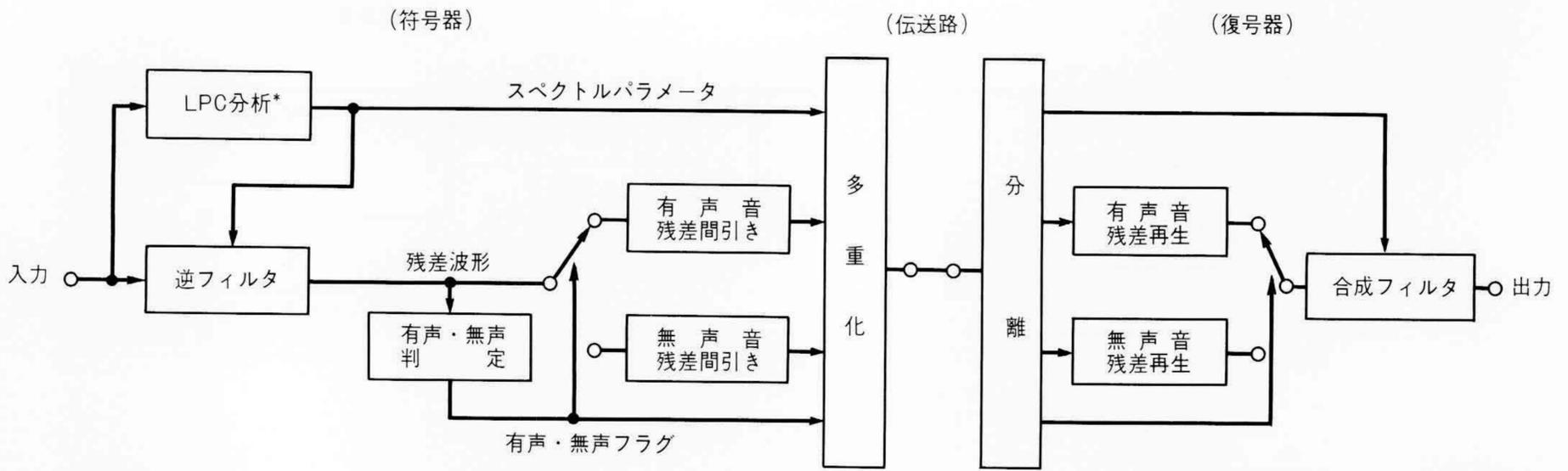
16kbps方式としては、音質とハード量の関係から中津井らによるCADM (Composite Adaptive Delta Modulation) 方式を採用した⁸⁾。図4にその概要を示す。本方式は入力波形の瞬時こう配を1ビットで量子化して伝送する適応デルタ変調方式を発展させたものである。一般の適応デルタ変調ではこう配の正負を1, 0の論理信号で表現し、かつ、この1, 0の連続度合いからこう配の絶対値を推定して、積分器のステップサイズを増減させる。これに対しCADM方式では、音声波形のこう配が速い変化と遅い変化の2種類の変化を示すことに着目し、ステップサイズの制御に短期、長期2種の適応制御手段を設けた。この結果、16kbpsでも十分な品質を実現でき、かつ4 MOPSのはん(汎)用DSP 1個で実現することができた。

(3) 8kbps TOR方式

8kbpsでは音質を維持するため、パラメータ符号化方式が

必要となるが、波形符号化と比較して処理量が多くなり、経済性が損なわれるという欠点がある。そこで品質を低下させることなく処理量を大幅に低減できるTOR (Thinned Out Residual) 方式を新開発した⁹⁾。図5に概要を示す。一般にパラメータ符号化方式は音声信号を分析して、口がい(蓋)などから構成される音響フィルタのパラメータと声帯振動に対応する残差波形を抽出し、各々独立に符号化する。この残差波形は音質を決定する重要情報であり、一般にかなり複雑な符号化手法が用いられている。日立製作所ではこの残差波形の特徴を詳細に調査し、音質に寄与する大振幅部分は時間的に偏在することを見いだした。そこで、この偏在部分だけを取り出して符号化する新方式を開発した。本手法により処理量の著しい低減が可能となり、5 MOPSのDSP 1個だけで実用化することが可能となった。品質は電話通信の必要条件を満足し、特に国際通信などでその経済効果が大きい。

図6はこのTOR方式を搭載したチャンネルカードを示すが、以上に示したすべての符号化方式は、同一寸法のカードに実装され、顧客仕様に対応した任意の組合せでHITMUXシリーズ及びHTDMシリーズに搭載可能である。



注：* LPC(Linear Predictive Coding)分析 線形予測分析のことで、音韻情報をスペクトルパラメータとして抽出する。

図5 8 kbps TOR方式 パラメータは20msごとに抽出され、これを1フレームとして音声再生される。8 kbpsのうち、スペクトルパラメータに1.6kbps、残差パラメータに6.4kbpsが割り当てられる。

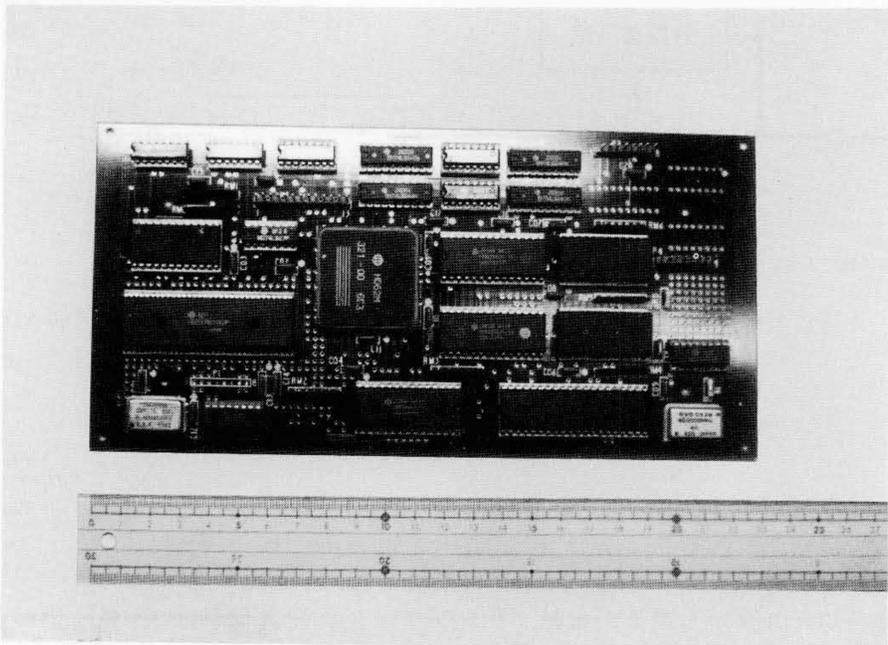


図6 8 kbps音声符号化装置の外観 本カード上には音声の高エネルギー符号化を行うDSPとエコー処理や同期処理などの通信処理を行うマイクロプロセッサそれぞれ1個が搭載されている。

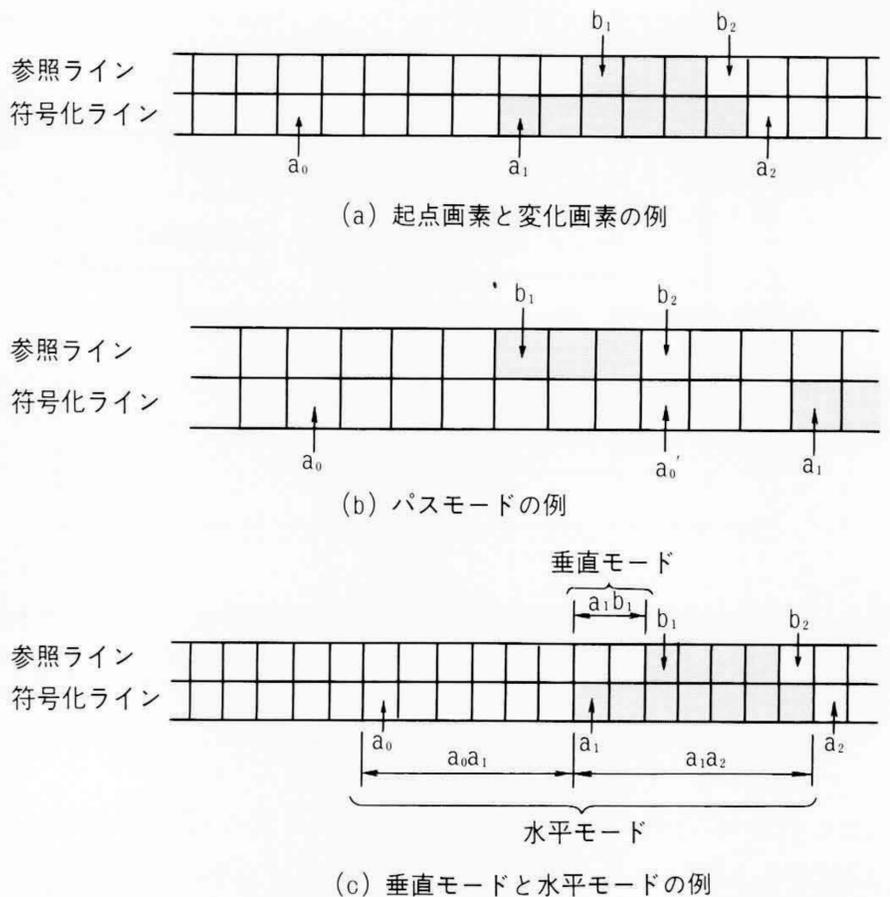


図7 MR方式における変化画素と符号化モードの定義 MR符号化方式では、四つの変化画素(a_1, a_2, b_1, b_2)に対し、三つの符号化モード(パスモード、垂直モード及び水平モード)を定義して符号化する。

3 ファクシミリ符号化技術

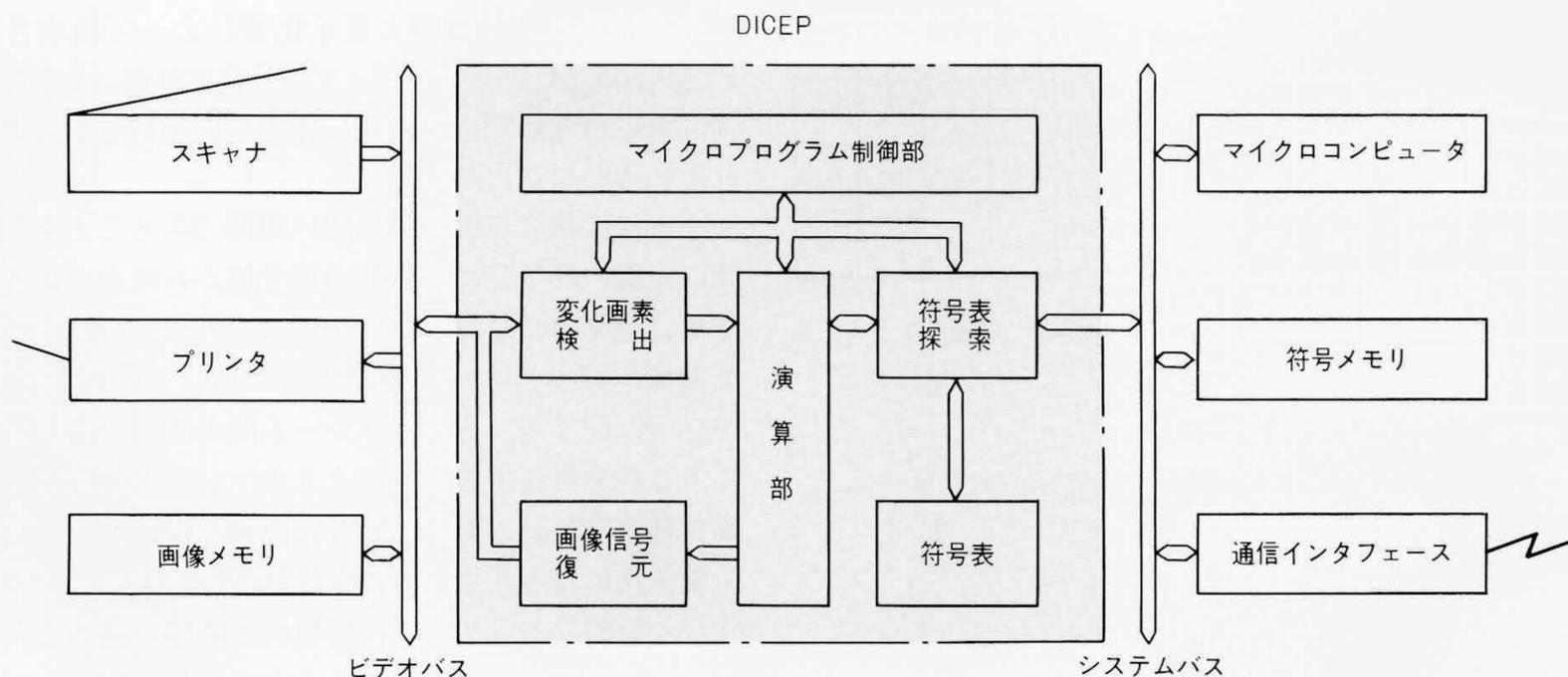
ファクシミリは文書画像を高精度に符号化するため、0.1mm角程度の小さな画素に分解し、各画素の色彩、輝度情報を抽出する。このため、A4サイズ1ページ白黒文書画像の情報量は4Mビットにもなる。このままでは画像を実用的な時間内に電送したり、効率よくファイルしたりすることが非現実的なため、大幅な情報の圧縮が必要となる。

本章では、これを実現するファクシミリ用静止画符号化方式と専用LSIの構成、及び将来の実用化が期待されているカラーファクシミリの符号化方式について述べる。

3.1 ファクシミリ符号化方式の原理

ファクシミリは国際規格で定められたMH (Modified Huffman) 方式、MR (Modified READ) 方式(G3機に適用)及びMMR (Modified MR) 方式(G4機に適用)の3種類の符号化方式²⁾を用いて、2値画像の情報圧縮を行っている。MH方式では水平走査線方向に並ぶ白又は黒の画素の連続数(ランレン

グス)を可変長符号で符号化する。また、垂直方向の線画に対する圧縮効果を高めたMR方式では、走査線上の白から黒へ、黒から白への変化画素の位置関係を、1本前方の走査線(参照ライン)での変化画素の位置からのずれで表現して情報圧縮を図る。すなわち、図7(a)に示すように、起点画素 a_0 に続いて発生する変化画素を a_1, a_2 と定義し、同様に参照ライン上の変化画素を b_1, b_2 とする。次に、これらの相対位置関係を同図(b)に示すパスモード(垂直方向の線画が終了するモード)、同図(c)に示す垂直モード(垂直方向の線画連続)及び水平モード(水平方向の線画連続)の3種類に分類し定義する。符号化は、符号化ラインと参照ラインを同時に左から右へ走査し、三つのモードのいずれであるかを識別し、定められた符号語を割り当て



注：略語説明 DICEP(Document Image Compression and Expansion Processor)

図8 DICEPの基本構成及びファクシミリシステム構成例 マイクロプログラム制御部、演算部から成るプロセッサ部と、変化画素検出などの専用ハードウェアから成るDICEPの基本構成、及びDICEPを用いたファクシミリシステム構成例を示す。

る。この符号化方式により、原稿の情報量をおよそ $\frac{1}{10}$ から $\frac{1}{30}$ に圧縮することができる。MMR方式はISDN対応のG4機に対応したもので、網のデジタル化、高速化を有効活用して更に圧縮率を高めたものである。

3.2 専用LSI

前節で説明したように、符号化処理は画素単位のビットシリアルな処理及び複雑な符号化モード判定処理が多く、マイクロコンピュータによるソフトウェア処理だけでは十分な処理速度を得るのは困難である。この問題を解決したのが図8に示す国際標準準拠専用LSI “DICEP (Document Image Compression and Expansion Processor)”である³⁾。DICEPは、MH及びMR方式の符号化・復号化処理アルゴリズムをファームウェアとして内蔵しており、16ビット幅のビデオバスによる画像メモリアクセス、16画素並列処理及びパイプライン処理などの高速化手段により、A4サイズの標準原稿を1秒以下で処理できる。図9に、DICEPを適用した日立製作所の最新形ファクシミリHF45¹⁰⁾の外観を示す。HF45は、DICEPの高効率圧縮処理により、標準原稿を9秒(当社比40%短縮)で電送できる性能を実現している。

3.3 カラー符号化方式

ファクシミリの普及に伴い、ユーザーの要求が多様化しており、中間調・カラー画像の伝送・記録能力が必要とされるケースが多くなっている。カラー画像(自然画像)は膨大な情報量を必要とするため、圧縮符号化技術が実用化のための重要な課題となり、今までに多くの方式が提案されている。ここでは、日立製作所が提案している2色ブロック符号化方式について簡単に説明する。この方式では、図10に示すように、4×4画素から成る画像の微小領域(ブロック)で本来各画素対応に16本あるべき色ベクトル(赤、緑、青の各成分から成る。)を色空間上の2本の色ベクトルで近似し、各画素がどちらの色ベクトルで表現されるかを符号化する。この方式を用いてカラ



図9 日立製作所の最新形多機能ファクシミリ DICEPを適用した日立製作所の最新形G3ファクシミリ“HF45”の外観を示す。

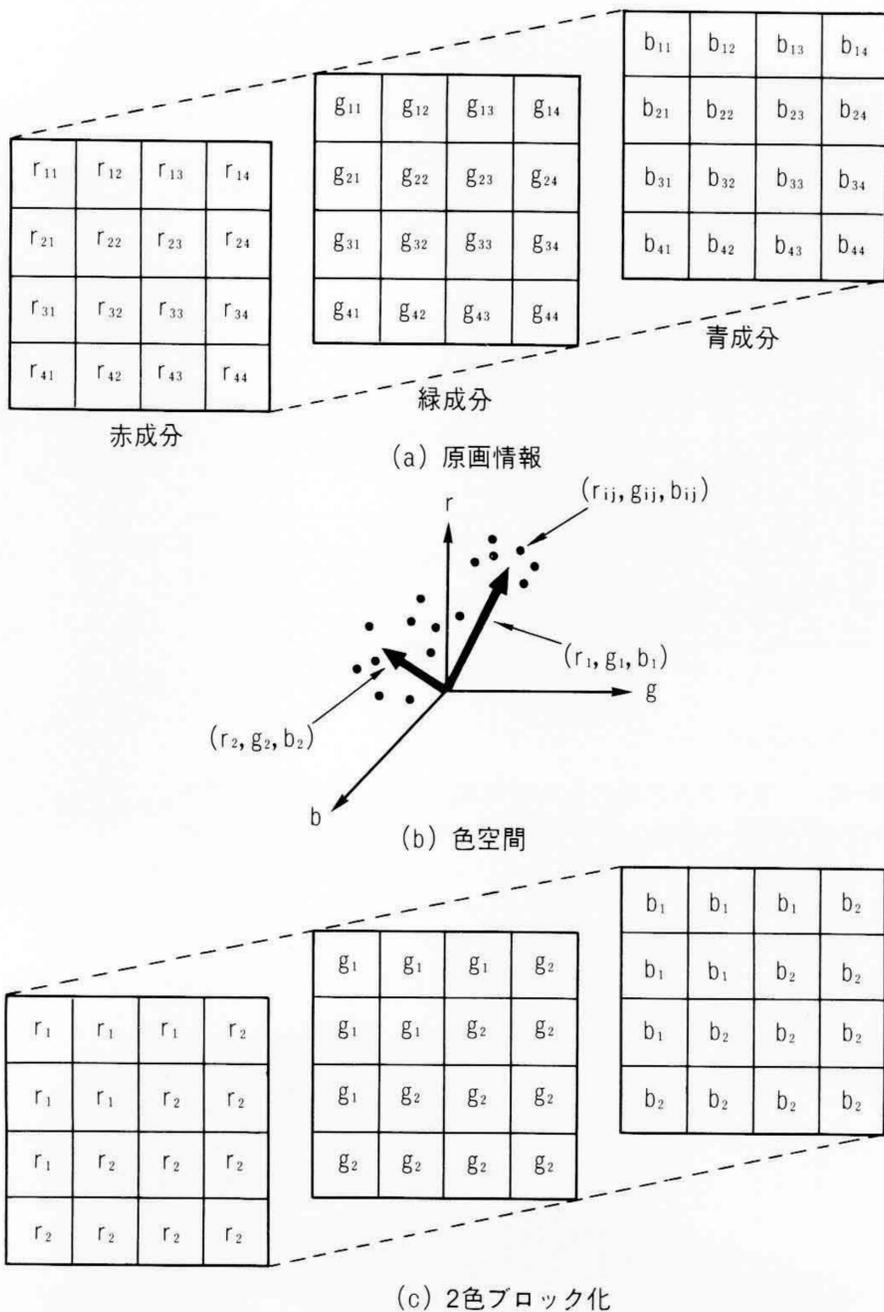
ーファクシミリを試作し、高い圧縮率(約 $\frac{1}{20}$)による高画質(16画素/mm、16階調)・高速電送(30秒/A4)を実現している¹¹⁾。

4 動画像圧縮符号化方式

デジタル通信網を利用した主要サービスの一つにテレビ会議システムやテレビ電話用の動画像通信がある。テレビジョン画像をそのままデジタル化すると約100Mbpsの高速伝送路を必要とするが、画像情報は非常に冗長度が高いため、圧縮符号化によって大幅に伝送速度を低下させることが可能となる。この目的のため各種の符号化方式が開発されているが¹²⁾、本章では画像符号化の基本原則、国際標準化動向及び日立製作所の開発状況について述べる。

4.1 動画像符号化の原理

動画像符号化方式の基本構成を図11に示す。A-D変換され



注：略語説明 r(赤), g(緑), b(青)

図10 2色ブロック符号化方式の符号化例 4×4画素から成るブロック内の各画素の色彩(16種)を、2色(r1, g1, b1), (r2, g2, b2)に代表させて表現する。

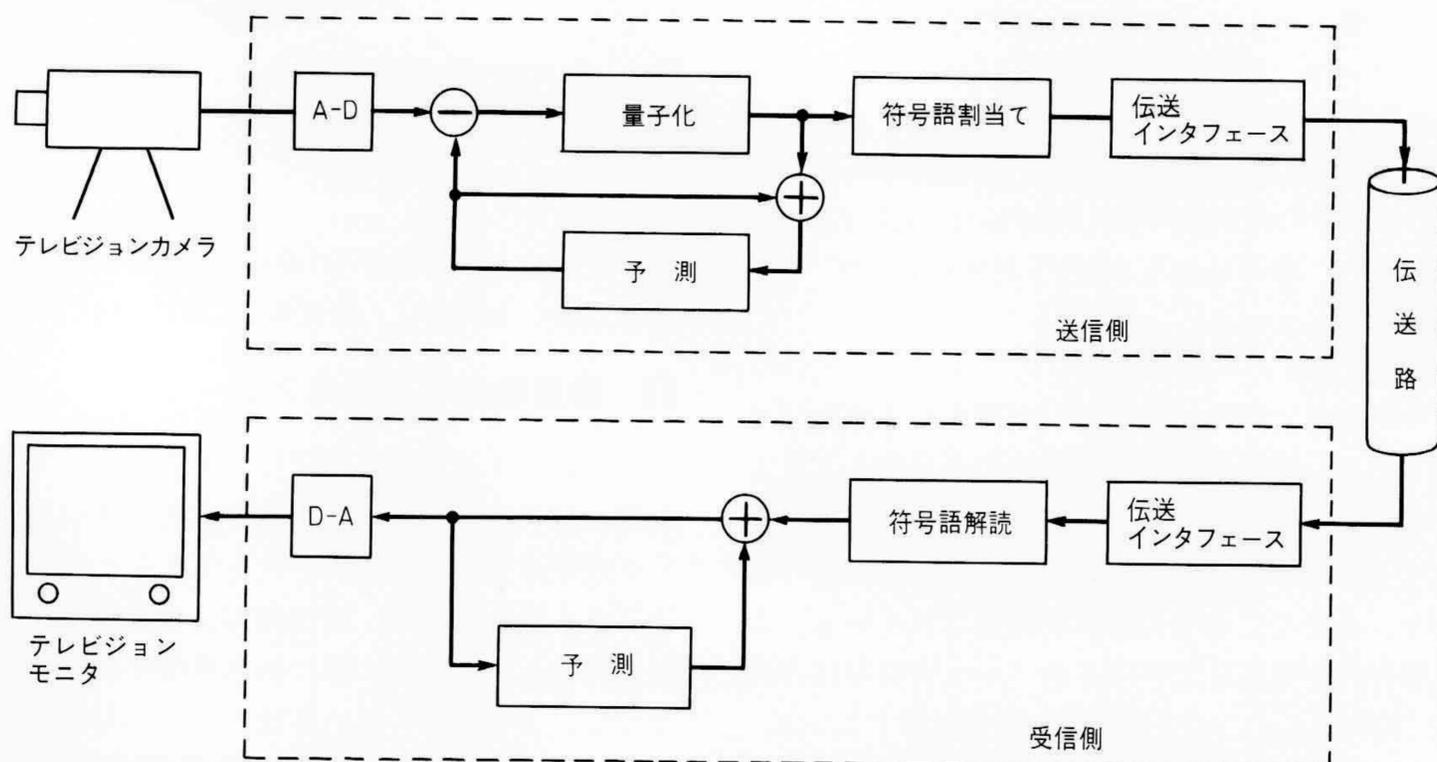
た画像信号は、予測器と量子化器によって構成される差分PCM(DPCM)符号器によって符号化される。この符号器出力は、更に符号語割当て回路によって同期信号などと多重化されて伝送路に送出される。

予測は隣接する画素間に強い相関のあることを利用して、既に走査の終了した画素群の信号値から現在の信号値を推定する。予測のやり方には、同一フレーム内の画素間だけで予測演算を行うフレーム内予測、前フレームの情報も利用するフレーム間予測、更にはフレーム間の画面の動き量を検出して、これを伝送することにより次フレームの動きを補償する動き補償フレーム間予測の3種類がある。

量子化には各画素ごとに信号値を量子化するスカラー量子化が一般的であるが、更に情報の圧縮率を高めるため、複数の画素の信号値や予測誤差をまとめて量子化するベクトル量子化の手法も開発されている。

4.2 国際標準規格の動向

上記に示した予測方法、量子化方法、符号語割当て方法などが異なると、当然のことながら相互通信ができない。そこでCCITTを中心として、国際標準化が表1に示すように進められている。すなわち、(1)1.5Mbpsクラスはわが国とヨーロッパの2本立てで規格がほぼ制定された。前者は動き補償フレーム間・フレーム内・背景適応予測とスカラー量子化の組合せである。(2)384kbps用は全世界統一規格を目指し、各国を代表する機関が委員会を構成して作業中である。動き補償フレーム間予測信号を直交変換することまでが決定し、直交変換の方法やパラメータなどを詰めて昭和63年規格制定の予定である⁴⁾。(3)64kbps用は384kbps用と同一の委員会が引き続き検討する予定であり、具体的な圧縮手法は未定である。



注：略語説明 A-D(A-D変換器), D-A(D-A変換器)

図11 画像符号化方式の一般的構成 テレビカメラで撮像された信号は、A-D変換器によりデジタル化される。そのデジタル信号は、予測回路により予測された信号と差分をとられた後に量子化され、符号語を割り当てられて伝送路に送出される。受信側はその逆の手順により、元のテレビジョン信号を復元する。

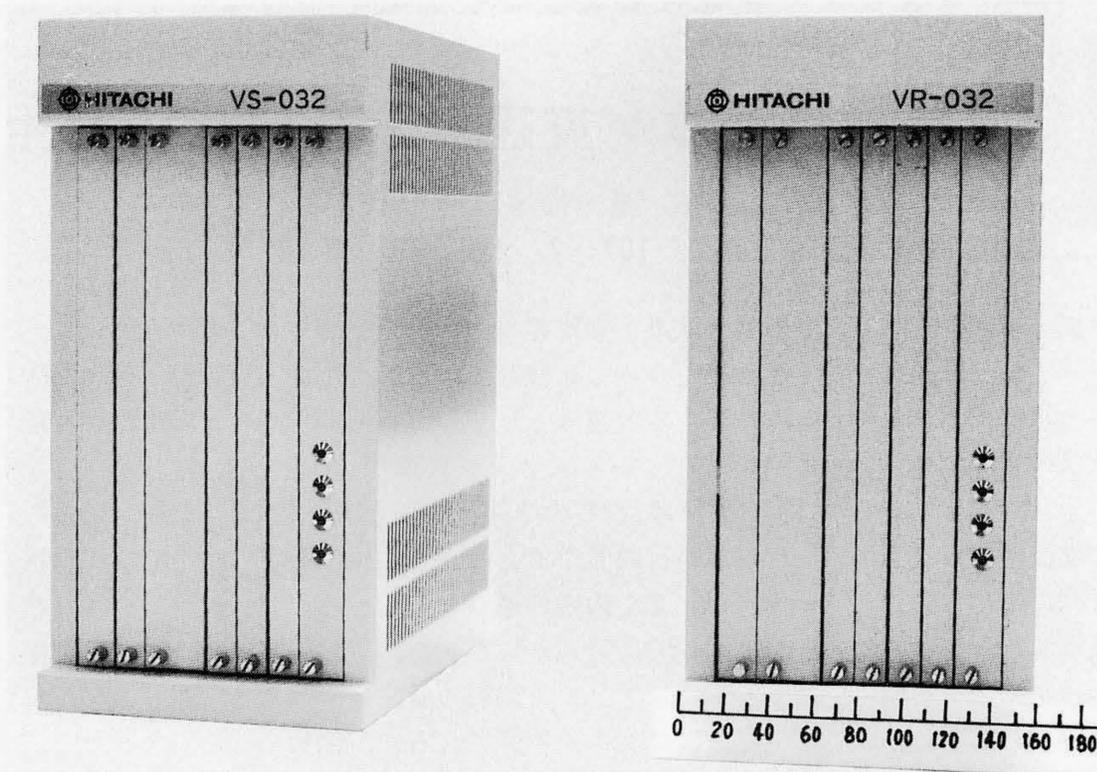


図12 32Mビット/秒用画像符号化・復号化装置 本装置により、動画像1チャンネルのほかに高品質音声2チャンネル、補助データなどを多重伝送できる。

表1 画像圧縮符号化方式の国際規格化状況 1.5Mbps～64kbps
の各種符号化方式標準化検討が進んでいる。

伝送速度	適用地域	方式	制定年
1.5Mbps	日本	フレーム内・動き補償フレーム間・背景適応切替予測	1985(内定)
2.0Mbps	欧州	フレーム間有意差画素のフレーム内DPCM符号化	1985
384kbps	全世界	動き補償フレーム間予測+直交変換	1988予定
64kbps	全世界	未定	1992ごろ

4.3 32Mbps高品質画像符号化装置

日立製作所ではテレビ会議システムへの適用を目的として1.5Mbps国際標準化方式の装置化を進めており、更により低ビットレート方式の画質向上を検討している。またこれら低ビットレート符号化方式と並行して遠隔監視などに適した独自仕様による高品質な32Mbps画像符号化装置を開発した¹³⁾。本装置は8MHzで標本化して8ビット量子化したテレビジョン信号(計64Mbps)を2次元フレーム内予測を用いて32Mbpsに圧縮するもので、予測関数を最適化することによって伝送誤りの波及を抑圧する。図12に本装置の概観を示す。本装置は動画像のほかに各フレームの帰線消去期間を利用して、2チャンネルの高品質音声や、補助データの多重伝送を可能としている。

5 結 言

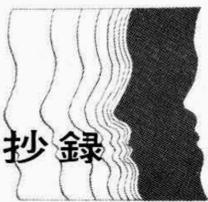
以上述べたように、日立製作所では各種の音声、画像符号化方式を実用化し、高度通信網の経済的運用に大きな効果を

挙げている。符号化方式は更に高度なデジタル信号処理技術を用いて、高品質・高能率の方向に発展してゆく。またこれらを実現するLSI技術の確立が重要となる。

日立製作所では、より使いやすく経済的な通信網の実現を目指し、これら技術の開発に積極的に取り組んでゆく考えである。

参考文献

- 岡地, 外: 日立マルチメディア多重化装置“HITMUX”, 日立評論, 68, 10, 845~848(昭61-10)
- CCITT: Recommendation T.6, Facsimile functions for Group 4 facsimile apparatus, CCITT Red Book VII, Fascicle VII, 3, 40~48(Oct.1984)
- 浜田, 外: 画像信号符号化処理LSI DICEP“HD63085”, 日立評論, 67, 8, 45~50(昭60-8)
- 山本: テレビ会議/テレビ電話のための動画像低レート符号化技術の動向, テレビジョン学会誌, Vol.40, No.12(1986-12)
- CCITT: Recommendation G.721, Red Book (1985)
- CCITT: Recommendation G.722, (1987) Report of WP XVIII/8 meeting (March 1986)
- 品田, 外: 9,600bps モデム伝送可能な32kbps ADPCM符号器, 電子通信学会技術研究報告, IN86-106(1986)
- 中津井, 外: 複合適応デルタ変調方式(CADM), 音響学会講演論文, 3-6-1(昭57-10)
- T.Miyamoto, et al.: Single DSP 8kbps Speech CODEC, Proc. ICASSP86, 33.10(1986)
- 坂田, 外: 多機能高速感熱ファクシミリ“HF45”, 日立評論, 68, 2, 65~70(昭-2)
- 犬塚: 高速・高画質カラーファクシミリ装置の開発, 電子情報通信学会総合全国大会, 1307(昭60-3)
- 吹抜: 画像のデジタル信号処理, 日刊工業新聞社刊(昭-56)
- M.Yamada, et al.: Fiberoptic Digital Video Transmission Equipment, Hitachi Review Vol.35, 197~200(1986-8)



大電流導体が貫通する金属板の発生損失

日立製作所 齊藤 達・稲垣恵造・他2名
電気学会論文誌D 107-7, 930~937 (昭62-7)

交流の大電流導体が金属板を貫通する変圧器の低圧ブッシングポケット部や、発電機リード引き出し部のターミナルボックスなどでは、時として導体近傍の金属板中で損失が集中し、局部過熱を生じさせることがある。この現象は導体の電流が作る交番磁界が金属板の両面から平行に印加され、これにより板中に大きな渦電流損を発生させるためである。そのため、このような金属板中での磁気特性や発生損失の解析は、板の両面に平行な一方向一様磁界(平行磁界と呼ぶ。)が印加されるとした条件下で行える。これまで、平行磁界中での金属板の発生損失の算定や渦電流分布の計算などが多く行われてきたが、いずれも円形金属板の中央を1本の導体が貫通するといった単純な構造での解析のものに限られているため、実際の適用を考えるといっそうの検討が必要であると思われる。

本論文では、理論と実現象の対応をより明確にすることに主眼を置き、平行磁界中

での解析結果と実器相当の大形モデルでの実測結果を詳細に比較している。大電流導体が貫通する金属板として、電力機器で通常用いられているステンレス鋼板(非磁性材)と鋼板(磁性材)の2種を取り上げ、まずこれらが平行磁界中でどのような損失特性を示すか、また両者の違いがどのへんにあるかを理論的に明らかにさせた。この解析によって、ステンレス鋼板の発生損失は板厚や周波数に大きく影響されるが、鋼板のそれは板厚に無関係であり、周波数の影響も小さいことが示された。

次いで代表的な実器構造として1本の導体が貫通する円形金属板と、3本の三相導体が貫通する方形金属板の大形モデルを製作し、渦電流や磁束分布の測定を通じて平行磁界中とした理論の適用性と、その際の評価精度について検討した。

その結果、ステンレス鋼板での発生損失は鋼板のそれに比べ $\frac{1}{1,000}$ 程度も小さく、局部過熱の防止に非常に有効であることが示

された。また、円形金属板の中央を1本の導体が貫通する場合は、金属板中を流れる渦電流が外部の磁界を乱さず、あたかも無端状ソレノイドコイルと同様な現象となるため、導体だけが存在するとした平行磁界中で損失解析を行えることが分かった。

一方、三相導体が貫通する方形金属板では、導体近傍といった限られた範囲で平行磁界とした解析でかなり正確に現象を説明できるものの、方形板の端部付近になると渦電流の集中や磁束の吸引現象によって平行磁界の条件が崩れ、評価精度が低下することも明らかとなった。

実器への適用性という面から考えると、ステンレス鋼板の発生損失が鋼板に比べ極めて小さいことから、上記のような評価精度の低下は実用上さほど障害となるものではないが、鋼板の場合には板の端部付近で実際の損失よりも過大に評価してしまう可能性があるため、注意が必要である。

ロボットにおけるAI応用

日立製作所 中野善之・亀島鉦二
日本機械学会誌 89-815, 1174~1179 (昭61-10)

ロボットは、AI(人工知能)を備えることによって原子力をはじめとする大規模プラントのメンテナンスなど、新しい分野へ応用範囲を広げようとしている。本論文は、その研究開発の現状と将来展望について述べている。

ロボットでのAIシステムは、人間の命令及び周囲の状況を理解するプロセス、並びに行動を計画し実行するプロセスから構成され、目的に応じてその重点が決められる。自律形ロボットでは推論・判断に関する知能が重視され、代表例としてマクロ命令に従い自律的に部品を組み立てるロボットがある。また、2台のカメラで撮影した左右像の対応点を効率よく探し出し、3次元形状を認識するネットワーク算法が開発されている。また、超音波レーダによるまばらなエコーから、ヒューリスティックな手法

により物体形状を認識する方法が開発されている。知覚形ロボットでは、事象を直感的に把握する機能を重視する。そのため、環境モデルによる予測画像とカメラによる検出画像とを比較し、その不一致の程度によりロボットの計画ルートからのずれを検知する方法が開発されている。

ところで、いかに高度なロボットでも作業の大枠は人間が与えるので、その知的インタフェースは重要であり、言語を介してロボットに指示を与える方法、ロボットの行動を手続きネットで表現し、予測できない事態へも対応する手法、環境を階層的に表現した移動用地図などが開発されている。

本論文では、AIロボットの具体例として、自律移動ロボットの研究成果が紹介されている。このロボットは、環境モデルと観測データとの照合から知識ベースを構成し、

これに基づいてカメラの映像を理解することによって、自律的に移動するものである。

最後に、今後の課題を展望してみる。ロボットを巧妙に動作させるには、多くの情報が必要であり、他方、人間が容易に操作するためにはロボットへの入力をより少なく限定する必要がある。このギャップを埋めるものとしてAIへの期待が大きい。特に認知科学の発展により、AIの研究はいっそう活発になるであろう。また、半導体技術の急速な進歩を背景としたセンシング及び制御技術の寄与するところも大きい。このように、知能ロボットは関連する様々な先端技術を取り入れ、実環境で本格的に行動する移動ロボットの開発期にさしかかっているとされている。