くことになるが、CAIで実施されているディスプレイの利用形態は、このような汎用的なシステムの中でもひとつのひな形として継承されてゆくことになると考えられる。

(昭和47年8月4日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 館山市教育有線テレビ放送システム, 芝電気資料 (1972.4)
- 2) 平野ほか: 小形計算機による CAI の開発, 日立評論, 53, 3 (1971) 68-73
- 3) 谷, 山根ほか: テレビジョン形式個人用 CAI 装置の番組試作と

実験, 電子通信学会教育技術研究会 (1970.11)

- 4) 中村ほか: CAIシステムの機能仕様について, 電気通信学会教育技術研究会資料 (1972.6)
- 5) D. Alpert: Advances in Computer-based Education: A Progress Report on the PLATO Program, CERL Report X-10, (July, 1969) Univ. of Illinois.
- 6) 安東: 画像データ伝送による新しい放送, 昭46年電気四学会連大予, No. 146
- 7) J. Volk: The Reston, Virginia, Test of the MITRE Corporation's Interactive Television Systems (May, 1971) MITRE Co., MTP-352
- 8) K. Stetten: TICCIT—A Delivery System Design for Mass Utilization (Oct. 1971) MITRE Co., M71-56

【特 集】画像エレクトロニクス

2-4 画像情報伝送システム

日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所

南

敏

1. ま え が き

われわれが外界から受ける情報のうち、情報量の最も多いものは視覚情報で、これにつぐものが聴覚情報であるといわれている¹⁾。それにもかかわらず、通信サービスとして広く普及したのは聴覚通信であり、視覚通信としてはテレビ放送以外には、わずかに専用線を用いるファクシミリ位しか実用に供せられていない。視覚通信の発展が遅れたのは、視覚通信に対する必要がなかったためというよりは、技術的、経済的な制約にもとづく実現困難性に、その主な原因があるものと思われる。

広帯域情報を取扱う視覚通信の経済性に対し、最も大きな関係をもつのは伝送路価格であり、これが視覚通信の発展をはばんでいたのであるが、最近における伝送技術の進歩によって視覚通信を経済的に提供しうる見通しがたつようになってきた。また、国内あるいは国際間における経済社会活動の活発化にともなう、いわゆる情報革新が進み、画像通信に対する要望が熾烈になってきている。その結果、近い将来に放送テレビ、専用線によるファクシミリ以外に、各種の画像通信サービスが実施される可能性が高まってきた。これらの新画像通信サービス項目はきわめて複雑多岐になるものと考えられるが、各サービス項目別にそれぞれ独立した通信システムを作成することは非効率であり、また不経済でもあるので、統合できるものはできるだけ統合して、すっきりとした

形の画像通信システムあるいは画像通信網を構成することが望まれる。

特に伝送方式としては、通信サービスの種類が異なっているとしても、伝送される情報信号の性質が似ていれば、同一の伝送路を通してこれらの情報を伝送できるわけで、この立場から伝送網を設計することが重要となる。ここではまず、将来の画像通信サービスについて簡単な考察を行ない、ついでそれらのサービスを提供するために用いられる各種伝送方式について述べることにする。

2. 将来の画像通信サービス

画像通信で取扱う画像情報をその動きによって分類すると、静止画像と動画像に分けることができる。また静止画像であっても、ただ1枚の画像情報が得られれば良い場合と、一連の静止画像をある時間間隔をおいて、つぎつぎに見る場合とがある。

動画像通信を代表するものは、テレビ、テレビ電話、テレビ会議方式等で、被写体は3次元動画像、再現像は3次元ないし2次元の動画像である。一方、静止画像通信を代表するファクシミリの場合、情報は1枚のシート状の紙に印刷または手書きされた原稿であり、階調を有する場合もあるが、白黒2値だけの場合も多い。最近では、ブックファクスに見られるように、厚い本や雑誌の一部を電送できるような装置もできている。さらに進んで、実物見本のような3次元静止画像を、レンズ系によって2次元画像に変換し、2次元静止画像として電送しようという要望も当然でてくるものと思われる。またス

"2-4 Transmission System for Picture" by Toshi Minami (Mushino Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, Tokyo)

ライド、マイクロフィルム等に蓄積された情報を電送する場合もある。

画像情報の蓄積は必ずしも光学的な形をとるものとは限らず、磁気テープ等に録画しておいて必要に応じて電送し、受信側で画像を再生する方式が考えられる。また画像以外の形で蓄積されている情報や、情報処理装置の内部で処理された情報の出力を、特別の変換装置によってテレビ信号あるいはファクシミリ信号に変換し、電送する方式も検討されている。

つぎに、画像通信システムにおける送信者と受信者に着目して画像通信サービスを分類すると、特定の２地点間を結ぶ１対１の専用通信、特定多数の加入者に同一内容の情報をセンターより供給する同報通信、不特定多数の加入者を対象とする放送、不特定多数の加入者相互間で情報の送受を行なう交換網を用いた公衆通信等に分けることができる。また、これらの応用として、公衆通信の加入者がセンターを呼び出し、加入者からの要求にもとづいて所望の情報を得るような通信方式も考えられる。

以上の画像通信サービスを通信網の立場から分類し、整理すると表1のようになる。このうちテレビ放送網、CATV 網については、本特集号のなかで別個に取扱われており、ファクシミリ伝送についても最近の本誌に紹介があるので²⁾、これについては説明を省略することとし、ここではテレビ電話網を主体に画像情報伝送システムについて考察を進める。

3. テレビ電話網による画像情報の伝送

テレビ電話は対面通話の実現を目的としているが、その効用を高めるために、簡単な文書の電送、小グループ

表 1 各種サービスと通信網

通信網種別	サービス項目	伝送媒体	伝送方式
テレビ放送網	テレビ放送	空 間	周波数分割
CATV網	テレビ放送	同軸ケーブル	周波数分割
	静止画像放送	〃	周波数分割 ＋時分割
テレビ電話網	対面通話	加入者線	対ケーブル
	光学応答サービス (情報案内 情報検索 ビデオ応答サービス (情報案内 情報検索 計算機出力 表示	中継線	同軸ケーブル
			周波数分割または時分割
		空間 (マイクロ波, 準ミリ波)	周波数分割または時分割
		ミリ波導波管	周波数分割 ＋時分割
静止画像通信網 (除ファクシミリ)	静止画像ハードコピー	加 入 者 線	テレビ電話網 利用またはCATV網利用
	静止画像ソフトコピー	中 継 線	テレビ電話網 利用
ファクシミリ網	一般送受信サービス, FAX 応答サービス 回線通信	一般電話網 広帯域交換網 } 利用 専用回線網	
専用回線網	テレビ会議方式, その他	サービスに応じて, それに適した伝送媒体, 伝送方式を使用	

による会議もできることが望ましいとされており、信号の帯域幅も 1~4MHz となっている。電話と比較した場合に、これは 250~1,000 倍の周波数帯域が必要なことを意味し、従来テレビ電話が普及しなかったのは、この広帯域信号を伝送する費用がきわめて高かったためと考えられる。

テレビ電話の各種伝送方式については、本誌において技術展望³⁾がなされており、また、テレビ信号の帯域圧縮伝送方式についてもすでに詳細な報告⁴⁾⁵⁾があるので、それらを参照しながら、ここでは主として経済性および品質の点から見て各種方式を比較検討してみたい。

3.1 加入者線伝送方式

音声電話の場合、電話局から加入者までは、主配線盤一き線ケーブル（2,400 対程度の多対地下ケーブル）一配線ケーブル（100 対程度の小対架空ケーブル）一端子箱一屋外線等によって接続が構成され、加入者ごとに 1 対ずつの心線が用いられている。

音声電話の場合には、数 kHz までの信号伝送ができれば充分明瞭な通話ができるとされているが、その信号を通す加入者ケーブル自体は数 MHz までの信号伝送を可能とする潜在能力をもっている。この潜在能力を利用すれば、対ケーブルを通してテレビ電話信号伝送が可能となる。ただし、音声電話の場合にはケーブルの使用効率を高めるため、固定配線法、連絡配線法、CCP 配線法等の特別の配線法を用いており、この影響で高周波伝送特性が悪くなるので、テレビ電話のような高周波信号を通ずる場合には、これら品質劣化要因を取除く必要がある⁶⁾⁷⁾。図 1 は固定配線法の説明図であるが、同図で局線 No. 6~8 は 1 号柱と 2 号柱の両地点で引出されている。このため 1 号柱のそばの加入者が No. 6 の加入線を用いたとすると、2 号柱の所でマルチプル線が枝分れしているため、ここで信号の一部が反射し妨害となる。このマルチプル線のことをブリッジタップと称しているが、その長さが 30m 以上になるとビデオ信号に対する妨害が大きくなるので、これを取除く必要が生ずる。

伝送信号の形としては、ビデオ信号をそのままの形で伝送するベースバンド伝送方式、振幅変調等のアナログ

図 1 固定配線法

表 2 加入者線伝送方式経費

ケーブル種別		0.4 mm 市内紙ケーブル	0.9 mm 市外 PEF ケーブル
項 目			
ケーブル価格相対値 (対 km あたり)		1	7
中継器価格相対値 (両方向)		21	21
中 継 間 隔 (1MHz テレビ電話)		1 km	3 km
加入者あたり 平均経費	電話用ケーブル価格 (0.4mm ケーブル使用)	1 対×2 km×1=2	1 対×2 km×1=2
	ビデオ用ケーブル 価格	2 対×2 km×1=4	2 対×2 km×7=28
	中 継 器 価 格	2 個×21=42	2 個×21× $\frac{1}{4}$ **=10.5
	総 経 費	48	40.5

* 加入者線平均距離=2 km

** 中継器数低減率

変調を用いる方式、PCM 等のデジタル変調を用いる方式等がある。アナログにせよデジタルにせよ変調器を用いる方式では変復調に費用がかかり、また変調により最高周波数が大きくなり漏話の影響を受けやすくなるため、ベースバンド伝送方式が経済性、伝送品質の両面から見て最も有利であると考えられている。ただしこの場合には、ビデオ信号の送受に各 1 対、音声の伝送に 1 対合計 1 加入者あたり 3 対のケーブルが必要となる。

加入者線伝送方式において伝送距離を制限するものは伝送損失と漏話である。伝送損失が一定値を越すと、中継器が挿入され損失が補償される。ケーブル心線径が大きくなるほど損失が減り、中継間隔はのびるがケーブル価格は増大する。表 2 はケーブル価格と中継器の相対価格を示したものであるが、中継器価格が比較的高価なのでできるだけ損失の少ないケーブルを用いて中継器数を少なくしたほうが、総合的に有利になるといえる。また、電話に比して 2 桁以上の広帯域信号を伝送しているにもかかわらず、価格は 1 桁程度の増加ですんでいることがわかる。

以上は既存の電話ケーブルを使用した場合の検討であるが、現在このほかに画像用新形対ケーブルおよび超細心同軸ケーブルの研究が進められている。後者はより広帯域の信号伝送を目的としたものである。加入者線路網としては以上の電話形の通信網のほかに、CATV 網形式のものが考えられるが、テレビ電話の場合には、上りおよび下り方向の伝送路数が同数だけ必要で、一方向伝送を主とする CATV 網ではトラフィック的に無理があり、テレビ電話用としては不相当であると判断される。

3.2 市内中継伝送方式および市外発着信回線用伝送方式

テレビ電話網構成は、現在の電話網構成とほぼ同じ形になることが想像される。図 2 は市内電話網構成、図 3

図 2 市内電話網構成

図 3 市外電話網構成

は市外電話網構成の概要で、市内網の場合、分局(端局)～分局間距離は最大約 30 km である。市外電話網で、端局と集中局の間が市外発着信回線であり、その平均距離は約 17 km である。短距離伝送用はベースバンド伝送方式が最も経済的であるが、中継数が増えると、熱雑音、レベル変動、伝送量、周波数特性等の劣化が目立つ。米国の例では、市外発着信回線の場合、片側で 100 kft、全体で 200 kft(市内中継線もこれに準じていると考えられる)まではベースバンド伝送方式を採用している⁷⁾。さらに距離がのびる場合は、次節で示す各種伝送方式の適用が望ましいものと判断される。

3.3 長距離市外中継伝送方式

(1) 最高伝送周波数

図 3 に示す集中局以上の区間に対しては多重伝送方式が用いられる。これらの区間は平均距離が長く、総括局～総括局間は平均約 800 km、総括局～中心局間は約 100 km、中心局～集中局間は約 50 km である。したがってテレビ電話網全体の工事費のうち、この区間の伝送路工事費が占める割合は 30～60% にも達し、その経済化はテレビ電話方式発展のため是非必要となる。幸い、伝送路の年経費現価は大容量方式の出現とともに低下する傾向にあり、その一例⁸⁾を図 4 に示す。同図で C-4M 方式と C-60M 方式を比較すると、年経費現価は約 1/5 に低下しているが、両方式の実用化の間には約 15 年の年月を要しており、年経費現価は 5 年で 60% に、15 年で 35% に、15 年で 20% に低下している。この低減率が

図 4 各種伝送方式の伝送路経費

今後とも持続するという保証はないが、新方式の実現により経済性が改善されることは間違いないであろう。

市外回線経費は端局価格と中継伝送路価格に大別されさらに中継伝送路価格は伝送媒体価格と中継器価格に細分できる。中継器価格は使用される部品および単位距離あたりに挿入される中継器数に比例するが、部品の進歩は中継器の性能を向上させると同時にその価格を低下させてきた。中継器を増やし伝送媒体損失を補償すれば伝送帯域幅を増やすことができるわけで、伝送方式の研究はこの線に沿って伝送最高周波数をできるだけ大きくする方向に進んでいる。

しかし、ある1つの伝送媒体が与えられた場合、いくらでも高い周波数を伝送できるというわけではなく、各伝送媒体固有の最高伝送周波数限界が存在する。対ケーブルの場合は漏話のために制限が課され、周波数分割多重伝送方式の場合には約 400 kHz (1.2 mm ϕ 搬送ケーブルによる X-60 方式)、時分割多重伝送方式の場合には約 100 Mb/s (新平衡ケーブルによる PCM-100 M 方式) が、現用中長距離伝送方式における最高伝送周波数である。ただし、ごく短距離用のものとしては、前述のテレビ電話ベースバンド伝送方式として、4 MHz までの信号伝送を行なっている例がある。

この漏話という欠点を改善したものが同軸ケーブルでこれにより伝送周波数帯域幅は一段と拡大された。同軸ケーブルによる信号伝送の場合、帯域を制限するものは雑音と伝送モードである。同軸ケーブルによる振幅変調周波数多重分割伝送方式では、熱雑音とひずみ雑音の総和が回線規格を満足するよう設計されるが、中継間隔を変化させた場合総合雑音値が最小となる点があり、これより最高伝送周波数が定まる。図 5⁹⁾ は同軸ケーブル中心導体径と最高伝送周波数の関係を求めたもので、同図右上りの直線がこれを示している。

つぎに伝送モードについてみると、同軸ケーブルによる信号伝送では一般に TEM 波を基本モードとしているが、伝送帯域を拡張して波長が短くなるとほかのモードが発生し、信号伝送が不可能となる。図 5 の右下りの直

図 5 同軸方式の多重化の限界

図 6 直線状らせんおよび誘電体内装導波管の減衰定数 (くい違い 50 μ m, 折れ曲り 0.3 mrad)

線はこの原因にもとづく最高伝送周波数の限界を示したものである。したがって、同軸ケーブルによる周波数分割多重伝送の場合には、同図の2直線に囲まれた領域を利用することができる。デジタル伝送の場合には、ひずみ雑音による影響は受けないので、モード変換による制限のみから最高伝送周波数が定まる。

上述のように同軸ケーブルは、図 5 に示すような潜在的な伝送能力を有するが、現在までのところでは周波数分割多重伝送方式による帯域幅約 60 MHz の方式が実用化されており¹⁰⁾、さらに 200 MHz 帯域をねらって研究が進められている。一方、時分割多重伝送方式では、400 Mb/s の信号伝送を目標に研究が進められている。

ミリ波導波管伝送路としては、内径 51 mm の TE₀₁ モード円形導波管が、長距離伝送線路として研究されている。TE₀₁ モードの減衰定数は周波数の 3/2 乗に逆比例して小さくなるため、理論的には伝送帯域幅は無限大であるといえるが、導波管線路の不完全性、たとえば曲り、うねり、コーナ、接続部くい違い等のために TE₀₁ モードの電磁界が崩れ、不要モードが発生し損失が増加する。図 6 は円形導波管線路の減衰特性で、現在 40~80 GHz が帯域として使用されている¹¹⁾。

空間を伝送媒体とする無線伝送路の場合には、利用する帯域幅が先に与えられているので、この帯域幅をいかに効率よく利用するかが研究課題となる。

(2) アナログ変調方式

つぎに、テレビ電話信号の変調方式について検討してみよう。まず周波数分割多重伝送方式では、振幅変調方式 (AM) と周波数変調方式 (FM) が考えられる。AM の場合には普通、帯域の有効利用をはかるため単側帯波 (SSB) 方式が用いられるが、テレビ電話の場合には比帯域が大きく、信号の中にきわめて低周波の成分が含まれており、SSB 信号を得るためには急峻な減衰特性をもつ濾波器を使用せねばならず、その際に生ずる位相ひずみを補償することが困難なので、残留側帯波 (VSB) 方式が用いられる¹²⁾。

図7 テレビ電話周波数配置案(2SMG内5チャンネル)

VSF方式において、復調側で正しい波形を再生するためには、復調用搬送波の位相を変調用搬送波の位相に正しく合わせねばならず、自動位相追尾回路が必要となる。これに対し従来より各種回路が用いられているが、大別するとパイロット信号その他を用い、これにより復調用搬送波を得る方法と、ビデオ信号の同期部分を利用して復調搬送波の位相を制御する方式とにわけることができる。

前者は、入力信号がいかなる形のものであってもこれを伝送できるが、後者の場合は同期信号をもつ波形でなければ伝送できないという制約を受ける。ただし、経済的には後者のほうがはるかにすぐれている。両者の中間の方式として、同期波形を有する信号が入ってきたときはVSF、同期信号のない波形が入ってきたときにはSSBに切替える方式も検討されている。AMVSF方式は、同軸ケーブルによるFDM方式に採用されている。図7はC-60M方式による1MHzテレビ電話信号伝送のための周波数配置図で、本方式によれば1システムでテレビ電話信号30ch分を多重化して伝送することができる。

伝送品質の点では、ビデオ3リンク、2,500kmまでの伝送が可能である¹³⁾が、図3にも示したように、将来はビデオリンク接続の必要があるので、位相ひずみ特性、レベル変動特性等を改良し伝送帯域幅も200MHz程度に広げた方式の研究が行なわれている。

FM方式はAM方式に比して帯域占有幅が広がるという欠点を有しているが、対雑音特性が良いため、フェーディングその他の原因により雑音の発生しやすいマイクロ波無線中継方式における電話および放送テレビの中継伝送には、もっぱらFM方式が用いられている。しかし、テレビ電話信号の伝送に対しては、FM方式はわずかにマイクロ波下部帯域伝送方式として採用されているに過ぎない。

図8 6GHz方式ベースバンド周波数配置

図8は6GHz方式ベースバンド周波数配置を示すものではあるが、ここで多重電話回線用のMG1(電話300ch伝送用)を取除くと、直流から約1.58MHzまでの帯域があく。ここに1MHzテレビ電話信号を挿入すれば、1無線chによりテレビ電話1chと音声電話1,500chが伝送可能となる。本方式はテレビ電話導入初期における伝送方式として期待されている¹⁴⁾。

(3) デジタル変調方式

デジタル変調方式としては各種の符号化方式が検討されているほか、帯域圧縮方式の研究も盛んに行なわれている³⁾⁴⁾。符号化方式および帯域圧縮方式決定の際、検討しなければならない点として、

- ① 中継伝送路技術の進歩により、その経費がきわめて安価になるであろう将来においても、経済的な通信網を構成できるような方式であるか
- ② その方式を用いた場合、利用者が満足する良好な画像品質を保証し得るか
- ③ PCM多次群構成の際のハイヤラーキーのひとつとして適当か

の3問題がある。中継伝送路経費はより大きな多重化、光通信路などの新しい伝送媒体を用いる方式の実用化等により格段に低減できる可能性があるが、符号器、復号器については一度決定した方式を変更することは困難で、製作技術、部品の進歩などによるわずかな経費の低減はあるとしても、大幅な経済化は期待薄である。大幅な帯域圧縮を可能にする方式は現時点ではきわめて高価であり、当面簡単な符号化方式を採用せざるを得ないので、将来、帯域圧縮方式を採用するとしても、これら簡単な符号化方式と両立性を有する方式である必要がある。

市外回線経費を V 、伝送路経費を $1\text{Mb/s}\cdot 1\text{km}$ あたり T 、テレビ電話信号を送るのに必要なビット速度を $k\text{Mb/s}$ 、伝送路長を x 、端局経費を $f(k)$ とすれば、

$$V = f(k) + kxT \quad (1)$$

となる。 k の値は画品質(符号化装置の特性)から、また T は伝送方式により定まる。 x は市外回線の平均長を用いればよく、これはテレビ電話のトラフィック状況によって定まるが、ほぼ200km程度といわれている。 $f(k)$ は k に対して減少関数となる。 f および T の推定は困難であるが、大胆な仮定のもとに各種方式につ

図 9 伝送経費

き試算した結果を図 9 に示す¹⁵⁾。

PCM 方式は信号波形の標本値を符号化する方式で、テレビ電話信号帯域を 1MHz とした場合、標本化周波数は約 2MHz となる。符号化ビット数を少なくすると量子化雑音が目立つので、6～7 ビット程度の符号化ビット数が用いられている。DPCM 方式は信号波形の標本値と隣接標本値の差を符号化する方式であるが、原理的に見て特性が信号の性質により大きく影響を受け、画像信号のように相関の強い信号に対しては PCM 方式よりもすぐれた特性が得られ、伝送帯域幅を節約できる可能性がある。

また ΔM 方式は比較器、パルス変調器、積分器等の簡単な回路で符号器、復号器を構成できるため、古くから研究されている。符号化による画質劣化としては、量子化雑音、偽輪郭、エッジビジネス、勾配過負荷雑音等、アナログ方式とは異なった現象があらわれ、符号化方式の種類によってもまた劣化の仕方が異なる。これらを相互比較することは、なかなか困難であるが、図 10 に 1 MHz テレビ電話の信号を各種符号化方式に通した場合の画像品質を示す¹⁶⁾。図の縦軸は平均評点で、各数字は下記カテゴリー¹⁷⁾に対応する。

5. 画質劣化がまったく認められない。
4. 画質劣化はわずかに認められるが妨害とはならない。
3. 画質劣化が認められ、わずかに妨害となる。
2. 妨害となる。
1. 非常に妨害となる。

なお、図中で同期としてあるのは、標本化周波数をテレビ電話信号の水平同期周波数の整数倍に同期させた場合のデータである。平均評点 4 以上を得るためには、DPCM 同期でクロック周波数 8MHz 以上、DPCM 非同期、 ΔM で 10MHz 以上、PCM 同期で 11MHz 以

図 10 DPCM, ΔM , PCM の品質比較

上を必要とする。平均評点 3 でよければ、クロック周波数は約 1.5MHz 少なくてもすむ。ただしこれはビデオ 1 リンクの区間を通したときの品質であり、実際には図 3 にも示すように最大 7 リンク構成となる可能性もあるので、その場合には DPCM で 12MHz 以上、 ΔM で 16MHz のクロック周波数が必要となってくる²⁾。

上述のように、テレビ電話信号のデジタル伝送方式について各種の検討が進んでいるが、超高速 PCM 伝送路として実用されているものがないため、実際にテレビ電話信号をデジタルで送っている例は少ない。ここでは実験的に使用されている 2, 3 の例をあげてみたい。

PCM-100 M 方式は、1.2mm 径の PEF 絶縁平衡ケーブルを通して、クロック速度 97.58Mb/s のパルスを伝送する方式で、電電公社の武蔵野電気通信研究所と日比谷本社の間を結ぶ実験回線として使用されている¹⁸⁾。1MHz テレビ電話信号伝送用に、12Mb/s の ΔM 方式および標本化周波数約 2.4MHz、符号化ビット数 5 の DPCM 方式とを備えている。有線伝送路を用いる方式としてはこのほかに、同軸ケーブルによるよりクロック速度の早い方式が検討されているが、実用には供せられていない。

無線 PCM 方式としては、武蔵野電気通信研究所と茨城電気通信研究所を結ぶ 2GHz 帯デジタル中継実験回線がある。2GHz 帯は 2.11GHz から 2.3GHz までを用い、6 無線 ch がとれるが、この実験回線では 2122.5MHz および 2213.5MHz により、64Mb/s のパルス伝送を行なっている。すなわち 16Mb/s のパルス列 2 系列により 4 相位相変調を行ない 32Mb/s の伝送を実施しているが、さらに、水平偏波と垂直偏波を利用することにより 64Mb/s の伝送容量を得ている¹⁸⁾。本方式では、1MHz テレビ電話信号は標本化周波数 2MHz×符号化ビット数 7=14Mb/s の PCM 信号として伝送されている。

図 11 PCM ハイヤーキー案

また 4MHz テレビ信号はビット速度 30Mb/s の ΔM 信号として伝送されている。

ミリ波導波管通信方式関係では、茨城電気通信研究所と水戸報話局の間約 23km の区間で実験が行なわれている。この方式は 43~87GHz の周波数帯域を A, B, C, D の 4 周波ブロックに分割して A・B を上り、C・D を下りに用いて、1 本の円形導波管で双方向伝送を行なうものである。各周波数ブロックにはおのおの 13 個の搬送波を配置し、各搬送波ごとに 4 相位相変調により約 800Mb/s のデジタル符号を伝送している¹⁹⁾。

PCM 方式のハイヤーキーについては、音声伝送の立場から種々の検討がなされているが、今後はテレビ電話をはじめ各種新サービス信号の伝送をも考慮に入れて検討する必要がある。図 11 はハイヤーキーの一案で、音声伝送の立場からは PCM 2 次群のビット速度を 6Mb/s にしたいとの要請があり、同期符号化 DPCM 方式等がこの意味からは有望であろう。

(4) デジタル統合方式

前節でビデオ 7 リンクの伝送を行ない、しかも良好な画像品質を得るためにはビット速度をかなり高くする必要があることを述べた。しかしながら、符号化された信号を原信号の形に戻さずデジタル信号のままに交換し受信端末ではじめて復号するようにすれば、符号化、復号化にともなう品質劣化の累積を避けることができる。これがデジタル統合方式である。

ただし、一般に時分割多重 (TDM) 法送方式は独立同期方式をとっているため、たとえば図 12 において A, B 両集中局と中心局を結ぶ回線のデジタル信号のクロック数は異なっている。したがって、中心局でこれをパルス列の形のままで交換し、総括局へ向けて多重化信号として送り出すためには、中心局において何らかの手段により、両信号のクロックを同期させてやる必要がある。時分割多重化装置に用いられる同期方式のひとつにパルススタフ同期方式がある。本方式は、多重化装置に入力する信号の速度よりも出力信号のデジタル速度を高くとって置いて、同期をとるために余分のパルスを挿入付加する方法である²⁰⁾。

また別の方式として、平衡相互同期方式がある²¹⁾。これは各局にそれぞれ独自のクロックをおき、このクロック周波数がその局に入ってくるすべての入力周波数の平均値になるように設定する方式である。したがって、網の一部に障害があっても全体に影響は及ばないという特長を有する。しかし、網が小数局から大規模なものへと発展したときの問題とか、システム全体を安定に動かすためにはどうすべきか等の点で、今後とも研究を要するといわれている。

さらに、最近提案されている方式として、準同期方式²²⁾がある。センターに基準クロックを設け、従属局ではこれをうけてクロック同期回路を働かし、その出力によりさらに下位の局の制御を行なう方式である。クロック分配系に障害が生じれば従属局の発振器は自走するよう

図 12 デジタル統合方式

図 13 ピクチャホン網

になっている。自走時の発振周波数確度を 10^{-7} とすれば、同期崩れにもとづくパルス喪失あるいは余剰パルスの挿入等は 1 sec に 1～3 回程度となり、画品質が劣化する。クロック分配系をできるだけ網状構成とすれば障害時間率を小さくできる。

どの同期方式がすぐれているかは経済性、品質等、考慮すべき要因が多く、現段階ではきめがたい。

これらの技術を用いた、デジタル統合網の一例を図 13 に示す。これは AT&T により提案された方式で、網はアナログ部とデジタル部に大別されており、全国主要都市を結ぶデジタル網は 1970 年代の後半に実現される予定である。

わが国においては、テレビ電話サービスはようやくその緒についた段階であり、将来の通信をデジタル網とするかアナログ網とするかは目下検討中であり、将来有望と見られる方式について、幅広く研究が行なわれている。

4. 静止画像通信網による画像情報の伝送

テレビにおいては動きの不連続による不自然さをなくし、ちらつきを減らすために、1 sec に 30 枚の画像を伝送している。しかし、もともと動きのない書画やスライド等を伝送する場合には、1 sec に伝送する画像枚数を減らしても動きの不自然さはなく、伝送経費を格段に安くすることができる。

そのひとつとして静止画放送の構想が NHK より発表されている²³⁾。本方式では、1つの番組に対し、たとえば 10 sec に 1 回の割合で画像を送るとすれば、10 sec 当り 300 種の画像の伝送が可能になることを利用している。すなわち、毎フレーム違った画像を伝送し、受信側では各フレームにつけられた識別番号によって番組を識別してそのフレームをとり出し、アダプターを介して、通常のテレビモニター上に表示させようという方式である。

このような静止画像伝送方式は放送以外にも適用分野が多く、テレビ電話網を通してフレームごとに内容の異なる静止画像伝送を行なおうという提案もある²⁴⁾。また

テレビ電話のオプションとして、送信側で走査を低速走査に切り換え、走査線数を 1,000 本以上に増加して精細画像を伝送しようという試みもある²⁵⁾。

これらの方式で取扱われる信号は、いずれも数百 kHz からビデオ帯域にわたる周波数成分を有しており、静止画像放送の場合は別として、それ以外の情報はこれを独立の通信網によりサービスするよりも、テレビ電話中継網を通して伝送するのが有利と考えられる。その場合に、信号の性質に起因するいくつかの問題点が生ずるが、それについて簡単に考察してみたい。

4.1 デジタル変調方式

テレビ電話信号をデジタル変調する場合、信号の性質を利用してできるだけ少ないビット速度で通信を行なおうとしている。DPCM、 ΔM では信号標本値間の相関を利用しており、PCM 方式に比してかなりの帯域圧縮効果がある。静止画像でもテレビ電話信号と同じ性質をもっている信号に対しては圧縮効果が期待できる。しかし低速走査による精細画像伝送のような場合にはこれがあてはまらず、高々最高伝送周波数 500 kHz 程度の信号しか伝送できない。また、フレーム間相関を利用した帯域圧縮方式は、フレームごとに異なった静止画像を伝送できないのは当然で、この方式の採用可否については今後とも慎重な検討を必要としよう。

4.2 アナログ変調方式

AMVSB 方式として、テレビ電話の同期信号を用いて復調用搬送波の位相制御を行なう方式では、同期信号をもたない形の静止画像信号が入ってきたときは伝送不可能となる。これを解決する方法として、パイロット等を用いる位相制御方式を採用すればよいが、この方式は経済性の点で劣るという欠点を有する。これを防ぐ意味で図 14 に示す VSB・SSB 切換え方式を採用すると、SSB 方式に切換わったとき直流伝送ができなくなる。直流伝送するためには図 15 に示すように、あらかじめ端末で変調をかけておく必要がある。

しかるに前節に述べたように、 ΔM 、DPCM 等の方式では高々 500 kHz 程度の信号伝送しかできないため、1つの通信網の中にアナログ変調方式とデジタル変調方式が混在する場合には、端末から伝送する信号の最高周波数は 500 kHz 程度に押える必要がある。この制約から、端末における変調用搬送波の周波数は 250 kHz 以上に選定できなくなり伝送可能な最高周波数も約 250 kHz となる。

図 14 VSB・SSB 切換方式

図 15 アナログ・デジタル混合網による画像情報伝送

以上を要約すると、テレビ電話と静止画像とを同一の通信網で伝送する場合には、テレビ電話信号としては約1MHzまでの信号伝送、それ以外の形の静止画像信号としては約250kHzまでの信号伝送が可能となる。なお、テレビ電話用にフレーム間相関を用いた帯域圧縮方式を用いた場合には、伝送し得る静止画像の最高周波数はさらに小さくなる。

5. む す び

以上、画像情報の伝送システムにつき、テレビ電話伝送方式を中心に説明を行なった。ただ最近における画像工学の発展に対応して、画像情報伝送システムについて本誌をはじめ各種学会誌、技術雑誌にいくつかの解説がでているので、これらと重複しないよう、経済的な考察もとりいれて、できるだけユニークな解説を行なうようつとめた。CATV、ファクシミリ、テレビ帯域圧縮伝送方式等については、意識して重複をさけたので、巻末の文献を参照して技術的な点を補なっていたらと思われる。

(昭和47年7月18日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 林 龍雄: テレビジョンの新応用, 電気書院 (1965) 9
- 2) 麻生 哲: ファクシミリ伝送方式, テレビ誌, **26**, 4 (1972) 300-307
- 3) 南 敏: 新サービス情報伝送方式, テレビ誌, **25**, 6 (1971) 434-445
- 4) 福島邦彦: テレビジョン信号の帯域圧縮, 信学誌, **53**, 3 (1970)

- 332-344
- 5) 大森 喬: 画像通信における帯域圧縮の現状, 第2回画像工学コンファレンス資料 2-1 (1971)
- 6) 石原藤夫: 分岐加入者路線の新サービス信号に対する適応限界について, 通研実報, **19**, 4 (1970) 903-920
- 7) J.M. Brown: Baseband Video Transmission on Loops and Short-Haul Trunks, BSTJ, **50**, 2 (1971) 395-425
- 8) 日本電信電話公社: 電気通信自主技術開発史 (搬送電話編) (1972) 631
- 9) 熊谷伝六: 有線通信の変ぼう, 通研実報, **17**, 9 (1968) 1723-1743
- 10) 熊谷伝六: C-60M方式, 通研実報, **20**, 5 (1971) 1039-1040
- 11) 小口文一: ミリ波通信方式の研究, 通研実報, **16**, 8 (1967) 1437-1485
- 12) 森下智二ほか: カラーテレビジョン映像変換装置の実用化, 通研実報, **20**, 5 (1971) 1219-1246
- 13) 森下智二ほか: テレビ電話映像変換装置の設計, 通研実報, **20**, 10 (1971) 2231-2254
- 14) 矢野常俊ほか: 東京へ大阪間テレビ電話伝送試験結果報告, 施設, **22**, 9 (1970) 119-124
- 15) CCITT, SpD, TD-2: Encoding and Decoding Method for Visual Telephone Signals (1971)
- 16) 小林幸雄: テレビ電話画像品質の評価, 信学会画像研資 (1972年8月発表予定)
- 17) CCIR: Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures, Report 405-1-New Delhi (1970)
- 18) 通研月報, **25**, 6 (1972) 12-19
- 19) 通研月報, **25**, 1 (1972) 8-13
- 20) 庄司茂樹ほか監訳: 伝送システム, ラテイス社 (1971) 685-687
- 21) 大和淳二ほか: PCM 交換における平衡相互同期, 通研実報, **16**, 10 (1967) 2013
- 22) 近藤昭二ほか: 準同期デジタル通信網の提案, 信学会方式研資, CS 71-96 (1971)
- 23) 山根久吉ほか: 静止画像実験システム, NHK 技研月報, **15**, 1, (1971) 12-17
- 24) 大和淳二ほか: 静止画像伝送網の構成法, 昭47年信学全大予, No. 1529
- 25) 大久保栄ほか: テレビ電話用精細画像送信装置に関する実験, 昭47年信学全大予, No. 1763