

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	デジタル伝送系の同期方式とマルチポイント通信への応用に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	若原俊彦
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第3189号, 授与年月日:1998年5月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第3189号, Conferred date:1998/5/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

デジタル伝送系の同期方式とマルチ
ポイント通信への応用に関する研究

平成10年

若原俊彦

目次

第1章 序論

- 1. 1 研究の背景 1-1
- 1. 2 研究の目的 1-5
- 1. 3 研究の内容 1-7
- 参考文献 1-9

第2章 ベースバンド系伝送システムとその同期方式

- 2. 1 まえがき 2-1
- 2. 2 デジタルデータ加入者線伝送方式の概要 2-1
 - (1) 機能分割とLSI化の考え方 2-2
 - (2) CCVの機能 2-4
- 2. 3 タイミング位相同期方式とその特性 2-4
 - 2. 3. 1 タイミング抽出の原理とDPLLの構成 2-5
 - 2. 3. 2 ジッタの解析 2-8
 - (1) 入力ジッタ幅が $2\theta_1$ 以下の場合 2-8
 - (2) 入力ジッタ幅が $2\theta_1$ を超える場合 2-11
 - (3) 解析例 2-13
 - 2. 3. 3 カウンタ段数切替型DPLLの設計 2-15
 - 2. 3. 4 実験による評価 2-16
 - 2. 3. 5 誤り率特性 2-18
 - 2. 3. 6 LSI化DSUの評価 2-18
- 2. 4 まとめ 2-19
- 参考文献 2-20

第3章 キャリア系伝送システムの同期方式

- 3. 1 まえがき 3-1
 - 3. 1. 1 PCM-FDM変換装置の構成および動作 3-2
 - 3. 1. 2 従来の自動位相制御方式との比較 3-3
- 3. 2 タイミングおよびキャリア自動位相制御方式 3-4
 - 3. 2. 1 自動位相制御方式とその原理 3-4

(1) タイミング自動位相制御方式	3-5
(2) キャリア自動位相制御方式	3-6
3. 3 自動位相制御方式の解析	3-7
3. 3. 1 多値伝送系の動作解析	3-7
3. 3. 2 タップ重み情報による位相制御	3-11
(1) 奇数タップによる個別位相制御	3-11
(2) 奇数タップと偶数タップの双方によるキャリア位相・タイミング位相 の同時制御	3-13
3. 4 実験とその評価	3-19
3. 4. 1 1タップによるキャリア位相制御とタイミング位相制御	3-20
3. 4. 2 共通最適化による自動位相制御軌跡	3-22
3. 4. 3 伝送ひずみがある場合の位相制御特性	3-24
3. 5 まとめ	3-27
参考文献	3-27
第4章 マルチポイント通信系の同期方式とその応用	
4. 1 まえがき	4-1
4. 1. 1 映像信号のフォーマット	4-1
4. 1. 2 色位相変換方式	4-2
4. 1. 3 多地点間テレビ会議システム	4-4
(1) 多地点間テレビ会議サービスの条件	4-4
(2) 多地点間テレビ会議制御装置の機能と構成	4-5
(3) 多地点間テレビ会議システムの構成とその評価	4-7
4. 2 マルチポイント通信応用システム1 (マルチグループ通信システム)	4-8
4. 2. 1 マルチグループ通信の概要	4-9
(1) グループの分割法	4-10
(2) マルチグループ通信の形態	4-10
(3) マルチグループ通信の構成要素	4-12
(4) ネゴシエーション	4-13
(5) 結合度に対応したメディア処理法	4-14
(6) 通信制御法	4-15
4. 2. 2 マルチグループ通信システムの構成法	4-16

4. 2. 3	マルチグループ通信方式の評価	4-21
(1)	コネクション利用率	4-21
(2)	メンバ間結合度	4-22
4. 2. 4	あとがき	4-25
4. 3	マルチポイント通信応用システム2 (遠隔講義システム)	4-26
4. 3. 1	遠隔講義サービスに対する要求条件	4-27
(1)	利用者の条件	4-27
(2)	システム構成条件	4-28
4. 3. 2	質問者切替型遠隔講義システム実現の課題	4-30
(1)	質問者切替型遠隔講義システムの概要	4-30
(2)	システム実現に当たっての課題	4-30
4. 3. 3	遠隔講義システムの実現法	4-31
(1)	2サーバによる実現	4-31
(2)	予約管理機能の導入	4-31
(3)	映像・音声リアルタイム伝送	4-32
4. 3. 5	回線設定方法	4-32
(1)	コネクションの使用法	4-32
(2)	ATMコネクション設定方法	4-35
(3)	遠隔講義サービスの回線設定法	4-36
4. 3. 6	システム構成方法	4-38
(1)	回線設定サーバの構成	4-38
(2)	講義サーバの構成	4-39
(3)	受講端末の構成	4-41
4. 3. 7	システムパラメータの設定	4-42
(1)	映像・音声系のパラメータ設定	4-42
(2)	ATMパラメータ設定法	4-43
4. 3. 8	遠隔講義サービスの実験とその特性	4-44
(1)	ATMコネクションの設定	4-44
(2)	映像および音声パケット転送特性	4-45
4. 3. 9	あとがき	4-49
	参考文献	4-49

第5章 結論 5-1
謝辞 5-4
発表論文

第1章 序 論

1. 1 研究の背景

デジタル伝送方式の開発は、1965年にPCM (PCM : Pulse Code Modulation) -24方式が商用化されて以来、その品質の良さと経済化が可能であることから電話サービスの近距離伝送方式として普及が進んだ。また、デジタル電話網の長距離伝送系への適用を目指してデジタル伝送方式の高速化および大容量化の研究実用化が進められ、75年にはPCM-100M方式 (PCM 4次群) が、77年にはPCM-400M方式 (PCM 5次群) の実用化研究が行われ、NTTの基幹伝送路に導入された。さらに、データサービスを中心に非電話系のファクシミリ、画像など帯域圧縮した中小容量のデジタル信号を伝送するデジタル伝送路の早期建設の要求が70年代の前半から大都市などで高まってきた。

一方、アメリカのベル電話研究所 (AT&T) でも、テレビ電話用の伝送路としてL-4同軸方式のMG帯 (MG : Master Group、音声600チャンネルの主群帯域 (日本のMG帯域の2倍)) を用いてPCM2次群6.312Mb/sのデジタル信号2チャンネルを伝送する主群デジタル伝送方式 [1-1] が研究され、符号形式としてクラスIVのパーシャルレスポンス符号 (1を1、0、-1の符号に変換する) を用いて、単側帯波 (SSB : Single Side Band) 変調方式により8値相当のデジタル信号を15値で伝送する方式 [1-2] の開発が進められていた。この方式では直流周波数とナイキスト周波数の信号成分が抑圧できるので、これらの周波数にパイロット信号を重畳して伝送するのに都合が良いが、約2倍の多値数が必要となって伝送路の雑音特性 (S/N) が3 dB劣化する欠点を有していた。

これらの状況を考慮し、NTT電気通信研究所では70年頃から、C-12M方式など周波数分割多重伝送するFDM (FDM : Frequency Division Multiplex) 伝送路を用いてPCM信号を伝送するPCM-FDM伝送方式の実用化研究が開始された [1-3] 。

このPCM-FDM伝送方式の実現にあたって、以下の各種新技術が開発され、実用化が進められた。

1) パーシャルレスポンス符号の代わりに通常の多値信号を用いるが、直流およびナイキスト周波数近傍の多値信号成分を抑圧するため、平衡符号化および積分値制御などの符号変換 [1-4] を行う。この変換は、受信側で復調する際のキャリア信号および多値識別する際のタイミング信号に必要なパイロット信号として多値信号に重畳して伝送する際の信号抑圧を果たすものである。また、変調方式としては、整形フィルタの実現性を考慮し残

留側帯波（VSB : Vestigial Side Band）変調方式を用いる。

2) 多値伝送で問題となる伝送ひずみによる符号間干渉を取り除くため、符号間干渉の絶対値和を最小化するゼロフォーシング（ZF: Zero Forcing）アルゴリズムによるタップ重み付遅延線を用いた適応型の自動等化器が開発された。このZF型自動等化器を用いる場合、伝送ひずみが大きくなって等化前の符号間干渉の絶対値和が大きい場合には引き込みが不可能となるので、正しい誤差情報だけを用いて等化する最大誤差極性法が考案され、引き込み特性の改善がはかられた [1-5]。

3) 上記の自動等化器が最適に動作するためには、復調キャリアの位相および多値識別時のタイミング位相の2つの位相が同時に最適位相に設定される必要がある。ここで、自動等化器のタップ重み量にはキャリアの位相偏差とタイミング位相偏差が含まれることに着目して、抽出したパイロット信号の位相をタップ重み量により最適位相に制御する自動位相制御方式が考案され、PCM 1次群用のPCM-FDM伝送方式に適用された [1-6]。しかし、この方式ではFDM伝送路の遅延特性などにより波形ひずみが大きくなると、タップ重み量も伝送ひずみの影響を受けて位相制御が不可能となる場合があることが判明した。特に、PCM 2次群用のPCM-FDM伝送方式の場合には1 MG帯域全体を用いるので、MG通過フィルタの影響を大きく受け、キャリアおよびタイミング自動位相制御方式の引き込み特性の改善が必須であった。

このように、ポイント・ポイント通信におけるキャリア系の同期方式に関しては、伝送ひずみが大きい場合にも制御可能な復調キャリアの位相および識別タイミングの位相の自動制御方式の実現が求められていた。

また、ベースバンド伝送系における同期方式に関しては、デジタルデータ通信網の加入者線伝送方式のタイミング抽出回路を中心に述べる。データ通信サービスに対する需要が1970年代後半に増大し、1978年に高品質で経済的なデータ専用線サービスを提供するデジタルデータ伝送方式が商用化された [1-7]。この専用線サービスは、相手端末が固定しており用途が限定されていたので、一般の電話網の様な交換接続に対する要望が高まり、引き続き交換型のサービスとして、79年にデジタルデータ交換網の回線交換方式が、80年にパケット交換方式が商用化された。これにより、任意の端末との交換接続が可能となり、また電話網を用いたモデム通信よりも接続時間が短縮され、高速で高品質な伝送が可能となった。しかし、この加入者線伝送方式では、交換モードの違い、伝送速度の違い、インタフェースの違いなどにより複数種類の伝送装置を準備する必要があり、量産効果が期待できず高価であった。デジタルデータ通信サービスの普及を図るため、コス

トの中で大きな比重を占める加入者伝送区間の経済化が急務とされた。この経済化を達成するため、NTT電気通信研究所では、従来個別部品で構成されていた加入者伝送装置類をLSI化し、共通化および汎用化による量産効果による経済化および小型化を図るのが最適と判断し、この方式に用いられる宅内回線終端装置（DSU：Digital Service Unit）と局内回線終端装置（OCU：Office Channel Unit）のLSI化の研究を進めた。また、この加入者線伝送方式では、受信側のタイミング抽出回路で取り出したタイミング信号には、網制御コードなどに起因するパターンによってジッタが発生し、再生時の誤り特性の劣化要因となっていた。このため、このパターンジッタを軽減するタイミング抽出回路の実現が求められていた。

ここで、上記キャリア系のPCM-FDM伝送方式とベースバンド系のデジタルデータ加入者線伝送方式の構成図を図1-1に示す。同図は、データ、ファクシミリおよびテレビ

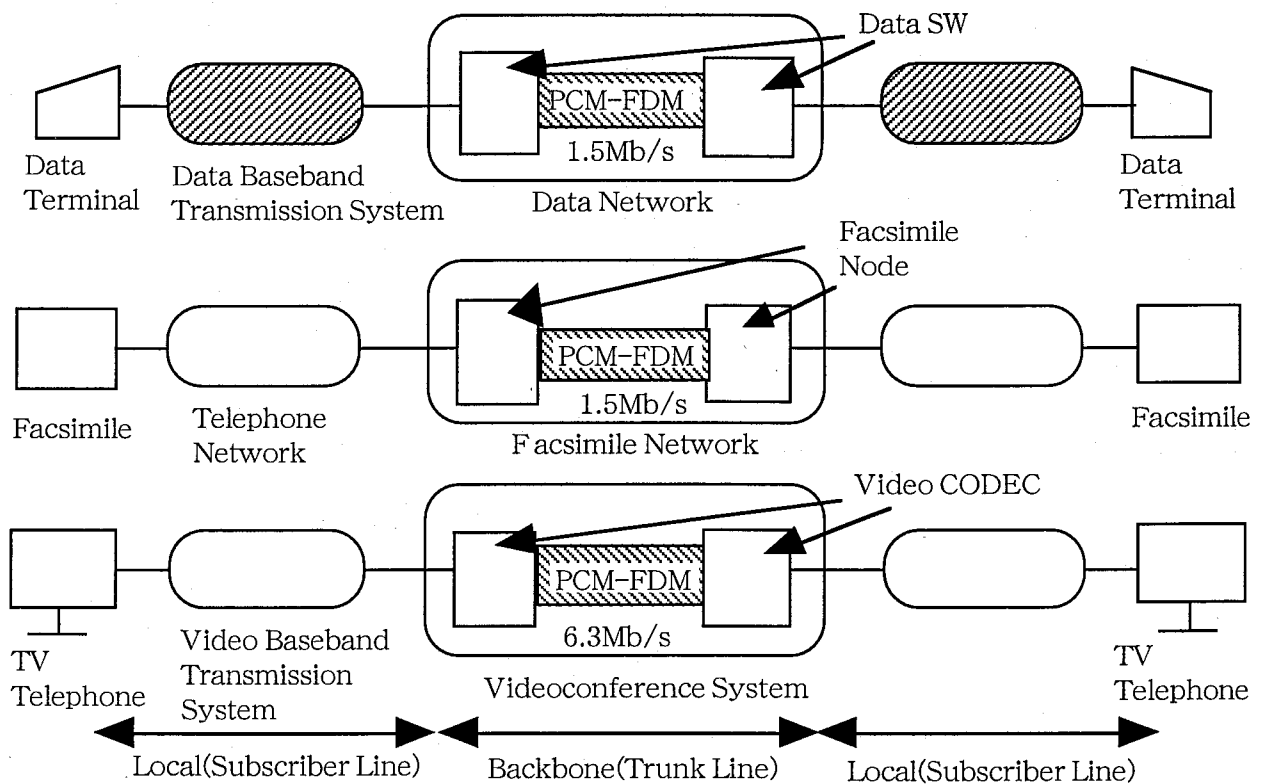


図1-1 各種サービスの加入者線伝送方式と基幹伝送系のPCM-FDM方式

電話など各種サービスのポイント・ポイント通信の伝送系を示したものであり、各端末からの情報は、ローカル系の加入者線伝送方式を経てバックボーン系のそれぞれのサービスに対応したノード（SW：交換装置、Node：蓄積変換装置など）に接続され、長距離伝送される。ベースバンドの加入者線伝送系は、伝送するサービス情報、速度、符号圧縮方式

などで伝送形態が異なるが、基幹伝送系では各種サービスに共通に高速デジタル伝送方式が適用され、PCM1次群およびPCM2次群のPCM-FDM伝送方式が導入された。

次に、マルチポイント通信系における同期方式とその応用システムについて述べる。複数端末が相互にリアルタイム映像・音声などのマルチメディア情報を転送するマルチポイント通信系の代表例として、多地点間テレビ会議システムがある。多地点間テレビ会議通信におけるマルチポイント通信系の同期方式に着目した構成を図1-2に示す。

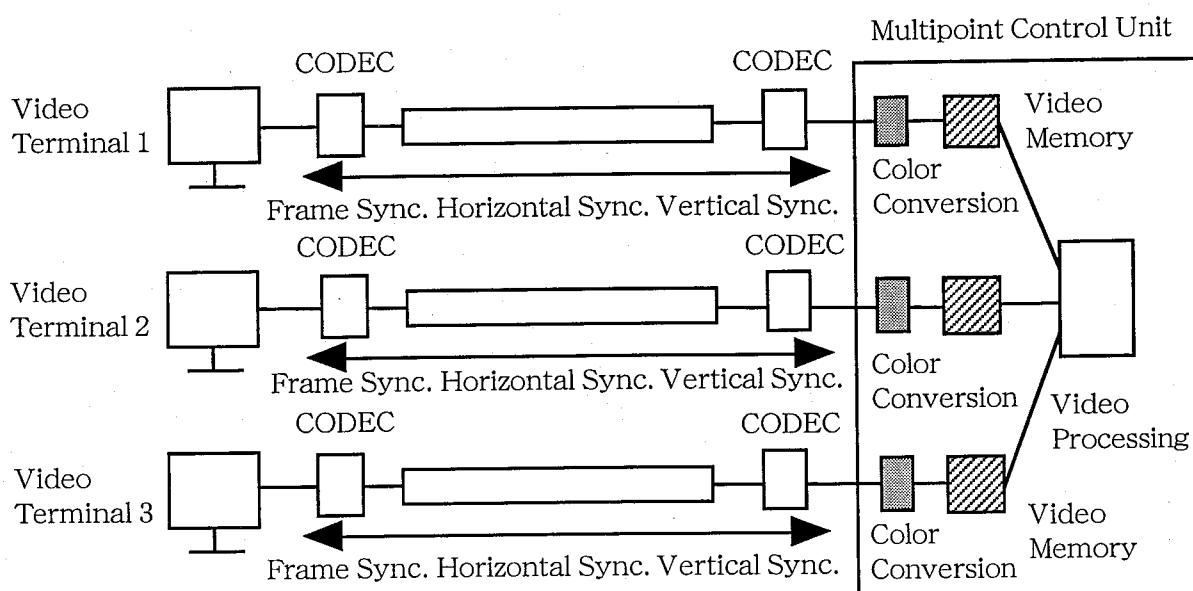


図1-2 マルチポイント通信における同期方式

同図に示したように、各映像端末からの映像信号のフレーム同期 (Frame Synchronization)、水平同期 (Horizontal Synchronization)、垂直同期 (Vertical Synchronization) のすべての信号の同期がとれていないと、多地点間通信のノード (MCU: Multipoint Control Unit) で映像処理 (映像の縮小合成や切り替えなど) を行う場合に、映像の乱れや同期はずれなどの問題を生ずる。各対地の映像の送信源 (例えば、カメラ) では基本的に同期がずれているので、多地点間通信を行う場合にこれらの同期をとりながら映像処理を行うノードの構成法を明らかにすることが重要であった。特に、映像信号の帯域圧縮のための符号化方式として、カラーバースト信号に同期していない輝度信号と色信号を分離して符号化する符号化装置 (Coder) を用いる場合 [1-7] には、色位相変換 (Color Conversion) 回路が必要となり、この実現性の検証、さらにこの機能を組み込んだ多地点間通信ノードの構成法を明らかにする必要がある。特に、80年後半に上記分離符号化方式を用いた32Mb/sのLSI化CODEC (Coder and

Decoder) が開発され、多地点間通信ノードへの適用性の確認および広帯域通信網のプロトタイプ実験での実証が要請されていた。

さらに、1990年代の前半にマルチポイント通信系の応用システムとしてパーソナル化を目指したグループウェアの研究が進められ、多地点マルチメディア会議装置 [1-8] やマルチメディア分散在席会議システム [1-9] などの実用化研究が行われていたが、これらのシステムでは参加するメンバがすべて同じ機能を持ちメンバ間で対等な情報の共有空間を形成しており、多人数に適用した場合にコネクションの使用効率が良くないという問題点があった。これらのシステムの多人数化を図るため、ネットワークのマルチポイント機能を積極的に利用して使用コネクションの効率化を図る会議システムへの展開、あるいはATM (Asynchronous Transfer Mode) の片方向コネクションや上下速度の異なる非対称コネクションを活用した講義システムの構築などが要求されていた。

1. 2 研究の目的

端末間でポイント・ポイント通信を行う場合、ローカル系の加入者線伝送方式と長距離の基幹伝送方式から構成されるネットワークを用いて伝送される。まず、ベースバンド系のデジタル伝送方式関連の研究の目的について述べる。デジタルデータ通信サービスでは、調歩同期系の200~1200b/s、同期系の2400b/s、4800b/s、9600b/s、48kb/sの異なるデータ速度があり、しかも専用線、回線交換、パケット交換など多様なインタフェース条件を考慮する必要がある。このため、デジタルデータ網の加入者線伝送装置類の経済化および小型化を目指して機能の見直しを行い、出来る限り装置の共通化を図ってLSI化を行うことになった。また、データ通信サービスでは、各種制御コードなどが頻繁に用いられ特定のパターンによりジッタが発生し、誤り率の劣化の原因となっており、これを改善する必要がある。

筆者は、このLSI化伝送装置の開発プロジェクトにおいて、加入者線終端装置類の機能分析の検討に参加し、主としてアナログ部の線路特性を等化する自動等化部の機能設計を分担した。また、パターンジッタの発生メカニズムを解明するため状態遷移図を用いて解析を行い、新たにジッタの抑圧可能なデジタル処理型位相同期回路 (DPLL: Digital Phase Locked Loop) を考案した。この特性を明らかにするとともに、加入者線伝送方式に適用する場合の設計法を確立し、LSI化した伝送装置に組み込んで動作確認することが本研究での主たる目的である。

また、キャリア系の伝送方式における同期方式の研究では、既設FDM伝送路を用いて

PCM信号を伝送するPCM-FDM伝送方式の実用化に当たり、自動位相制御方式の動作特性の解明とFDM伝送路の伝送ひずみに対する自動位相制御方式の制御特性を明らかにし、PCM 2次群PCM-FDM変換装置用の自動位相制御技術を確立することが重要な課題であった。

筆者は、PCM-FDM伝送方式の実用化プロジェクトにおいて、主として自動等化器のタップ重み量を用いた自動位相制御方式の研究に従事した。ここで、キャリア位相およびタイミング位相の設定条件により自動等化器の動作特性に与える影響を動作解析およびシミュレーションによって解明し、また、試作装置を用いた実験により動作特性の把握を行って、伝送ひずみに対する特性改善を図ることを目的とした。この動作解析を行う中で、自動等化器が最適に動作するためのキャリア位相とタイミング位相の関係を明らかにするとともに、これらの位相を制御する自動位相制御系の動作特性を明確にし、FDM伝送路の伝送ひずみに対する適用限界を定めることが本研究の主たる目的である。

次に、複数の端末間で映像通信を行うマルチポイント通信系の同期方式について、ビデオ系の同期の特性ならびにその応用システムの構成法とその特性について述べる。各対地からの映像信号を多地点間通信用に合成などの処理を行う場合、それぞれの映像信号の位相がずれているため同期変換などの処理が必要となり、これを明らかにするとともに、多地点間通信のためのシステム構成法を明確化する必要があった。また、ネットワークのマルチポイント機能を利用した会議や講義サービスなどの通信システムについても、回線を効率的に使用するためのシステム構成条件が求められていた。

筆者は、多地点間テレビ会議システムやATMネットワークのアプリケーションを開発するプロジェクトにおいて、多地点間テレビ会議システムのプロトタイプ試作やATMアプリケーションのシステム化の研究を行った。特に、多地点間テレビ会議システムでは、分離符号化を行う映像符号化装置を用いたシステム構成法を検討し、多地点間会議制御装置に色変換回路の導入法を明らかにすることが課題であった。また、ネットワークを効率的に利用するため、ATMネットワークの片方向、双方向対称（上下同一速度）および双方向非対称（上下異速度）コネクションを利用した会議システムや遠隔講義システムを考案し、具体的な構成法を明らかにするとともにその特性を評価するのが本研究の主たる目的である。まず、会議システムとして学会のシンポジウムでよく開催されるパネルディスカッション方式に着目し、パネラグループとフロアグループなど複数のグループのメンバーに分割して会議を行うマルチグループ通信方式を考案し、その構成法を明らかにするとともにその特性を評価する。次に、マルチポイント通信とポイント・ポイント通信を併用

し、多数の受講端末に対して講師の映像・音声などをマルチキャスト分配する質問者切替型のリアルタイム遠隔講義システムを考案し、この構成法およびその特性を明らかにして有効性を明確化する。

1. 3 研究の内容

本論文は、筆者がNTT電気通信研究所において従事したデジタル伝送系の同期方式とこれを利用した通信システムの研究をまとめたもので、全部で5章から構成されている。各章の概要は、以下に示すとおりである。

第1章「序論」では、研究の背景、研究の目的、研究の内容について述べる。

第2章「ベースバンド系伝送システムの同期方式」では、デジタルデータ網の加入者線伝送方式における同期方式について述べる。従来、この伝送方式においてはパケット網用、回線交換網用、専用線向けに多種類の回線終端装置および局内終端装置で構成されていた。これらは個別部品で構成され、また、交換モードの違い、速度の違いやインタフェースの違いなどにより12種類もあり、さらに線路等化部が加入者線路の距離に応じたストラップ調整などが必要であり、経済化を阻んでいた。本研究では、加入者線終端装置の機能見直しを行い、LSI化に向けた構成法の検討を行った。まず、加入者線終端装置の機能分析を行い、ブロックとして上記装置をアナログ部、デジタル部およびインタフェース部の3つに分割し、それぞれレベルコンバータ、コードコンバータおよびインタフェースとして3モジュールで構成することとした。この中で、LSI化による集積効果が最も期待できるデジタル変換処理部分をLSI化することとし、コストの低減および大きさの削減を目指した。さらに、デジタルデータ通信サービスでは特定のパターンが発生しやすく、これによりジッタを生じて誤り率特性が劣化していたが、新しいタイミング抽出回路としてカウンタ段数切替型DPLLを考案し、位相比較した結果を非線形効果を導入して位相差に応じた積分処理を行うことにより所定の範囲内に出力位相を抑えることが出来ることを示す。また、状態遷移図を用いてカウンタ段数切替型DPLLの動作解析を行い、その抑圧効果を明らかにするとともに、実験によりパターンジッタを約1/3以下に抑える効果を確認し、本DPLLの設計法を明確にする。

第3章「キャリア系伝送システムの同期方式」では、既設のFDM伝送路を用いてPCM信号を伝送するPCM-FDM方式のキャリア位相制御回路およびタイミング位相制御回路について述べる。このPCM-FDM方式では、FDM伝送路の帯域を有効に利用するため、2値のPCM信号を8値以上の多値により伝送し、10%以下のロールオフ率で帯域制限する

とともにFDM伝送路の所定周波数帯にVSB変調して伝送する。受信側ではこの信号を同期復調し、さらに多値を2値に識別するタイミング位相を同期させる必要があり、これらの情報を多値信号と一緒にパイロット信号として送信している。また、受信部ではFDM伝送路でのひずみを等化するため、適応型のZFアルゴリズムによる自動等化器を用いているが、この自動等化器を正常に動作するためキャリアおよびタイミングの位相を最適に調整する必要がある。本研究では、自動等化器のタップ重み量を用いてこれらの位相を自動制御するキャリア自動位相制御回路およびタイミング自動位相制御回路を対象に、まずこれらの位相を最適に調整するための位相関係を明らかにする。次に、これらの位相を最適位相に制御するための制御条件を求め、その制御方法を明らかにする。さらに、初期位相を設定し上記の制御条件により制御した場合のキャリア・タイミング位相平面上での制御軌跡を求め、自動等化器の引き込み範囲との関係およびこれらが安定に動作する制御条件を明らかにする。さらに、実験によりこれらの制御方法の妥当性を確認し、伝送ひずみがある場合にも最適位相に制御できることを確かめ、さらに本自動位相制御回路が正常に動作する伝送ひずみの限界値を求める。

第4章「マルチポイント通信系の同期方式とその応用システム」の第1節では、前章までのポイント・ポイント通信と異なり、マルチポイント通信における同期方式として映像同期について述べる。映像信号を色信号と輝度信号に分離して符号化し、時分割多重して伝送するTDM (Time Division Multiplex) -PCM変換方式を用いる場合、ポイント・ポイント通信ではリンク毎に映像の周波数および位相の同期がとれるので問題ないが、複数の端末でマルチポイント通信を行い映像信号を合成する場合には、各端末からの周波数および位相は各端末毎に異なっているため水平同期、フレーム同期の他にカラーサブキャリア信号の位相を同期させる必要がある。本節では、まず多地点間テレビ会議サービスなどで各地点の映像を縮小して合成を行うための色位相変換方式について述べ、つぎにこれを用いた多地点間テレビ会議制御装置の構成法を示す。また、第2節と第3節でマルチポイント通信（特にATMなどネットワークのマルチポイント機能を利用する）の応用システムについて述べる。まず、第2節では、第1節で述べた多地点間テレビ会議サービスでは参加するすべてのメンバが同じ機能を有する単一グループから構成されているのに対し、学会のシンポジウムのようにパネルディスカッションの形式でパネラとフロアなどのように異なる役割を持つグループメンバで構成されるマルチグループ通信システムを新たに考案し、この構成法ならびに特性について述べる。本システムの目的は、多人数のメンバが参加出来るマルチグループ通信システムを効率的に実現することであり、参加するメンバ

の役割を定めるとともに、メンバ間のコミュニケーションの強度を方向性、時間性、即時性から定め、これにより強結合、中結合、弱結合などの複数のグループを構成する。この結合度に対応したメディア処理を行い、グループ通信処理およびサービス処理を行ってマルチグループ通信を実現する。さらに、これを実現するための通信処理サーバの機能および構成を明らかにするとともに、各端末との動作シーケンスを定め、回線設定法および通信サーバの機能・構成法を明らかにする。実際にATM-LAN (Local Area Network) を用いてパネルディスカッション会議のプロトタイプシステムを試作し、機能確認を行った。さらに、本方式のコネクション使用形態を評価するため、メッシュ、スター、ツリー通信形態などのコネクション利用率と比較するとともに、メンバの発言率からメンバ間結合度を状態遷移図を用いて評価し、メンバがグループを変更する場合の目安を求める。次に第3節では、ATM-PVC (Permanent Virtual Circuit) 網を用いてマルチポイント通信を行う遠隔講義システムについて述べる。ATMネットワーク上で遠隔の講師と受講生の間でリアルタイムの講義空間を実現するため、予約ベースでATMのポイント・ポイントおよびポイント・マルチポイントのVC (Virtual Circuit) コネクションを併用する遠隔講義システムを提案する。本システムでは、あらかじめ講義スケジュールを指定して講義に使用するシステム類を回線設定サーバに予約し、予約した講義開始時間になるとこの回線設定サーバからATM-SW (Switch) に対してコネクション設定コマンドを送出し、講義サーバと講師端末および受講端末間のATMコネクションを遠隔自動設定する。講義サーバと端末間は、講師の映像・音声および資料映像のUDP (User Datagram Protocol) /IP (Internet Protocol) 通信およびデータのTCP (Transmission Control Protocol) /IP通信を実現している。また、高品質の映像通信を行う場合には、MPEG2 (Motion Picture Image Coding Experts Group) のCODECを併用してMPEG2 over ATM通信を行う。さらに実験用のプロトタイプシステムを構築し、NTTのマルチメディア共同利用実験のOLU (On-Line University) プロジェクトのATMネットワークを用いて実験を行い、伝送特性などを評価した。

第5章「結論」では、以上の各章における結果を総括して述べる。

参考文献

- [1-1] J.F.Gunn, et al., "Mastergroup Digital Transmission on Modern Coaxial Systems", Bell system Technical Journal Vol.50 No.2 p.501 Feb (1971)

- [1-2] E.R.Kretzmer, "Generalization of Technique for Binary Data Communication", IEEE Trans. COM-14, No.1 (1966)
- [1-3] 青木利晴, "PCM-FDM方式", 信学誌, Vol.57 No.12 p1424 (1974)
- [1-4] 渡辺、小池、林, "積分値制御平衡符号の一検討", 昭48年信学連大1853 (1973)
- [1-5] 山本、渡辺、遠藤, "VSB多値伝送方式における自動等化法の2, 3の提案", 信学技報 CS72-20 (1972)
- [1-6] 山本、三木、渡辺, "PCM-FDM方式における一考察", 信学技報 CS71-69 (1971)
- [1-7] 黒田、安田, "4MTV電話用フレーム間符号化方式の構成", 信学技報 CS75-68 (1975)
- [1-8] 島村、谷川, "多地点マルチメディア会議装置-PMTC-", 信学技報 OS90-34(1991)
- [1-9] 阪田、前野, "マルチメディア分散在席会議システムMERMAID: グループウェアのプラットフォーム", 情報処理学会論文誌, Vol.32 No.9 pp.1200 (1991)

第2章 ベースバンド系伝送システムとその同期方式

2.1 まえがき

本章では、ベースバンド伝送系のデジタルデータ加入者線伝送方式の概要について述べ、加入者線終端装置類の機能分析を行ってLSI化に向けた機能分割法を検討するとともに、この中で新たに考案した位相同期回路について、構成、特性およびその設計法について述べる。また、LSI化の研究の過程で、デジタル信号を再生する際に必要となるタイミング抽出回路を中心に新たに考案した位相同期系の特性や設計法について述べる。

従来のタイミング抽出回路で取り出したタイミング信号には、網制御コードに起因するパターンなどによってジッタを発生し、識別時の誤り特性の劣化要因となっていた。このパターンジッタを抑圧するタイミング抽出回路の開発が要請されており、このため新たにデジタル処理型位相同期回路（DPLL: Digital Phase Locked Loop）を考案し、LSIの中に組み込んだ [2-1]。

2.2 デジタルデータ加入者線伝送方式の概要

デジタルデータ網の加入者線伝送方式の構成図を図2-1に示す。

デジタルデータ網においては、端末（DTE: Data Terminal Equipment）はDSUに接続され、加入者ケーブルを介して局内まで伝送され局内のOCUに接続される。専用線、回線交換、パケット交換の3種類のサービスを提供するデータ網は、64 kb/s単

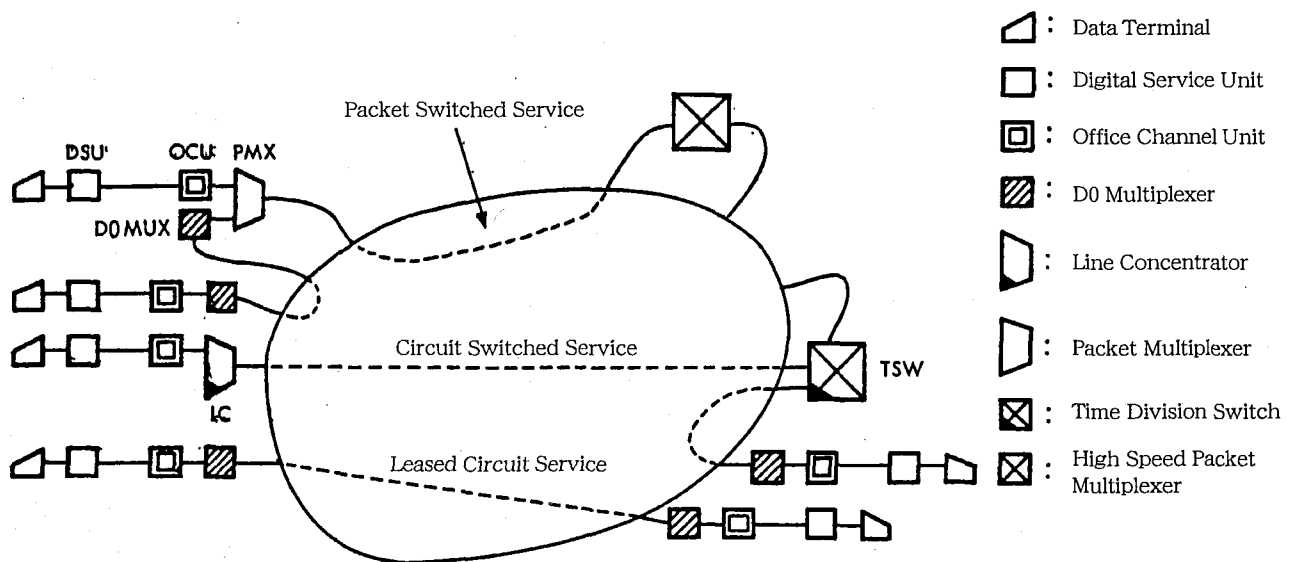


図2-1 デジタルデータ網の加入者線伝送方式の構成図

位の0次群同期網をベースに構成され、電話網との設備共用が図られている。加入者伝送方式においても上記の3種類のサービスで可能な限りインタフェース条件の統一をはかり、共通の装置を使用出来るようにしている。具体的には、それぞれのDSUが設置され、加入者ケーブルにより1:1に接続される。一方、局においては、OCUで終端された後、サービス種別に応じてデータ多重化変換装置(D0 MUX: D0 MultipleXer)、集線多重化装置(LC: Line Concentrator)、パケット多重化装置(PMX: Packet MultipleXer)に接続され、それぞれの網で処理される。加入者線伝送方式としては、上記3つの交換モードに対して調歩同期端末(200、300、1200b/s)では多点サンプリング、同期端末(2.4k、4.8k、9.6k、48kb/s)では単点サンプリングにより加入者系伝送速度に統一的に処理(ベアラ速度としては3.2k、6.4k、12.8k、64kb/s)し、DSUおよびOCUの種類を少なくしている。しかし、コネクタ(15ピンおよび25ピン)の形状によっても2種類あり、合計12種類の端末を製造する必要があった。このため、十分な量産効果を期待できず、経済化のネックとなっていた。この問題を解決するため、DSUおよびOCUの機能分析を行い、共通的に利用出来る回路部分をLSI化することにより、部品レベルの経済化をはかるとともに組み立て・調整工数の削減によるコストの削減を図ることとした[2-2]。表2-1に加入者線終端装置類(DSUおよびOCU)の機能を示す。

(1) 機能分割とLSI化の考え方

加入者線伝送用の終端装置類の機能配分に当たっては、データサービスだけでなくサービスが統合化されたISDN(ISDN: Integrated Services Digital Network)を考慮して行うのが望ましい[2-3]。表2-1に示すように、終端装置類の機能を3ブロックに分割し、主として伝送線路の減衰ひずみの等化、波形変換や符号変換を行いアナログ的な処理を行うレベルコンバータ(LCV: Level ConVerter)、位相同期をとり速度変換やコード変換などのデジタル処理を行うコードコンバータ(CCV: Code ConVerter)、インタフェース(INF: INterFace)から構成される。それぞれの機能を表2-2に示す。この3ブロック中で量産化による経済効果が最も大きいと考えられるのはCCVであり、高集積化および低消費電力化を可能とするポリシリコンゲート構造のN-E/DMOS技術を採用することとする。なお、従来の個別IC構成によるCCVと異なり、以下の点を考慮し、標準化動向などによる変更にも対処可能なよう柔軟性を持たせている[2-4] [2-5]。

表 2-1 加入者線終端装置類の機能

機能	DSU	OCU	ブロック
波形変換	送信データを線路伝送に適したバイポーラ波形に変換する。受信部では受信したバイポーラ波形をデジタル信号に逆変換する。	同左	レベルコンバータ (LCV)
波形等化	線路損失を補償し、波形等化・整形を行う。	同左	
符号再生	等化整形後の波形をデジタル論理信号に変換する。	同左	
ビット同期	受信信号からタイミング信号を抽出する。	同左	
エンベロープ同期	受信信号からフレームパターンを検出し、エンベロープ同期をとる。	同左	コードコンバータ (CCV)
速度変換	端末からのデータ信号を6ビット毎にF・Sビットを挿入し、エンベロープ組立を行い、ベアラ速度に変換する。受信側では、受信したデータ信号からF・Sビットを分離し、エンベロープの分解を行って元の6ビット毎のデータ信号に逆変換する。	加入者線からのベアラ速度のデータ信号を複数回繰り返す局内用のユニバーサル信号に変換する。また、局内のユニバーサル信号からエンベロープを読み出し、ベアラ信号に逆変換する。	
クロック再生	デジタル部の各部、および端末側に必要なタイミング信号を発生させる。	デジタル部の各部に必要なタイミング信号を発生させる。	
コード検出・発生	各種網制御コードを検出すると共に、コードを発生させる。	同左	
インタフェース	電気レベル・論理レベルを変換して端末に接続する。	電気レベル・論理レベルを局内インタフェースに変換する。	


 L S I に内蔵した機能

表 2-2 各機能ブロックとその内容

機能	回路ブロック	機能内容
伝送路終端	レベルコンバータ (LCV)	加入者線路に接続するための波形変換を行う。
回線終端	コードコンバータ (CCV)	エンベロープ組立/分解、あるいは速度変換などを行う。
相互接続	インタフェース (INF)	端末あるいは局内装置に接続するため電気レベル・論理レベルを変換する。

1) 網制御コードは国際標準化動向によっては変更も予想されるため、変更が可能なようマスクROMにより構成する。

2) タイミング抽出用回路には、パターンジッタの効果を抑圧するため、新たに2段の可逆カウンタを切り替えて積分効果を増加させたDPLLを考案しこれを用いる(詳細

は、2. 3に述べる)。

3) 符号パターン効果の影響を除去するため、自己同期形スクランブラ・デスクランブラを付加する。ただし、既存DSUとの対向も考慮し、取り外しが可能な構成とする。なお、LSIのインタフェース条件は以下の通りである。

1) 供給電圧は+5V単一電源とする。

2) インタフェースはTTLレベルとする。

3) 最大動作周波数は、タイミング抽出用のDPLLの出力ジッタ条件から最大ベアラ速度(64kb/s)の48倍の3072kHzとする。

4) 出力ピンは汎用のDIPケースに収納する。

(2) CCVの機能

CCVの機能としては、以下の同期回路、速度変換回路、クロック発生回路、コード検出・発生回路から構成される。

1) 同期回路：デジタル位相同期回路によりタイミング情報を抽出し、ビット同期確立を行い、F(フレーム)ビット検出によりエンベロープ同期をとる。DSUの場合には、通常時はOCUに従属同期となるが、折り返しおよびDSU対向通信もサポートするため、DSU内臓の発振器による独立同期動作を可能にする。

2) 速度変換回路：DSUの場合には、エンベロープ組立・分解のため8:6の速度変換を行い、FおよびS(状態)ビットを挿入・除去する(ベアラ変換)。OCUでは、ベアラ速度のオクテット信号とユニバーサル信号の間の変換・逆変換を行う(ユニバーサル変換)。

3) クロック発生回路：発振器と分周器を用い、各種速度のクロックを発生するが、クロックの切替により各ベアラ速度で動作を可能とする。

4) コード検出・発生回路：網からの折り返しコード、DNR(Data Not Ready)コード等の網制御コードを検出する。DSUの場合には、UNRコード等を発生させる(これらのコードの変更に対処可能なようマスクROMで構成する)。

2. 3 デジタル位相同期方式(DPLL)とその特性

以下では、伝送符号のパターン変動などにより入力信号の立ち上がり位相が変化する場合のタイミング抽出回路において、出力位相に生ずるジッタを抑圧するカウンタ段数切替型DPLLを提案し[2-6]、その構成・動作特性を解析および実験により従来のDPLLと比較し、パターンジッタ抑圧効果の有効性を評価する[2-7]。

2. 3. 1 タイミング抽出の原理とDPLLの構成

デジタル通信方式などでは、符号形式として"1"の極性を1個おきに反転させるバイポーラ符号 (AMI : Alternate Mark Inversion) が用いられる。受信信号を識別するためのタイミング抽出回路には、線路等化後のバイポーラ波形を2乗余弦 (Full Cosine Roll Off) 波形に整形し、波形のピーク値の1/2のレベルでスライスした2値信号を入力している。線路特性の等化を完全に行った2乗余弦波形のアイパターンを図2-2に示す。

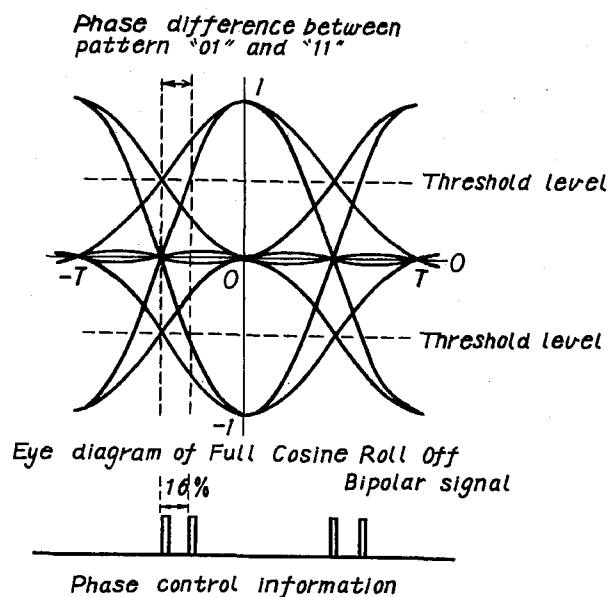


図2-2 2乗余弦波形のアイパターン

同図から明らかなように、"0"から"1"へ符号が変化する場合と"1"から"1"へ変化する場合でその立ち上がり位相が約1.6%ずれている ("01"パターンと"11"パターンの立ち上がり位相差が約1.6%)。従来、この性質を有するバイポーラ波形からタイミング情報を抽出する方法として、図2-3に示す方法を用いていた。同図の方法では、入力信号と発信器の分周器 (Divider) の出力信号の位相比較を行い (Phase Comparator)、入力信号が進んでいる ($\theta > 0$) 場合には発信器の出力パルスを1個付加し、逆に遅れている ($\theta < 0$) 場合には1個除去することにより、分周比で定まる位相ステップ分ずつ出力位相を制御し、位相差が0すなわち入力信号の位相に同期するよう制御を行う。(a)では位相比較結果を直ちにパルス挿入除去回路 (Pulse Controller) の制御信号とするのに対し、(b)では位相比較結果を可逆カウンタ (Up/down Counter) で積分した後に制御信号とする。

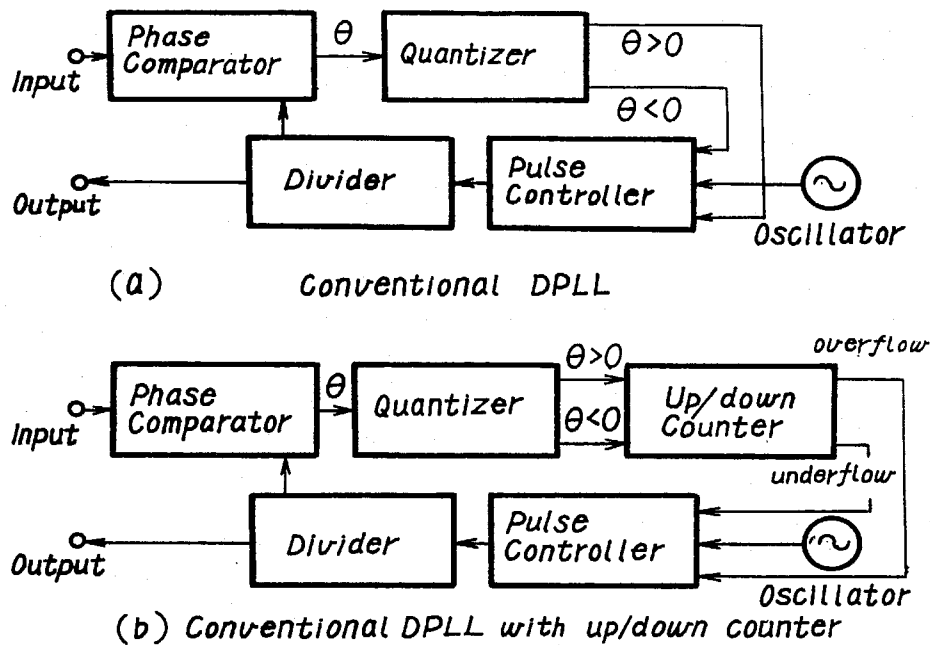


図 2 - 3 従来の D P L L の構成例

以上の方法においては、DPLLの入力信号にほぼ追従した出力信号が得られるので、図 2 - 2 に示したスライス後の信号を入力すると、"0 1"パターンと"1 1"パターンの変化によってそれらの立ち上がり位相差に相当するパターンジッタが出力信号に重畳することになる。このジッタは、バイポーラ信号を 2 値信号に識別する際、時間軸方向の余裕度を減少させ、誤り率を劣化させる原因となるので、出来る限り抑圧する必要がある。このジッタを抑圧する方法として、図 2 - 4 に示すカウンタ段数切替型 DPLL を新たに考案した。

この DPLL では、表 2 - 3 に示す量子化特性を有する量子化回路 (Quantizer) を用い、位相差に対応させて 2 つの可逆カウンタに入力させる。

以下に、本位相制御回路の動作を示す。

入力信号との位相差 $|\theta|$ が規定の値 θ_1 よりも小さい場合 ($-\theta_1 < \theta < \theta_1$) には量子化回路の出力は b または c となり、可逆カウンタ 1 および 2 の双方で積分し、その積分結果をパルス挿入・除去回路に加える。この時は、等価的に $\pm(N_1 + N_2 - 2)$ 段の可逆カウンタと同等の積分効果を有する (可逆カウンタ 1 の段数: $\pm(N_1 - 1)$ 段、可逆カウンタ 2 の段数: $\pm(N_2 - 1)$ とする)。すなわち、位相比較の結果、前段の可逆カウンタ 1 を加算または減算し、可逆カウンタ 1 がオーバフロー (overflow) またはアンダーフロー (underflow) して飽和した場合、可逆カウンタ 1 をリセットし、更に可逆カ

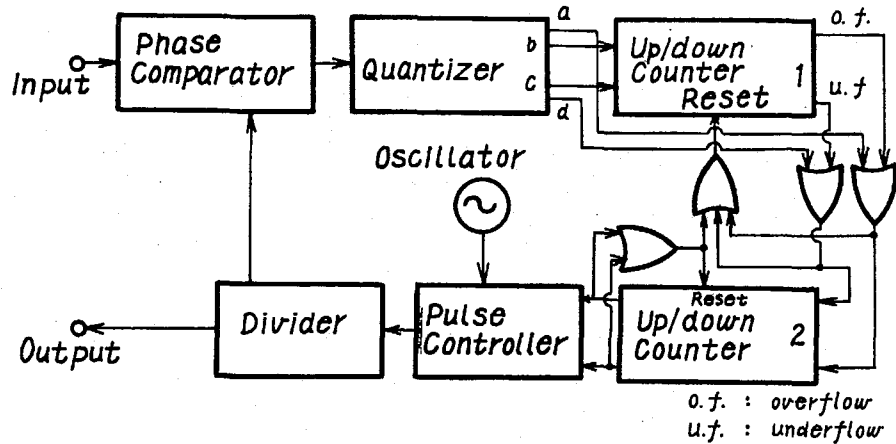


図 2 - 4 カウンタ段数切替型DPLLの構成

表 2 - 3 量子化特性

位相範囲	a	b	c	d
$\theta \leq -\theta_1$	1	0	0	0
$-\theta_1 < \theta \leq 0$	0	1	0	0
$0 < \theta \leq \theta_1$	0	0	1	0
$\theta_1 < \theta$	0	0	0	1

カウンタ 2 で加算または減算を行って可逆カウンタ 2 が飽和した場合、2 つの可逆カウンタをリセットすると同時に、発信器の出力パルスに 1 個パルスが付加または除去するための制御信号を出力し、入力信号と発振器の出力信号の位相差が小さくなるよう制御する。

一方、位相比較の結果が $|\theta_1|$ を越える場合には ($\theta > \theta_1$ または $\theta < -\theta_1$)、量子化回路の出力信号は a、d となり、直接可逆カウンタ 2 へ入力され、位相差に対応して加算または減算を行って、飽和した場合に発信器の出力信号にパルスに 1 個付加または除去するよう制御する。

以上の動作から明らかなように、前段の可逆カウンタ 1 を付加し非線形効果を導入した結果、入力信号との位相差が $|\theta_1|$ 以下の発生確率と位相差が $|\theta_1|$ 以上の発生確率との比が、前段の可逆カウンタ 1 の段数 ($N_1 - 1$) になるまでは、この可逆カウンタの積分効果で吸収できるので、位相変化の大きい入力信号に対して $1 / (N_1 - 1)$ だけ積分効果を小さくし、パルス挿入除去の制御を速める働きをすることになる。すなわち、($N_1 - 1$) 回の位相情報のうち少なくとも 1 回以上の比率で $|\theta_1|$ 以上の位相差を検出す

ることにより前段の可逆カウンタ 1 の積分効果で平滑化され、後段の可逆カウンタ 2 には伝達されず、 θ_1 で定まる位相に制御することが可能になる。この考え方により、パターンの変化に起因して位相情報の異なる信号が入力されても出力位相はパターンの変化に追従せず、特定の位相（識別時にほぼ最適な位相）に制御することが可能となる。

2. 3. 2 ジッタの解析

本章で提案するカウンタ段数切替型 DPLL を一般的に解析することは量子化回路の非線形効果のため複雑であり困難である。以下では、入力信号のパターン変化に基づく出力ジッタの解析を容易にするため、後段の可逆カウンタ 2 を省略することとし（位相差が $|\theta_1|$ を越える場合には直接パルス挿入除去の制御を行うこととする）、状態遷移図を用いて差分方程式による手法 [2-8] を適用して解析することとする。なお、解析に当たっては、以下の変数を用いる。

$\pi(i, j)$: 存在確率 ただし、 i : 出力位相、 j : カウンタの状態

p : " 1 1 " パターン発生確率

q : " 0 1 " パターン発生確率

（ただし、" 0 0 " および " 1 0 " パターンは立ち上がり位相情報が得られないので無視する。 $p+q=1$ ）

N : 可逆カウンタ（前段）の段数 $-N+1 \sim N-1$ の $(2N-1)$ 段

θ_1 の位相設定条件により、以下の 2 種類の場合に分類して解析する。

(1) 入力ジッタ幅が $2\theta_1$ 以下の場合

縦軸に可逆カウンタの状態、横軸に出力位相の状態を表わした状態遷移図は、図 2-5 のようになる。

入力位相と出力位相の差が $|\theta_1|$ を越えると可逆カウンタをリセットして出力位相をシフトさせる。位相差が $|\theta_1|$ 以下であれば可逆カウンタの状態を 1 加算または減算

（位相差の極性に対応して）し、可逆カウンタがオーバフローした場合、出力位相を 1 ステップ増加させ、アンダーフローした場合、出力位相を 1 ステップ減少させる。

定常状態において DPLL の制御系が引き込んでいる限り、出力位相 i は $1 \sim NN$ の範囲に収束しており、入力ジッタ幅を越えることはない。

出力位相 i が m 以下の位相状態の場合、" 1 1 " パターンが入力されると位相差が $|\theta_1|$ を越えるので出力位相を 1 ステップ増加させ、出力位相 i が n 以上の位相状態で

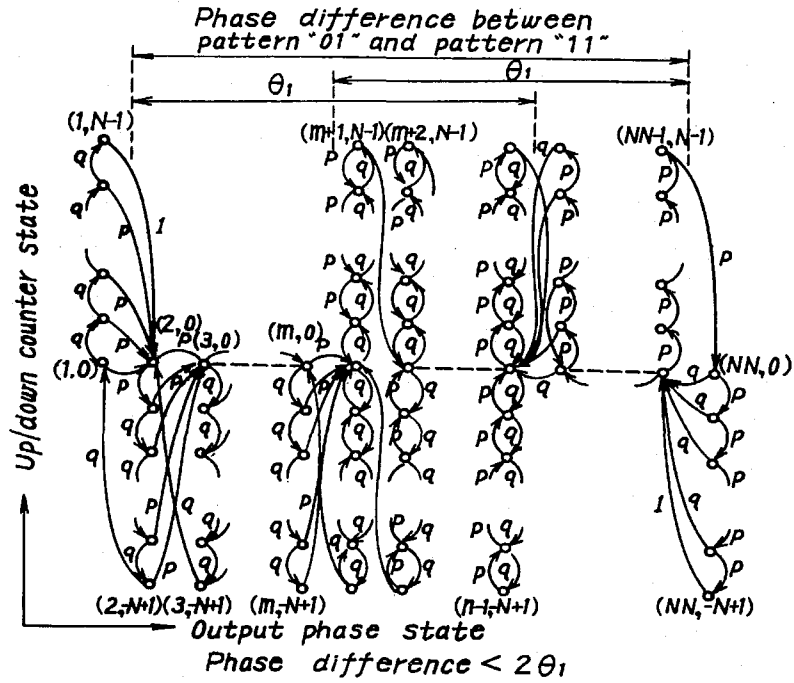


図 2-5 状態遷移図 (入力立上り位相差 < $2\theta_1$ の場合)

は、"01" パターンが入力されると位相差が $|\theta_1|$ を越えるので出力位相を 1 ステップ減少させる。

i が m 以下の状態における縦方向の差分方程式は

$$\left. \begin{aligned} \pi(i, -N+1) &= q\pi(i, -N+2) \\ &\vdots \\ \pi(i, -1) &= q\pi(i, 0) \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

であるから、

$$\pi(i, j) = q^{-j}\pi(i, 0) \quad 0 \leq i \leq m \quad (2-2)$$

となる。また、 i が $m+1$ から $n-1$ までの位相状態における存在確率 $\pi(i, j)$ は

$$\pi(i, j) = \left. \begin{array}{l} \frac{\left(\frac{p}{q}\right)^j - \left(\frac{p}{q}\right)^N}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^N} \pi(i, 0) \quad 0 \leq j \leq N-1 \\ \frac{\left(\frac{p}{q}\right)^j - \left(\frac{p}{q}\right)^{-N}}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{-N}} \pi(i, 0) \quad -N+1 \leq j \leq 0 \\ m+1 \leq i \leq n-1 \end{array} \right\} \quad (2-3)$$

となる (ただし、 $p \neq q$ の場合)。

さらに、 i が n 以上の状態では

$$\pi(i, j) = p^j \pi(i, 0) \quad n-1 \leq i \leq NN \quad (2-4)$$

であるから、横方向の差分方程式は

$$\left. \begin{array}{l} \pi(1, 0) = q \pi(2, -N+1) \\ \vdots \\ \pi(m-1, 0) = q^N \pi(m, 0) + (1-q)^N \pi(m-2, 0) \\ \vdots \\ \pi(NN, 0) = p \pi(NN-1, N-1) \end{array} \right\} \quad (2-5)$$

となる。

各出力位相 ($i = 1 \sim NN$) における存在確率 ξ_i は

$$\left. \begin{array}{l} \xi_1 = \frac{1-q^N}{1-q} \pi(1, 0) \\ \vdots \\ \xi_{m+1} = \frac{N}{\nu} \left(\frac{1-q^N}{q^N} \right)^{m-1} \pi(1, 0) \\ \vdots \\ \xi_{NN} = \frac{1}{1-p} \frac{\binom{N}{p}^{NN-n}}{\binom{N}{1-p}^{NN-n-1}} \left(\frac{\mu}{\nu} \right)^{n-m-1} \frac{(1-q^N)^{m-1}}{q^N} \pi(1, 0) \end{array} \right\} \quad (2-6)$$

ただし、

$$\mu = p \frac{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{-1}}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^{-N}} \quad \nu = q \frac{1 - \left(\frac{p}{q}\right)}{1 - \left(\frac{p}{q}\right)^N}$$

(2-7)

となり、

$$\sum_{i=1}^{NN} \xi_i = 1$$

より $\pi(1, 0)$ が得られる。

平均位相 $\bar{\phi}$ は

$$\bar{\phi} = \sum_{i=1}^{NN} \phi_i \xi_i$$

(2-8)

より得られ、また分散 σ^2 は

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{NN} (\phi_i - \bar{\phi})^2 \xi_i$$

(2-9)

より得られる。

一方、 $p=q$ の場合には、

$$\left. \begin{aligned} \pi(2, 0) &= q^{-N} \pi(1, 0) \\ &\vdots \\ \pi(m+1, 0) &= \frac{N}{q} \left(\frac{1 - q^N}{q^N} \right)^{m-1} \pi(1, 0) \\ &\vdots \\ \pi(n, 0) &= \frac{(1 - q^N)^{m-1}}{(q^N)^{m-2}} \pi(1, 0) \end{aligned} \right\}$$

(2-10)

より得られる。

(2) 入力ジッタ幅が $2\theta_1$ を超える場合

状態遷移図は図2-6のようになる。

この場合には、出力位相の状態が”01”パターンの立ち上がり位相、”11”パターンの立ち上がり位相の双方から $|\theta_1|$ を越える場合が発生し、この状態 (i が $m+1$ から $n-1$ の範囲) では、出力位相が直ちに1ステップ増加または減少する。また、出力位

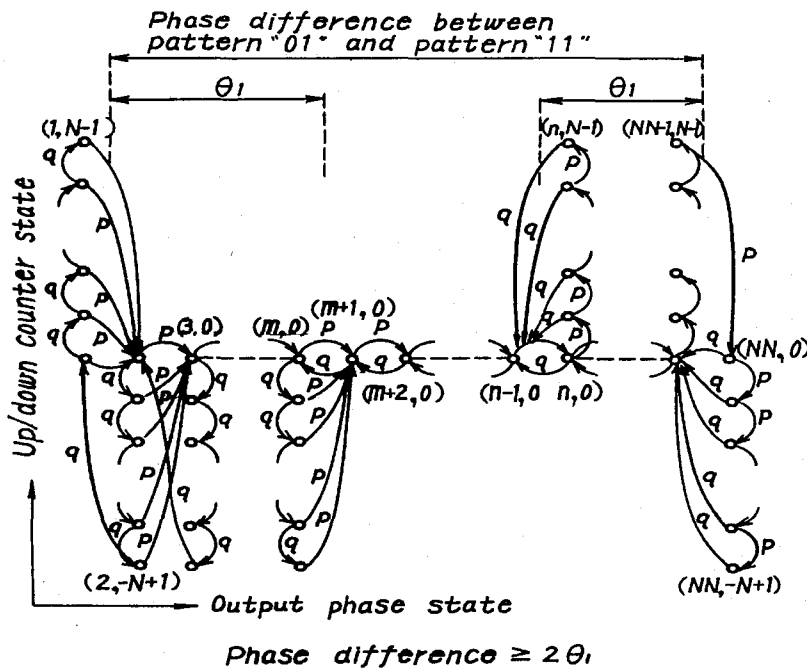


図 2-6 状態遷移図 (入力立上り位相差 $\geq 2\theta_1$ の場合)

相 i が m 以下においては、"11" パターンが入力された場合、 n 以上においては "01" パターンが入力された場合、出力位相を 1 ステップ増加または減少させ、それぞれ "01" パターン、"11" パターンが入力された場合、可逆カウンタの状態を 1 減算または加算するだけである。

i が m 以下の位相状態では縦方向の差分方程式は、

$$\pi(i, j) = q^{-j} \pi(i, 0) \quad (2-11)$$

となり、 i が n 以上の位相状態では

$$\pi(i, j) = p^j \pi(i, 0) \quad (2-12)$$

となる。

一方、出力位相の状態を示す横方向の差分方程式は

$$\left. \begin{aligned} \pi(i, 0) &= q \pi(2, -N+1) \\ &\vdots \\ \pi(m-1, 0) &= q^N \pi(m, 0) + (1-q^N) \pi(m-2, 0) \\ &\vdots \\ \pi(NN, 0) &= p \pi(NN-1, N-1) \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$

が成り立つ。各出力位相における存在確率は、

$$\left. \begin{aligned}
 \xi_1 &= \frac{1-q^N}{1-q} \pi(1, 0) \\
 &\vdots \\
 \xi_{m+1} &= \frac{1}{q} \left(\frac{1-q^N}{q^N} \right)^{m-1} \pi(1, 0) \\
 &\vdots \\
 \xi_{NN} &= \frac{1-p^N}{1-p} \frac{\binom{N}{p}^{NN-n}}{\binom{N}{1-p}^{NN-n}} \left(\frac{p}{q} \right)^{n-m-1} \left(\frac{1-q^N}{q^N} \right)^{m-1} \pi(1, 0)
 \end{aligned} \right\}$$

(2-14)

となり、この時も同様にして式(2-8)、(2-9)より平均位相 $\bar{\phi}$ および分散 σ^2 が得られる。

(3) 解析例

以上の解析結果を具体的に数値例で示す。

”01”パターンと”11”パターンの立ち上がり位相差を16%、 $\theta_1 = 8\%$ 、分周比50（出力位相のステップ幅を2%）とし、カウンタ段数を±4段とする。また、参考例として、従来の形式の2種類のDPLL（カウンタ無、±4段の可逆カウンタ付）と比較し、”01”パターンおよび”11”パターンの発生確率が（ $p = 1/3$ 、 $q = 2/3$ ）および（ $p = 2/3$ 、 $q = 1/3$ ）の2種類の場合の出力位相の分布を求め、図2-7に示す。

同図から明らかなように、従来のカウンタ無DPLLにおいては、 $q > p$ の場合、”01”パターンの立ち上がり位相（3%）の近傍に収束し、 $p > q$ の場合には”11”パターンの立ち上がり位相（19%）の近傍に収束して、発生確率の高いパターンに追従してその立ち上がり位相に制御される。

一方、カウンタ段数切替型DPLLでは、”01”パターンと”11”パターンの発生確率の比が1 : (N-1) = 4を越えていないので”01”パターンあるいは”11”パターンの立ち上がり位相の近傍には収束せず、両者の中間位相（約11%）に収束し、パターンの変化による影響を受けていない。すなわち、この場合のカウンタ段数切替型DPLLでは、 $p > 1/4$ 、 $q < 3/4$ の時、”01”の立ち上がり位相と”11”の立ち上がり位相のほぼ中央の位相に制御され、入力パターンに依存しない出力位相特性が得られる。なお、カウンタ段数切替型DPLLの可逆カウンタはパターンの変化を抑圧するよう

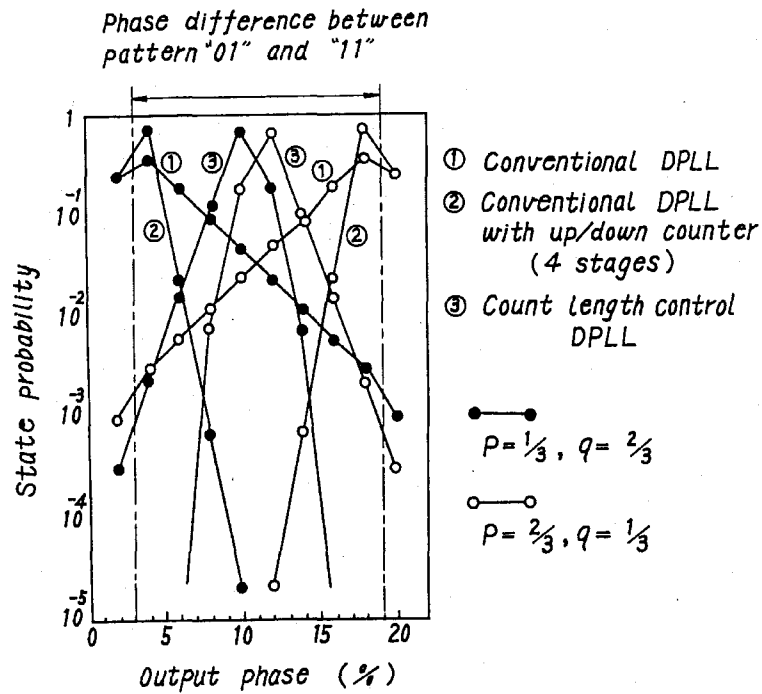


図 2-7 各種DPLLの出力位相特性

に動作しているため、積分効果が弱められアイドルジッタは従来のカウンタ無DPLLと可逆カウンタ付DPLLの中間の値となる。上記3種類のDPLLの平均位相 $\bar{\phi}$ と標準偏差 σ を表2-4に示す。

表 2-4 出力位相ジッタの平均値 $\bar{\phi}$ と標準偏差 σ (計算例)

DPLLの種類	出力位相ジッタ (前段の可逆カウンタ動作範囲)		
	有効範囲内 ($p=1/3, q=2/3$)	有効範囲内 ($p=2/3, q=1/3$)	有効範囲外 ($p=1/8, q=7/8$)
カウンタ無DPLL	$\bar{\phi} = 4.96\%$ $\sigma = 2.76\%$	$\bar{\phi} = 17.04\%$ $\sigma = 2.76\%$	$\bar{\phi} = 3.34\%$ $\sigma = 1.33\%$
可逆カウンタ付DPLL	$\bar{\phi} = 3.34\%$ $\sigma = 1.33\%$	$\bar{\phi} = 18.45\%$ $\sigma = 0.94\%$	$\bar{\phi} = 3.14\%$ $\sigma = 0.99\%$
カウンタ段数切替型DPLL	$\bar{\phi} = 10.08\%$ $\sigma = 1.24\%$	$\bar{\phi} = 11.92\%$ $\sigma = 1.24\%$	$\bar{\phi} = 6.79\%$ $\sigma = 3.00\%$

なお、同表には参考として、パターンの比率が ($p=1/8, q=7/8$) の場合も示してあり、このとき"01"パターンの立ち上がり位相に制御が働く場合と両者の立ち上がり位相の中央の位相に制御が働く場合の双方が発生し、ジッタが逆に大きくなってい

る。したがって、前段の可逆カウンタの段数の設定に当たっては、2. 3. 3で述べるように、入力パルス列の”01”と”11”パターンの比よりも大きくする必要がある。

2. 3. 3 カウンタ段数切替型DPLLの設計

2. 3. 1で述べた動作原理および2. 3. 2で述べた状態遷移図からの解析をもとに、本DPLLを設計する際の各種パラメータの設定方法について述べる。

1) 分周比 (M)

発振器の周波数と入力パルス列の伝送速度の比に相当し、出力位相の1ステップ幅を定める。

$$\text{分周比 (M)} = 100 / (\text{1ステップ幅}) \quad (2-15)$$

2) 量子化特性 (θ_1)

入力信号の波形等化特性、整形特性を考慮して θ_1 を定める。バイポーラ符号列で2乗余弦整形の場合には、

$$2\theta_1 = \text{”01”パターンと”11”パターンの立ち上り位相差}$$

に設定すると、パターンジッタ抑圧効果が大きい。

3) カウンタ段数

N_1-1 (前段のカウンタ) : 抑圧すべきパターン”01”と”11”の発生確率の割合から定める。入力符号列の”01”パターンと”11”パターンの出現頻度の割合の最悪値以上の段数に設定する。

N_2-1 (後段のカウンタ) : 発振器の安定度を考慮し、引き込み範囲から定める。

ただし、有効な位相制御情報の得られる割合を α とすると、引き込み範囲は次式で与えられる。

$$\frac{\frac{1}{\alpha} MN_2}{\frac{1}{\alpha} MN_2 + 1} f_0 \leq f \leq \frac{\frac{1}{\alpha} MN_2}{\frac{1}{\alpha} MN_2 - 1} f_0$$

f_0 : 発振器の周波数 (2-16)

また、最悪の位相偏差から安定状態に達するまでの引き込み時間 τ は

$$\tau = \frac{1}{\alpha} \frac{MN_2}{2} T_0$$

T_0 : 入力信号の周期 (= M / f_0) (2-17)

で与えられる。

2. 3. 4 実験による評価

実験に用いたDPLLは、カウンタ無DPLL、可逆カウンタ（±4段）付DPLL、カウンタ段数切替型DPLLの3種類である。ただし、入力信号の伝送速度は64kb/sであり、3.072MHzの水晶発振器を用いて48分周とした。これらの3種類のDPLLに、“01”パターンと“11”パターンの発生確率の異なるA～Iの9種類の繰り返し固定パターン（表2-5に示す）を用い、パターンの変化に対する出力ジッタを求めた。

表2-5 実験に用いたパターン系列

種類	16ビットの繰り返しパターン	qの値
A	0101010101010101	1.000
B	0100101011001010	0.857
C	01010101111010101	0.778
D	511ビットPN系列	0.500
E	01101110011101100	0.444
F	01101111111101111	0.231
G	01111111011111110	0.154
H	01111111111111111	0.067
I	11111111111111111	0.000

その結果を図2-8に示す。

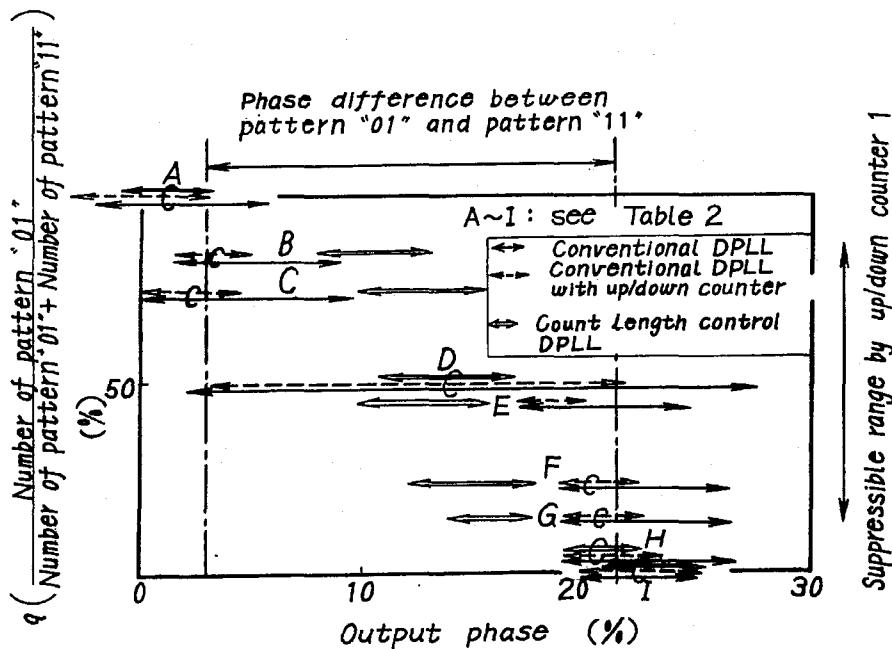


図2-8 各種DPLLの出力位相ジッタ

同図で横軸は出力位相を示し、縦軸は”01”パターンと”11”パターンのうち”01”パターンの割合 q を示している。なお、”01”パターンと”11”パターンの立ち上がり位相差は、線路特性を等化するための自動等化器での残留符号間干渉により約18%である。

従来のDPLLの場合には、 q が0.5以上であれば”01”パターンの立ち上がり位相(約3%)に近傍に、 q が0.5以下であれば”11”パターンの立ち上がり位相(約21%)の近傍に制御され、パターンの変化による位相ずれの影響をそのまま受けていることがわかる。ただし、可逆カウンタの積分効果によりカウンタ無DPLLでは約8%のジッタ幅が、可逆カウンタDPLLでは約1/2の4%(2ステップ分)に改善されている。一方、カウンタ段数切替型DPLLでは、前段のカウンタ段数に相当するパターンの発生確率の比(すなわち、”01”パターンの比率 q が1/8から7/8の0.125から0.875)の範囲内では、”01”パターンと”11”パターンの立ち上り位相の中間の位相に制御され、パターンの変化による位相ずれの影響を受けていないことがわかる(B,C,D,E,F,Gのパターン系列)。また、上記の範囲を越えるパターン系列(A,H,I)の入力信号に対しては、”01”パターンあるいは”11”パターンの立ち上り位相に追従してパターンジッタの抑圧効果は出ていない。

また、実際の実出力ジッタ特性を比較し、図2-9に示す。同図に示すように、従来型の

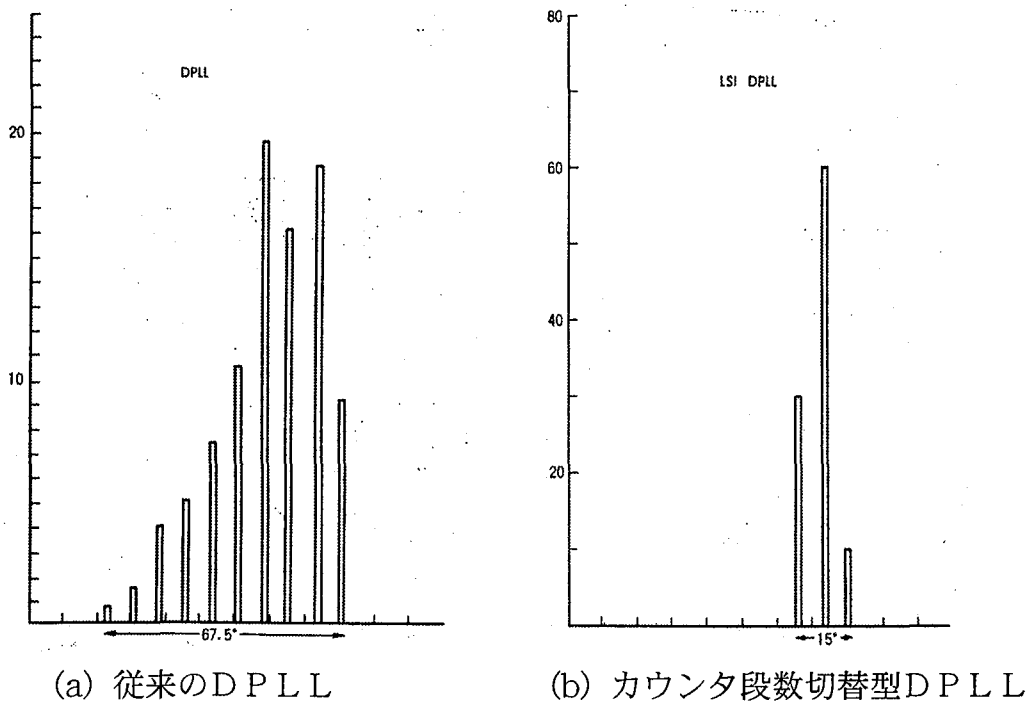


図2-9 DPLLの出力ジッタ特性

DPLLでは67.5°で約18.8%であり、各パターンの立ち上がり位相差の約16%に相当している。(分周比で1ステップで最終的には定まる。)一方、カウンタ段数切替型DPLLでは、出力ジッタは2ステップ分の15°であり、ジッタ抑圧効果が現われている。

さらに、発振器の周波数偏差に対する引き込み範囲を測定し、この結果を表2-6に示す。この測定においては、マーク率1/16の周期パターンを用いており、式(2-16)における $1/\alpha$ は1/16に相当している。同表に示すように、実測値は計算値より得られた値に近似した値となっている。

表2-6 引き込み範囲

DPLLの種類	引き込み範囲 (実測値)	引き込み範囲 (計算値)
カウンタ無DPLL	-1300~+1300	-1300~+1300
可逆カウンタ付DPLL	-260~+300	-260~+260
カウンタ段数切替型DPLL	-640~+310	-324~+325

(単位ppm)

2.3.5 誤り率特性

0.5mmφ紙ケーブルの疑似線路を用いてDSUの誤り率特性を測定した。伝送速度は64kb/sであり、511ビットのPN(疑似ランダム)パターンを用いて白色雑音を付加してS/Nを変化させ、その時の誤り率を測定した。結果を図2-10に示す。

同図は、疑似線路の距離を0、3、6kmと変化させて測定した誤り率特性であり、破線の理論値特性から4dB以下の劣化であり、良好な特性が得られた。なお、これらの劣化は主に線路特性の等化残やスレッシュホールドレベル偏差などに起因している。

2.3.6 LSI化DSUの評価

LSI化DSUを従来のDSUと比較すると、以下の結果が得られた(Xインタフェース用DSU)。

- 経済性： 約2/3
- 形状： 体積・重量とも約1/2
- 信頼度： 約1/2
- 消費電力： 約1/3

なお、Xインタフェース用DSUの概観図を図2-11に示す。

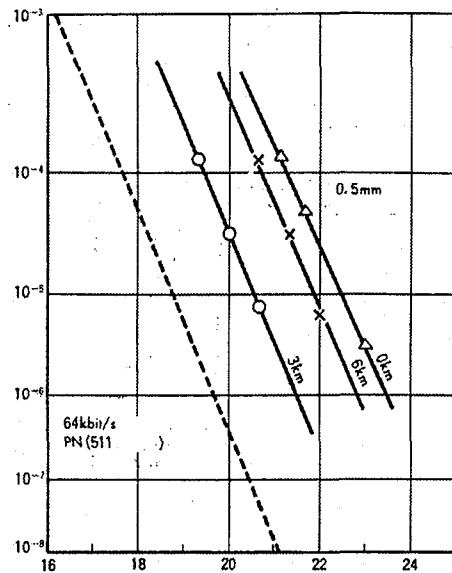


図 2 - 1 0 S/Nに対する誤り率特性

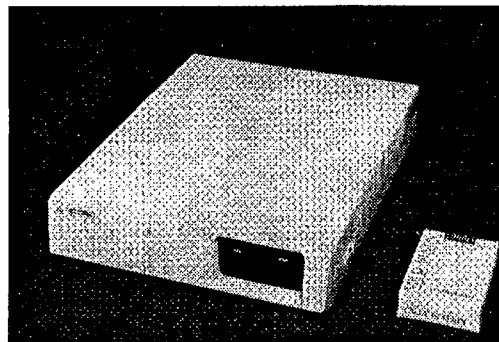


図 2 - 1 1 L S I 化 D S U の概観図

2. 4 まとめ

以上、デジタルデータ網における加入者線伝送方式について、終端装置類（DSUおよびOCU）の機能を分析し、LSI化に適した機能配備をおこなってデジタル処理部をLSI化することとした。また、このLSIに導入したタイミング抽出回路としてカウンタ段数切替型DPLLを考案するとともに、このDPLLの出力位相のジッタ特性を明らかにし、その設計法を明らかにした。結論を要約すると以下のようなになる。

- 1) DSUおよびOCUの機能分析をおこない、3ブロックに分割してCCVをLSI化することとした。
- 2) LSI化の導入により、DSUの装置としてコストが約2/3、大きさも約1/2となり、デジタルデータ網の普及に大きく貢献した。
- 3) 通常のデジタル位相同期回路（DPLL）では、バイポーラ波形などからタイミング抽出する場合、パターンの影響を受けやすい。このDPLLの制御ループ内に多段の可

逆カウンタを付加することにより、積分効果を増すことは出来るが、低周波のパターン変動に対しては抑圧効果は小さい。

4) 入力信号との位相比較結果に対応して、可逆カウンタの段数を変化させパルス挿入除去回路の制御を行って、非線形特性を導入することにより、前段の可逆カウンタの段数に相当するパターンの変化に対して、パターンジッタを抑圧することが可能となる。

なお、2段の可逆カウンタを従属接続するカウンタ段数切替型DPLLは

- ・前段の可逆カウンタにより、パターンジッタの抑圧特性を定める。
- ・後段の可逆カウンタにより、アイドルジッタの抑圧特性ならびに引き込み特性を定める。

5) 本章で提案したカウンタ段数切替型DPLLを用いて実験を行い、各種パターンを発生させ、パターンジッタを約1/3以下に抑圧することを確認した。

解析ならびに実験によりパターンジッタの抑圧効果を確認できた。パターン効果を完全に除去するためには、網制御コードも含めた入力符号系列のランダム化が必要である。

参考文献

- [2-1]島田、若原、金谷、"デジタルデータ網用加入者線IC化終端装置類の設計概念", 信学技報 CS79-217 pp.5-8 (1980)
- [2-2]島田、金谷、若原、"デジタルデータ網用新回線終端装置の実用化", 通研実報 Vol.30 No.12, pp.2991-2999 (1981)
- [2-3]島田、金谷、若原、西山、"ISDNを指向したDSUに関する一考察", 信学技報 CS80-14 pp.49-54 (1980)
- [2-4]若原、原、島田、藤田、"デジタルデータ網用加入者線IC化終端装置類の概要", 信学技報 CS79-90 pp.97-102 (1979)
- [2-5]T.Wakahara, S.Shimada and F.Kanaya," New LSI Digital Service Units and Office Channel Units used for NTT Digital Data Networks", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-29 No.3, pp.365-370 (1981)
- [2-6]若原、原、小山、日高、" デジタルデータ加入者伝送方式用DPLLのジッタ抑圧に関する検討", 信学技報 CS79-218 pp.9-12 (1980)
- [2-7]若原、島田、小山、"デジタル処理形位相同期回路のパターンジッタ抑圧に関する検討", 信学論文誌 Vol.J64-B No.8, pp.832-838 (1981)

[2-8]湯川、森、” 2 値量子化全デジタル位相同期系”、信学論文誌 Vol.J56-A No.12,
pp.751-758 (1973)

第3章 キャリア系伝送システムとその同期方式

3.1 まえがき

PCM信号などのデジタル信号を、周波数分割多重 (FDM: Frequency Division Multiplex) により長距離伝送されるアナログ伝送路 (C-12M方式やC-60M方式など) を用いて伝送するPCM-FDM伝送方式 [3-1] は、PCM-100M方式など長距離のデジタル伝送路が普及する以前においては非常に重要であり、上記アナログ伝送路の両端にFDM変換装置を設置するだけで容易にデジタル伝送路が構築できるため、デジタルデータサービスやファクシミリノード間の伝送方式として実用化が急務とされた。この方式は一種のモデム (変復調装置) であり、アナログ伝送路の雑音特性 (S/N) が良好なことを利用して多値伝送を行い、高能率なデジタル伝送を行うことに特徴がある。しかし、アナログ伝送路でのフィルタに起因する伝送ひずみにより符号間干渉が発生し、このひずみを除去する自動等化器の導入が必須であり [3-2]、トランスバーサルフィルタ構成の適応型自動等化器が開発された [3-3]。この自動等化器は、変復調するキャリア信号の位相ならびに多値信号を識別するタイミング位相が適切に設定されていないと動作が不安定 (最悪は発散して動作しなくなる) となるため、これらの位相制御の最適化が必須であった。しかも、これらの位相関係はお互いに独立でなく相互に関連があるため、これら2つの位相の制御に当たっては、同時に最適化を行う自動制御が要求された [3-4]。このため、自動等化器のタップ重み量を用いてこれらの位相制御を行う方式が考案された [3-5]。しかし、PCM 2次群の6.312Mb/s PCM-FDM伝送方式などでは、FDM伝送路の1主群 (MG) 帯域のすべてを用いるので、MG通過フィルタなどによる伝送路ひずみが大きくなり、自動等化器の動作特性を把握し伝送路ひずみとの関係を明らかにすることが、本自動位相制御方式の実現にあたって重要な課題であった。

本章では、まずPCM-FDM伝送方式の概要について述べるとともに、この方式に必須であるキャリア自動位相制御方式およびタイミング自動位相制御方式の動作特性について、解析ならびに実験により明らかにする。この自動等化器および自動等化器のタップ重み情報を利用した自動位相制御方式の開発により、PCM-FDM伝送方式の実用化が可能となり、PCM 1次群用の1.544Mb/s PCM-FDM伝送方式 [3-6]、無線の音声下部帯域を用いる1.544Mb/s PCM-FDM伝送方式 [3-7] およびPCM 2次群用の6.312Mb/s PCM-FDM伝送方式 [3-8] の3種類の方式が実用化された。これらは、相次いで東京-

名古屋—大阪などの長距離デジタル伝送区間に導入され、デジタルデータ伝送用の基幹伝送路およびファクシミリ通信ネットワークの蓄積変換装置間のデジタル伝送路として用いられた [3-9]。

以下では、PCM—FDM伝送方式の概要について述べるとともに、自動位相制御方式の解析および実験によりその動作特性、収束特性、伝送路適用限界などについて述べる。

PCM—FDM伝送方式は、FDM伝送路の特徴である帯域の有効利用のため多値伝送を行う。キャリア帯への変調方式としては、振幅変調 (DSB、VSB、SSB)、位相変調、直交変調方式があるが、実効占有帯域や直流成分の有無、整形 (ロールオフ) フィルタの実現性を考慮して、VSB変調を用いる。また、帯域を有効利用するため多値化を行うが、受信側で元のデジタル信号に戻す際に必要となる復調キャリア周波数や多値信号を2値に戻す際のタイミング信号は、この多値情報からは得られないので、この多値情報に重畳して伝送する。これら2つの情報は多値信号と同一帯域内にパイロット信号として伝送されるため、狭帯域のフィルタでパイロット抽出しても多値信号分も抽出してしまい、ジッタの原因となるので極力抑圧する必要がある。このため、多値情報を符号変換 (隔パルス積分値制御符号と呼ばれる一種の平衡符号化) してパイロット信号を重畳する周波数に相当する周波数成分を抑圧している。これにより、パーシャルレスポンスで信号成分を抑圧したのと同様な効果を得ることができる。

3. 1. 1 PCM—FDM変換装置の構成および動作

搬送波帯域を用いて多値伝送するPCM—FDM変換装置のブロック構成図を図3-1に示す。

送信部では、2値のPCM信号を8値以上の多値信号に変換 (Binary multilevel converter) するとともに10%以下のロールオフ率のナイキストフィルタ (Nyquist filter) により帯域制限し、標本点ゼロ形の波形に整形する。この信号をC-12M方式などのMG帯域などで伝送するため、キャリア (Carrier) 信号で変調 (Modulator) し、VSBフィルタ (VSB filter) で整形して片側の側帯波部分を取り出しFDM変換装置に送出する。なお、受信側で復調および多値識別に必要な信号をそれぞれキャリア周波数およびナイキスト周波数のパイロット信号として多値信号に重畳して伝送している。

一方、受信部では帯域通過フィルタ (Bandpass filter) で帯域外の雑音成分を除去した後、キャリアパイロット信号を抽出し、復調器 (Demodulator) で同期検波してベースバンド信号を得る。この受信ベースバンド信号は伝送路特性の影響を受けて符号間干渉を生じており、トランスバーサル形フィルタ構成の自動等化器 (Automatic equalizer) で

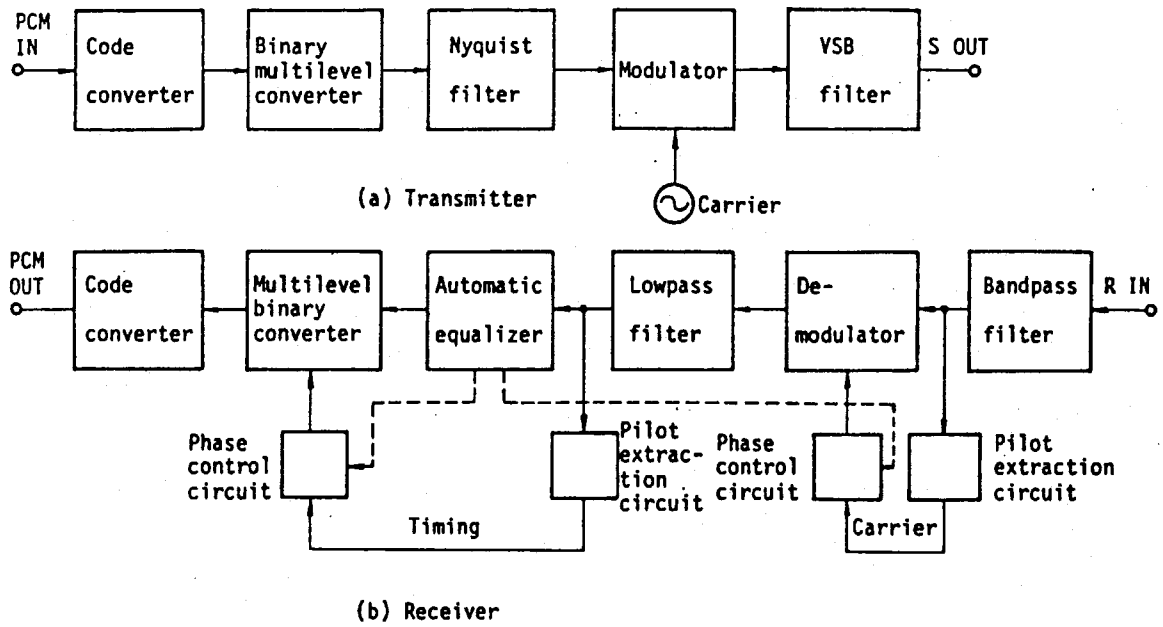


図 3 - 1 PCM-FDM変換装置のブロック構成図

標本点ゼロ形のナイキスト波形に等化される。また、タイミングパイロット信号はベースバンド信号から抽出し、多値識別器 (Multilevel binary converter) へのクロック信号としている。これらキャリアおよびタイミングパイロットは、それぞれのパイロット抽出回路 (Pilot extraction circuit) で抽出された後、その位相が自動等化器のタップ重み量を用いて自動的に制御される (Phase control circuit)。図 3 - 2 にベースバンド伝送系およびキャリア伝送系でのスペクトラムを示す。同図で、矢印で示した直線が、キャリア (角周波数は ω_c) およびタイミング (角周波数は $\omega_c + \omega_s$) パイロット信号である。

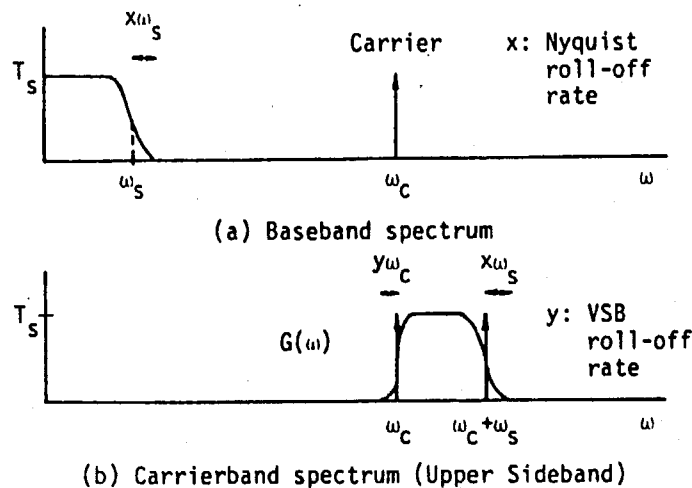


図 3 - 2 PCM-FDM伝送方式のスペクトラム

3. 1. 2 従来の自動位相制御方式との比較 [3-10]

従来のタイミング自動位相制御方式としては、

- ・符号誤り率監視法
- ・Hlrshの方法

などがあるが、いずれも位相ずれの検出方法が複雑で装置の規模が増大する欠点があり、しかも自動等化器の動作とは無関係に制御するため必ずしも最適動作が保証できないという問題点があった。

一方、キャリア位相の自動位相制御方式として、

- ・Costasループ方式を用いる方式
- ・Beckerの方法

があるが

前者の方式では、抽出したキャリア信号の同相成分と直交成分の相関をとりその値が0となるように制御する方法であり、両側帯波（DSB）方式あるいは緩いロールオフ率のVSB方式に適用される。後者の方式では、乗算器、フィルタ、移相器など回路が複雑となるなどの欠点がある。

本章で述べる自動位相制御方式は、トランスバーサル形の自動等化器を用いてそのタップ重み量を用いてタイミング位相およびキャリア位相を自動的に制御するものであり、自動等化器を併用する場合には最適制御が可能な方式である。したがって、本自動位相制御方式の特性を明確化し、伝送ひずみに対する適用限界を明らかにするとともにキャリア位相およびタイミング位相の同時最適化制御法を確立することがPCM-FDM伝送方式の開発に当たって重要な課題であった。

3. 2 タイミングおよびキャリア自動位相制御方式

3. 2. 1 自動位相制御方式とその原理

自動等化器および自動位相制御回路の構成を図3-3に示す。自動等化器はタップ付遅延線を用いたトランスバーサルフィルタで構成され、そのタップ重み量が多値識別器からの信号情報と誤差極性情報を用いて適応的に制御され、標本点ゼロ形の符号間干渉のない波形に等化するのが目的である。また、キャリアおよびタイミング自動位相制御回路は、それぞれのパイロットを抽出し自動等化器が最適に動作するようそれぞれの位相を自動的に最適位相に制御する回路であり、その制御情報を自動等化器のタップ重み量から得

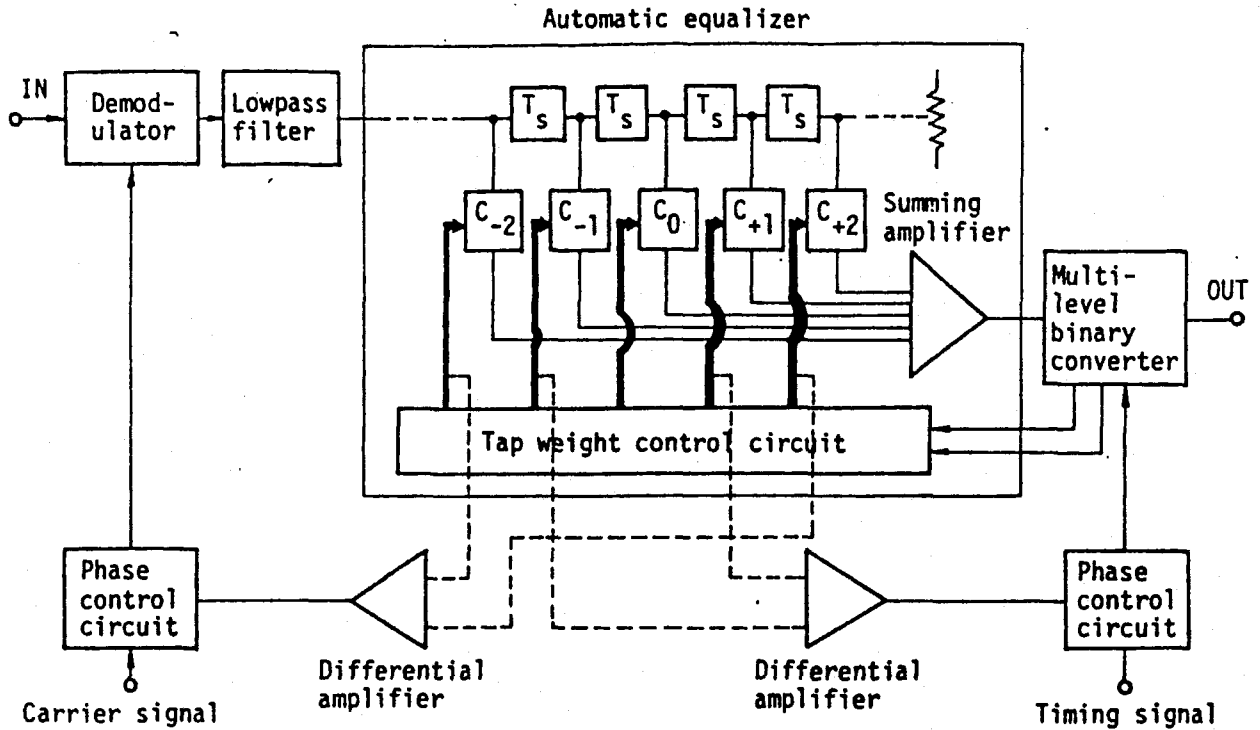


図 3-3 自動等化器および自動位相制御回路の構成図

ている。同図で、キャリア位相は $C+2$ および $C-2$ のタップ重み量から情報を得ており、タイミング位相は $C+1$ および $C-1$ のタップ重み量から情報を得ている。

(1) タイミング自動位相制御方式

タイミング自動位相制御の原理図を図 3-4 に示す。自動等化器は各標本点の信号レベルを対応するタップから取り出し、符号間干渉の絶対値和が最小になるよう重み係数を制御している。同図は、ベースバンドにおける単一パルス応答波形を示したものであり、図 (a) は識別タイミングが最適時点 $t-3, t-2, t-1, t_0, t+1, t+2, t+3$ から遅れて、 $t-3', t-2', t-1', t_0', t+1', t+2', t+3'$ になっているものとする。自動等化器は各識別時点における符号間干渉量を除くように、 $+1$ タップでは図 (b) の波形を作り、 -1 タップでは図 (c) の波形を作る。このときの合成波形は図 (d) のように符号間干渉が除去された波形となり、この時の ± 1 タップの重み係数 $C+1, C-1$ の極性は $C+1 > 0, C-1 < 0$ である。この場合、タイミング位相を進め、識別時点を進ませれば最適な識別時点に近づく。逆に、タイミング位相が送れている場合にはタップ重み係数として $C+1 < 0, C-1 > 0$ であり、最適識別時点に到達するまでタイミング位相を進めるよう制御すれば標本点ゼロ形の波形に近づく。このようにして、自動等化器の

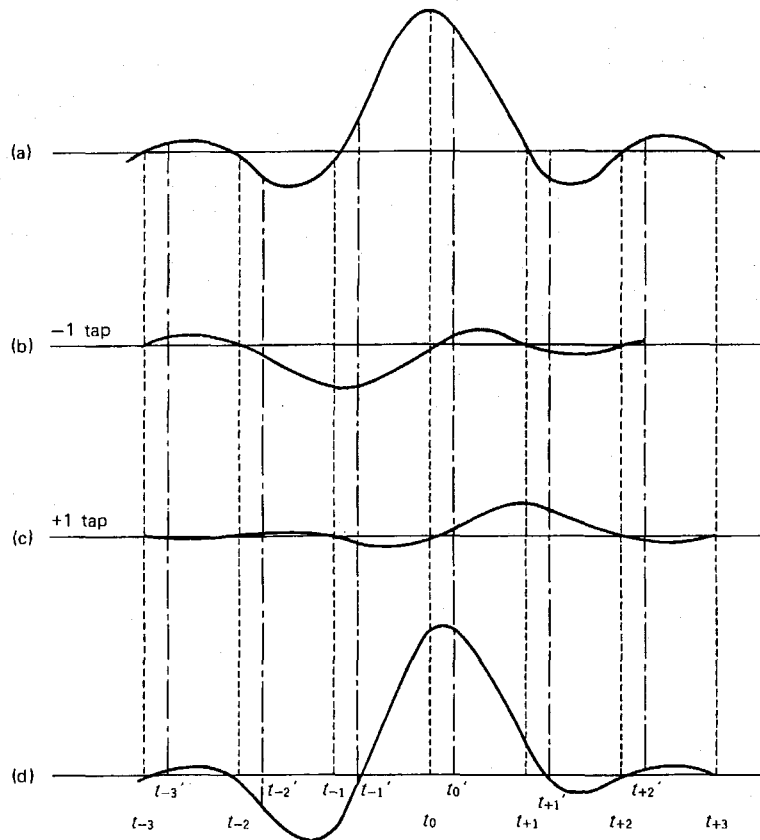


図 3-4 タイミング自動位相制御の原理

±1タップの重み係数の極性を検出することによりタイミングの位相を制御する方向がわかる。伝送路の特性が理想状態でひずみがない時、タイミング位相が最適であれば $C_{+1} = C_{-1} = 0$ となるが、伝送路のひずみが存在するときにはタイミング位相が最適であっても、 $C_{\pm 1}$ の双方が同時に0になるとは限らないので、実際には $C_{+1} = C_{-1}$ となるようにタイミングの位相制御を行っている。

(2) キャリア自動位相制御方式

復調用キャリアが最適位相からずれると、直交成分が生じ、波形ひずみの原因となるが、キャリア位相制御回路はこの直交成分の波形の性質を利用してキャリアの位相制御を行う。復調用キャリアの位相が最適位相から進んだとき生じる同相成分 $r(t)$ と直交成分 $i(t)$ を図3-5に示す。下側帯波を用いたVSB変調の場合の同相分と直交分の合成波形 $d(t)$ はタイミング位相制御が前節のアルゴリズムにしたがって制御されると、各識別時点は、 t_{-3}' 、 t_{-2}' 、 t_0' 、 t_{+1}' 、 t_{+2}' 、 t_{+3}' となっており、そのときの自動等化器の重み係数は、 $C_{+2} < 0$ 、 $C_{-2} > 0$ である。逆に、キャリアの位相が遅れている

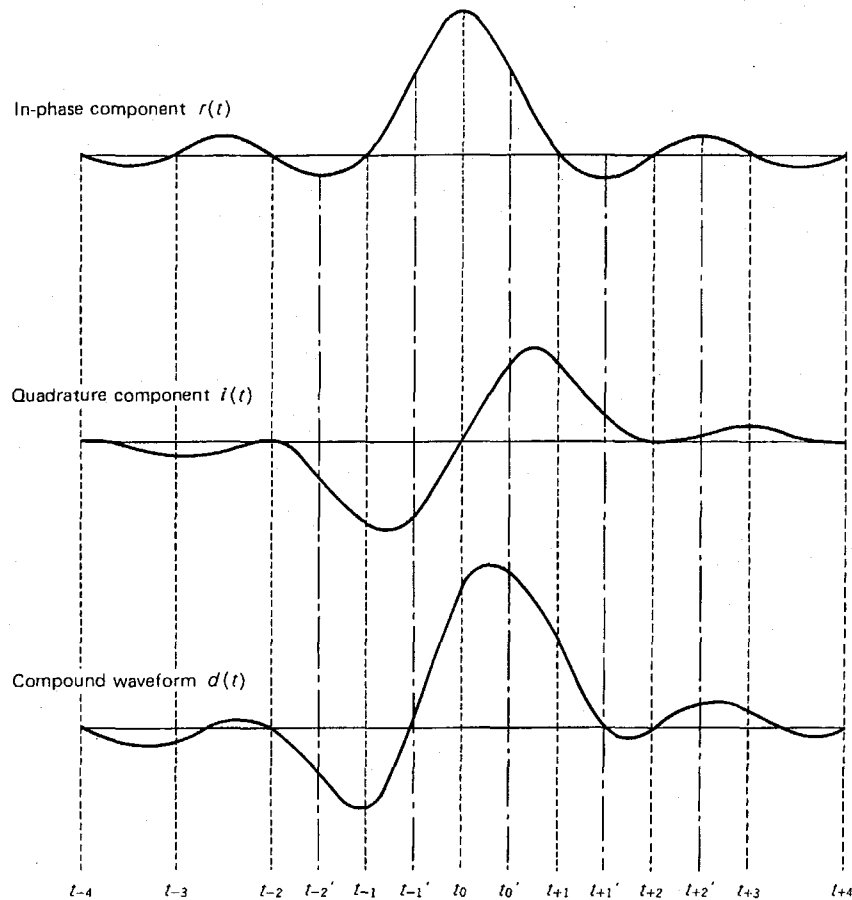


図 3-5 キャリア自動位相制御の原理

場合には、 $i(t)$ の極性は逆になり、タップ重み係数は $C_{+2} > 0$ 、 $C_{-2} < 0$ となる。また、上側帯波を用いたときは、以上の逆となる。

このようにして中心タップに対して ± 2 タップの重み係数 C_{+2} 、 C_{-2} の係数の極性を検出することにより、キャリアの位相を制御することが出来る。この場合も、タイミング位相制御と同様、伝送路特性を考慮して $C_{+2} = C_{-2}$ となるようにキャリアの位相制御を行う。

3. 3 自動位相制御方式の解析 [3-11]

3. 3. 1 多値伝送系の動作解析

多値信号のベースバンドおよびキャリアバンドにおけるスペクトルとしては、前出の図 3-2 を用いて解析を行うものとする。同図に示したように、VSBとしては上側帯波方式を考えることとし、 ω_s をナイキスト角周波数 ($\omega_s T_s = \pi$, T_s : シンボル間隔)、 ω_c をキャリア角周波数、 x および y をそれぞれナイキストロールオフ率、VSBロールオ

フ率とする。デジタル信号は f_s のナイキスト周波数に x のロールオフ率で整形されるとともに、 f_c のキャリア周波数で変調され、さらにこの上側側波部分が VSB のロールオフ率 y で整形される。

キャリアバンドのスペクトル $G(\omega)$ から、この帯域での信号の実数成分を求めると

$$\begin{aligned}
 P(t) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} G(\omega) \cos \omega t \, d\omega \\
 &= \frac{T_s}{\pi t} \left[\frac{\sin(\omega_c - \omega_s)t \cdot \cos x \omega_s t}{(2x\omega_s t / \pi)^2 - 1} + \frac{\sin \omega_c t \cdot \cos y \omega_c t}{1 - (2y\omega_c t / \pi)^2} \right]
 \end{aligned}
 \tag{3-1}$$

となり、虚数成分 $Q(t)$ は

$$\begin{aligned}
 Q(t) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} G(\omega) \sin \omega t \, d\omega \\
 &= \frac{T_s}{\pi t} \left[\frac{\cos(\omega_c - \omega_s)t \cdot \cos x \omega_s t}{(2x\omega_s t / \pi)^2 - 1} + \frac{\cos \omega_c t \cdot \cos y \omega_c t}{1 - (2y\omega_c t / \pi)^2} \right]
 \end{aligned}
 \tag{3-2}$$

となる。以後、式の取り扱いを容易にするため、ナイキスト側のロールオフ帯域と VSB 側のそれとを同じ値とする。すなわち、(3-3) が成り立つものとする。

$$x\omega_s = y\omega_c
 \tag{3-3}$$

ところで、復調キャリアに θ の位相偏差がある時のベースバンド信号 $g(t)$ は

$$\begin{aligned}
 g(t) &= P(t) \cos(\omega_c t + \theta) + Q(t) \sin(\omega_c t + \theta) \\
 &= \frac{\sin(\pi t / 2T_s) \cdot \cos(\pi x t / T_s)}{(\pi t / 2T_s) \{1 - (2x t / T_s)^2\}} \cdot \cos(\pi t / 2T_s + \theta)
 \end{aligned}
 \tag{3-4}$$

となる。

ここで、自動等化器は $(2m+1)$ タップのゼロフォーシング (ZF) アルゴリズムによる制御とし、そのタップ重み量を $C_{-m}, \dots, C_{-i}, \dots, C_{-1}, C_0, C_{+1}, \dots, C_{+i}, \dots, C_{+m}$ 、また出力信号を $h(t)$ とすると、自動等化器の出力は

$$h(t) = \sum_{i=-m}^{\infty} C_i g(t + iT_s)$$

(3-5)

のように表わされる。

この時、タップ重み量 C_i は

$$C_i \doteq -g_i h_0 / g_0 \doteq -g_i C_0 / g_0$$

$$C_0 \doteq h_0 / g_0 \doteq 1 / g_0$$

$$g_i = g(\tau + iT_S) \quad \tau : \text{タイミング偏差}$$

(3-6)

と近似的に求められる。

すなわち、自動等化器の収束後のタップ重み量は近似的に等化する前のインパルス応答の符号間干渉の逆極性の値に比例している。

ここで、タップ重み制御情報として $(C_{+i} - C_{-i})$ を用いる(必ずしもこの値でなくても、 C_{+i} または C_{-i} でもよい)。

式(3-4)を(3-6)に代入し、

$$|x| \ll 1, |\tau| \ll |T_S|, |\theta| \ll 1$$

の条件のもとに近似計算を行い、タイミング位相 ϕ ($\phi = 2\pi\tau/T_S$)と θ の関数で表わすと、

$$C_{+i} - C_{-i} = (4\theta + \phi) / i\pi \quad i: \text{奇数}$$

$$C_{+i} - C_{-i} = -\phi / i\pi \quad i: \text{偶数}$$

(3-7)

となる。

ところで、パイロット伝送方式の場合、タイミングパイロット周波数がナイキスト周波数に対応しており、多値識別時のタイミング信号は抽出したパイロット信号を2逡倍して得ていることから抽出したキャリアパイロット信号に位相偏差 θ を生ずるとタイミング位相には 2θ の位相偏差を生じることになる。すなわち、キャリア位相偏差を生じている時のタップ重み情報量は式(3-7)のタイミング位相を 2θ だけずらすことにより式(3-8)が得られる。

$$C_{+i} - C_{-i} = (\phi + 2\theta) / i\pi \quad i: \text{奇数}$$

$$C_{+i} - C_{-i} = -(\phi - 2\theta) / i\pi \quad i: \text{偶数}$$

(3-8)

式(3-8)から明らかなように、奇数タップ重み量および偶数タップ重み量には、キャリア位相偏差情報 θ とタイミング位相偏差情報 τ を1次の関数で含んでいる。

自動位相制御回路の目的は、自動等化器がその等化能力を最大に発揮できる条件を設定することであり、ZFアルゴリズムの場合、符号間干渉の絶対値和が最小とするキャリア位相およびタイミング位相に調整することである。以下では、この絶対値和を最小とするキャリア位相とタイミング位相の関係を求める。

自動等化器が正常に動作するとタップ内に相当する符号間干渉が除去され、タップ外に相当するひずみとタップ内で等化されタップ外に押し出されたひずみが等化後の残留ひずみとして残る。等化後の絶対値和 D は近似的に、

$$D \doteq \sum_{i=-\infty}^{-m-1} |h_i| / |h_0| + \sum_{i=m+1}^{\infty} |h_i| / |h_0|$$

$$= \sum_{i=-\infty}^{-m-1} \left| C_0 g_{i+\sum' C_1 g_{i-1}} \right| / |h_0| + \sum_{i=m+1}^{\infty} \left| C_0 g_{i+\sum' C_1 g_{i-1}} \right|$$

ただし、 Σ' は $l=0$ を除いた和を示す。

(3-9)

となるが、

$$|C_1| \ll |C_0| \quad (l \neq 0)$$

とすると

$$D \doteq \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left| \frac{\sin \{ \pi(\tau - iT_s) / 2T_s \} \cdot \cos \{ \pi x (\tau / T_s - i) \}}{\{ \pi(\tau - iT_s) / 2T_s \} \cdot \{ 1 - (2x(t/T_s) - i)^2 \}} \right|$$

$$\left| \frac{\sin(\pi t / 2T_s) \cdot \cos(\pi x t / T_s)}{(\pi t / 2T_s) \{ 1 - (2x t / T_s)^2 \}} \cdot \cos(\pi t / 2T_s + \theta) \right|$$

(3-10)

ただし、 Σ'' は、 $l = -m-1 \sim +m+1$ を除いた和を示す。

となり、 p を奇数、 q を偶数とすると

$$D \doteq \sum_{p=-\infty}^{\infty} \left| A_p(\tau) \tan(\pi t / 2T_s + \theta) \right| + \sum_{q=-\infty}^{\infty} \left| B_q(\tau) \right|$$

(3-11)

の形に表わされる。式(3-11)の θ に対する偏微分

$$\delta D / \delta \theta = 0$$

(3-12)

を満足する θ と τ の関係を求めれば、絶対値和が最小となる。式(3-12)は p の各々の項が

$$\pi \tau / 2T_s + \theta = \phi / 4 + \theta = 0$$

(3-13)

を満たすとき、絶対値和が最小となり、キャリア位相とタイミング位相の最適関係が得られる。ここで、パイロット伝送方式の場合には、(2)で述べたように 2θ の位相偏差を考慮し、

$$\phi = -2\theta$$

(3-14)

の関係を満足するとき、最適位相関係となる。

したがって、タイミング位相を制御する場合にはキャリア位相偏差に対応させて式(3-14)を満足するようタイミング位相を調整すれば、等化後の符号間干渉を最小にすることが出来る。一方、キャリア位相を制御する場合には、タイミング位相偏差に対応させて式(3-14)を満足させるようキャリア位相を調整すれば、等化後の符号間干渉を最小とすることが出来る。表3-1にこれらの最適位相関係を示す。

表3-1 キャリア位相とタイミング位相の最適位相関係

	キャリア位相偏差	タイミング位相偏差	位相偏差なし
キャリア位相	———	$\theta = -\phi_0 / 2$	0
タイミング位相	$\phi = -2\theta_0$	———	0

3. 3. 2 タップ重み情報による位相制御

前節で示したように、奇数タップおよび偶数タップの重み情報量にはキャリア位相偏差 θ とタイミング位相偏差 ϕ が含まれ、しかも奇数タップの重み量が0 ($C+k=C-k=0$ 、 k :奇数)となれば、符号間干渉が最小となるので、この情報を用いることにより、キャリア位相あるいはタイミング位相の制御が可能となる。また、前節で示したように、奇数タップおよび偶数タップの重み情報量にはキャリア位相偏差 θ とタイミング位相偏差 ϕ の情報量を含むので、これらのタップ重みの情報量も併用すればキャリア位相およびタイミング位相の偏差を0にでき、これらの位相の共通制御も可能となる。

(1) 奇数タップによる個別位相制御

<キャリア位相制御>

タイミング位相を一定 ($\phi = \phi_0$) に保ったまま奇数タップ重み情報を用いてキャリア位相を制御する場合の制御条件を以下に示す。

微小時間 $d t$ において、タップ重み情報量 $C_{+k} - C_{-k}$ (k : 奇数) に比例してキャリア位相を制御するものとし、この間のキャリア位相の変化を $d \theta$ とすれば次式が成立する。

$$\begin{aligned} d \theta / dt &= K (C_{+k} - C_{-k}) \\ &= K (\phi_0 + 2 \theta) / k \pi \end{aligned}$$

K: 比例定数 (3-15)

式 (3-15) の微分方程式を解くと

$$\theta = \theta_0 \exp(Kt/k\pi) + \phi_0 \{ \exp(Kt/k\pi) - 1 \} / 2$$

(3-16)

が得られる。ただし、 $t = 0$ の θ および ϕ の初期値をそれぞれ θ_0 、 ϕ_0 としている。

$t \rightarrow \infty$ で安定に収束するための引き込み条件は、

$$K < 0$$

(3-17)

であり、収束後のキャリア位相は

$$\theta = -\phi_0 / 2$$

(3-18)

となる。このときの位相制御方法を表 3-2 に示す。ここで、制御速度が 0 ($d \theta / d t = 0$) になるとき、表 3-1 の最適位相に収束する。

表 3-2 奇数タップ重みによるキャリア位相制御

タップ重み量	制御方法	収束位相
$C_{+k} - C_{-k} > 0$ (k : 奇数)	$d \theta / dt < 0$ 進ませる	$\theta = -\phi_0 / 2$
$C_{+k} - C_{-k} < 0$ (k : 奇数)	$d \theta / dt > 0$ 遅らせる	$\theta = -\phi_0 / 2$

<タイミング位相制御>

復調キャリア位相を一定値 ($\theta = \theta_0$) に保ったまま、タイミング位相 ϕ を奇数タップにより比例制御する。ここで、微小時間 $d t$ におけるタイミング位相の変化を $d \phi$ とすれ

ば、次式が成立する。

$$\begin{aligned} d\phi/dt &= L(C_{+k} - C_{-k}) \\ &= L(\phi + 2\theta_0) / k\pi \quad L: \text{比例定数} \end{aligned} \quad (3-19)$$

この微分方程式を解くと

$$\phi = \phi_0 \exp(Lt/k\pi) + 2\theta_0 \{ \exp(Lt/k\pi) - 1 \} \quad (3-20)$$

が得られる。

$t \rightarrow \infty$ で安定に収束するための引き込み条件は

$$L < 0 \quad (3-21)$$

であり、収束後のタイミング位相 ϕ は

$$\phi = -2\theta_0 \quad (3-22)$$

に収束する。この時、表 3-1 の最適位相関係を満足している。制御方法を表 3-3 に示す。

表 3-3 奇数タップ重みによるタイミング位相制御

タップ重み量	制御方法	収束位相
$C_{+k} - C_{-k} > 0$ (k : 奇数)	$d\phi/dt < 0$ 進ませる	$\phi = -2\theta_0$
$C_{+k} - C_{-k} < 0$ (k : 奇数)	$d\phi/dt > 0$ 遅らせる	$\phi = -2\theta_0$

(2) 奇数タップと偶数タップの双方によるキャリア位相・タイミング位相の同時制御

奇数タップ重み情報と偶数タップ重み情報の双方を用い、キャリア位相とタイミング位相を最適値に制御する場合の制御条件を以下に示す。

(2-1) 偶数タップによるキャリア位相制御、奇数タップによるタイミング位相制御
微小時間 dt の変化に対してキャリア位相の変化を $d\theta$ 、タイミング位相の変化を $d\phi$ とし、それぞれのタップ重み情報に比例して制御するものとするれば

$$\begin{aligned} d\theta/dt &= M_1 (C_{+k} - C_{-k}) & k: \text{偶数} \\ d\phi/dt &= M_2 (C_{+n} - C_{-n}) & n: \text{奇数} \end{aligned}$$

M_1, M_2 : 比例定数

(3-23)

が成り立ち、式(3-8)を代入すれば次式が得られる。

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \theta \\ \phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2M_1/k\pi & -M_1/k\pi \\ 2M_2/n\pi & M_2/2n\pi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \phi \end{pmatrix}$$

(3-24)

式(3-24)の連立微分方程式の解は、行列の固有値(λ_1, λ_2)の値によって以下の3種類の解が得られる。

1) 固有値が実根の場合

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{2M_1}{k\pi} + \frac{M_2}{2n\pi} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{2M_1}{k\pi} + \frac{M_2}{2n\pi} \right)^2 - \frac{12M_1M_2}{kn\pi^2}} \right\}$$

(3-25)

とすると、式(3-24)の解は式(3-26)、(3-27)となる。

$$\theta = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ -\frac{M_1}{k\pi} \phi_0 - \left(\lambda_2 - \frac{2M_1}{k\pi} \right) \theta_0 \right\} \exp(\lambda_1 t) + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ \frac{M_1}{k\pi} \phi_0 + \left(\lambda_1 - \frac{2M_1}{k\pi} \right) \theta_0 \right\} \exp(\lambda_2 t)$$

(3-26)

$$\phi = \frac{\lambda_1 - \frac{2M_1}{k\pi}}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ \phi_0 + \left(\frac{k\pi}{M_1} \lambda_2 - 2 \right) \theta_0 \right\} \exp(\lambda_1 t) - \frac{\lambda_2 - \frac{2M_1}{k\pi}}{\lambda_1 - \lambda_2} \left\{ \phi_0 - \left(\frac{k\pi}{M_1} \lambda_1 - 2 \right) \theta_0 \right\} \exp(\lambda_2 t)$$

(3-27)

なお、 $t=0$ における初期位相を θ_0, ϕ_0 としている。

2) 固有値が等実根の場合

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2M_1}{k\pi} + \frac{M_2}{2n\pi} \right)$$

(3-28)

であり、式(3-24)の解として式(3-29)、(3-30)が得られる。

$$\theta = \left\{ \theta_0 - \left(\frac{M_1}{k\pi} \phi_0 + \left(\lambda_1 - \frac{2M_1}{k\pi} \right) \theta_0 \right) t \right\} \exp(\lambda_1 t)$$

(3-29)

$$\phi = \left\{ \phi_0 + \left(\lambda_1 - \frac{2M_1}{k\pi} \right) \left(1 + \left(\frac{k\pi}{M_1} \lambda_1 - 2 \right) \theta_0 \right) t \right\} \exp(\lambda_1 t)$$

(3-30)

3) 固有値が複素根の場合

$$\lambda_1 = \alpha + j\beta, \lambda_2 = \alpha - j\beta$$

(3-31)

とし、 α および β を次式のようにおく。

$$\alpha = \frac{4nM_1 + kM_2}{4kn\pi}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{3M_1M_2}{kn\pi^2} - \left(\frac{4nM_1 + kM_2}{4kn\pi}\right)^2}$$

(3-32)

この時、式(3-24)の解は式(3-33)、(3-34)となる。

$$\theta = \left\{ \frac{M_1}{\beta k \pi} \left(\frac{3}{2} \theta_0 - \phi_0 \right) \sin \beta t + \theta_0 \cos \beta t \right\} \exp(\alpha t)$$

(3-33)

$$\phi = \frac{k\pi}{M_1} \exp(\alpha t) \left\{ \theta_0 \left(\frac{kM_2 - 4nM_1}{4kn\pi} \cos \beta t - \beta \sin \beta t \right) - \frac{1}{\beta} \left(\frac{M_1}{k\pi} \phi_0 + \frac{kM_2 - 4nM_1}{4kn\pi} \theta_0 \right) \left(\frac{kM_2 - 4nM_1}{4kn\pi} \sin \beta t + \beta \cos \beta t \right) \right\}$$

(3-34)

以上の1) - 3)の3種類の場合を、制御係数 M_1 、 M_2 の値に対応させて分類すると図3-6のようになる。

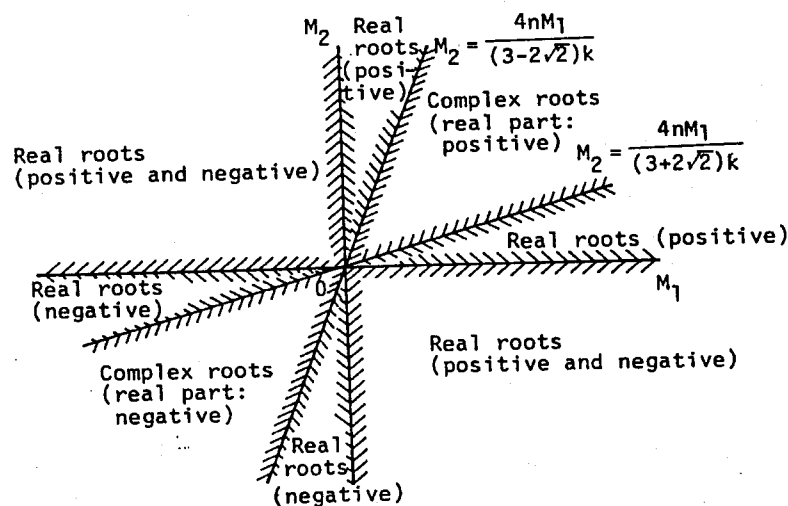


図3-6 制御係数 M_1 、 M_2 の変化に対応する固有値

同図から明らかなように、複素根と実根の境界は

$$M_2 = 4nM_1 (3 \pm 2\sqrt{2}) / k$$

の2直線で与えられ、また実根の正負の極性の境界は

$$M_1=0, M_2=0$$

で与えられる。

また、制御係数 M_1 、 M_2 の変化に対応して、キャリア位相およびタイミング位相平面(θ 、 ϕ)上での平衡点を求めると、表3-4のようになる。

表3-4 制御係数 M_1 、 M_2 に対応する固有値と平衡点

M_1	M_2	固有値	平衡点
負	$M_2 < 4nM_1(3+2\sqrt{2})/k$ $4nM_1(3+2\sqrt{2})/k < M_2 < 4nM_1(3-2\sqrt{2})/k$ $4nM_1(3-2\sqrt{2})/k < M_2 < 0$ $0 < M_2$	2実根 複素根(実部負) 負の2実根 正負の実根	安定結節点 安定渦状点 安定結節点 鞍状点
正	$M_2 < 0$ $0 < M_2 < 4nM_1(3-2\sqrt{2})/k$ $4nM_1(3-2\sqrt{2})/k < M_2 < 4nM_1(3+2\sqrt{2})/k$ $4nM_1(3+2\sqrt{2})/k < M_2$	正負の実根 正の2実根 複素根 正の2実根	鞍状点 不安定結節点 不安定渦状点 不安定結節点

同表から明らかなように、原点(位相偏差0、すなわち $\theta = \phi = 0$)に安定に収束するためには、

$$M_1 < 0, M_2 < 0$$

を満たす必要があり、この場合の平衡点は安定結節点または安定渦状点となる。

また、安定に収束させるための位相制御方法を表3-5に示す。

同表に示した制御法の一例として、PCM1次群PCM-FDM変換装置においては、キャリア位相の制御に2タップ、タイミング位相の制御には1タップの重み量を用いてそれぞれの制御を行っている。

以上で述べた解析例として、1)の固有値が負の2実根すなわち位相平面上では安定結節点の場合を図3-7に示す。

表 3-5 キャリア位相とタイミング位相の共通制御法

位相	$C+k-C-k$	制御方法	収束位相
キャリア位相 (k : 偶数)	正	$d\theta/dt < 0$ 進ませる	$\theta = 0$
	負	$d\theta/dt > 0$ 遅らせる	
タイミング位相 (k : 奇数)	正	$d\phi/dt < 0$ 進ませる	$\phi = 0$
	負	$d\phi/dt > 0$ 遅らせる	

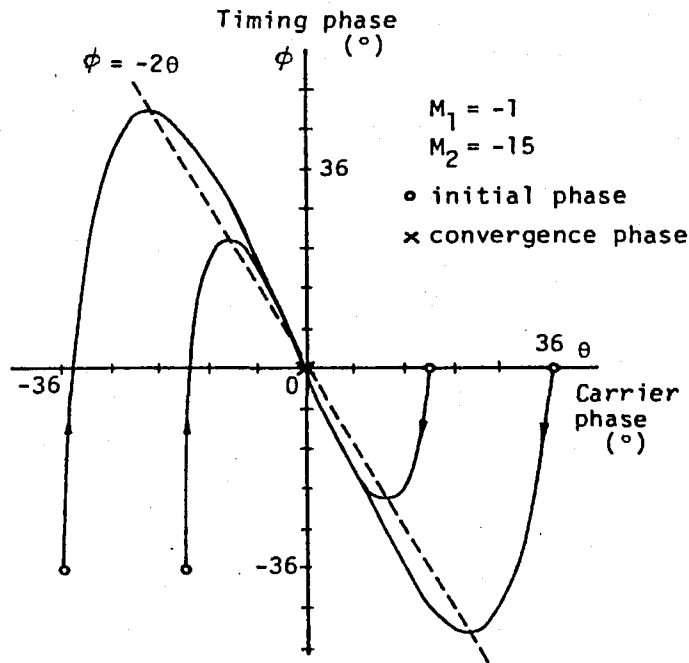


図 3-7 位相平面上的の制御軌跡

同図は、 $M_1 = -1$ 、 $M_2 = -15$ の場合の位相平面上的の制御軌跡を示したものであり、初期位相 (○で示す) から出発してタイミング位相がまず制御され、 ($|M_2| \gg |M_1|$)、さらに破線で示す

$$\phi = -2\theta$$

の直線に沿って平衡点 (Xで示す) まで安定に収束することがわかる。

(2-2) 奇数タップ重みによるキャリア位相、偶数タップ重みによるタイミング位相制御

(2-1) の場合と同様、微小時間 dt の変化に対するキャリア位相、タイミング位相の変化を $d\theta$ 、 $d\phi$ とすれば、

$$d\theta/dt = N_1 (C+k-C-k) = N_1 (\phi + 2\theta) / 2k\pi \quad k: \text{奇数}$$

$$d\phi/dt = N_2 (C_{+n} - C_{-n}) = -N_2 (\phi - 2\theta) / n\pi \quad n: \text{偶数}$$

N_1, N_2 : 比例定数

(3-38)

が成立する。この場合も制御係数 N_1, N_2 の値によって固有値は実根あるいは複素根となる。図3-8にこれらの領域を示す。

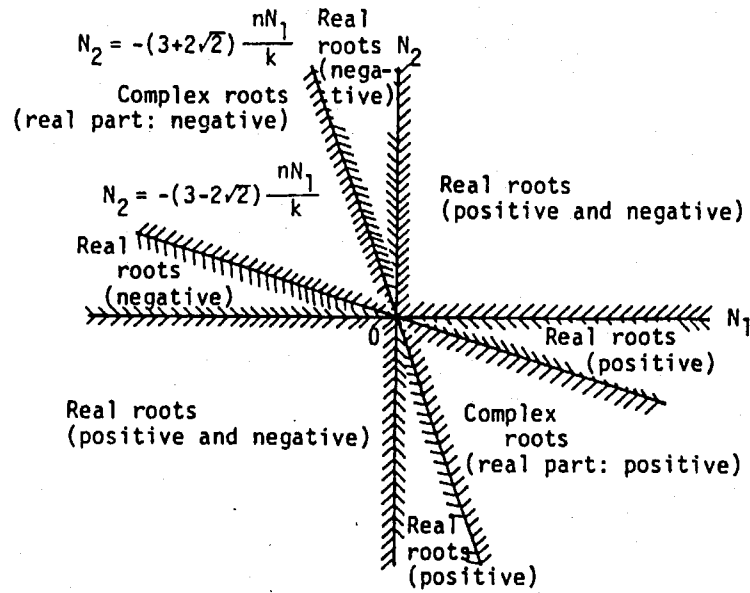


図3-8 制御係数 N_1, N_2 の変化に対応する固有値

実根と複素根の境界は

$$N_2 = - (3 \pm 2\sqrt{2}) nN_1 / k \quad (3-39)$$

であり、さらにその実根の極性の境界は

$$N_1 = 0, N_2 = 0 \quad (3-40)$$

である。また、キャリア位相・タイミング位相平面上で時間の経過とともに平衡点（原点）に安定に収束するためには、

$$N_1 < 0, N_2 > 0 \quad (3-41)$$

を満たす必要があり、この時の位相制御法を表3-6に示す。

この場合の解析例として、固有値が負の2実根であり、位相平面上で安定結節点となる場合を図3-9に示す。

表3-6 キャリア位相とタイミング位相の共通制御法

位相	C+k-C-k	制御方法	収束位相
キャリア位相 (k: 奇数)	正	$d\theta/dt < 0$ 進ませる	$\theta = 0$
	負	$d\theta/dt > 0$ 遅らせる	
タイミング位相 (k: 偶数)	正	$d\phi/dt < 0$ 進ませる	$\phi = 0$
	負	$d\phi/dt > 0$ 遅らせる	

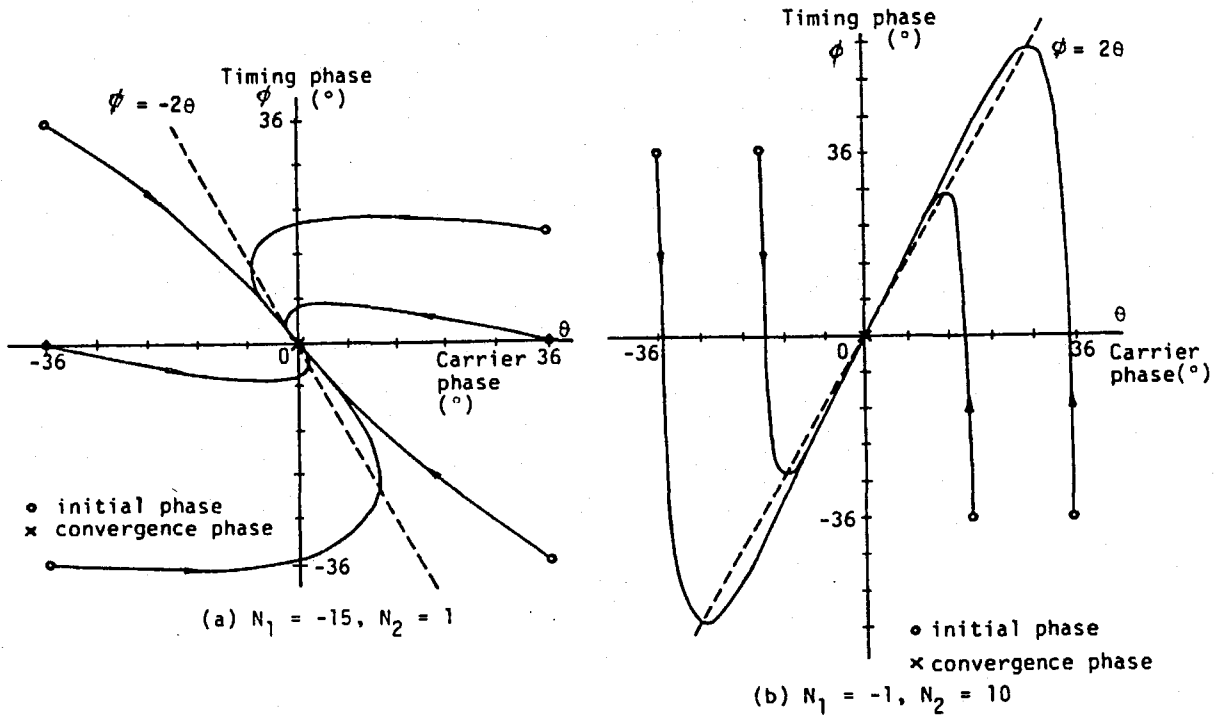


図3-9 位相平面上の制御軌跡

図3-9 (a) は、 $N_1 = -15$ 、 $N_2 = 1$ の場合であり、○印の初期位相から制御され時間の経過とともに

$$\phi = -2\theta$$

の直線にはほぼ沿ってX印の平衡点まで安定に収束している。一方、図3-9 (b) は、 $N_1 = -1$ 、 $N_2 = 10$ の場合であり、タイミング位相の制御係数が大きいため

$$\phi = 2\theta$$

の直線に沿って平衡点に収束している。

3. 4 実験とその評価

以上の解析結果の有効性を確認するため、PCM 2次群用PCM-FDM変換装置を

用いてキャリアおよびタイミング自動位相制御系の特性を測定した。実験に用いた装置の主な諸元を表3-7に示す。

表3-7 実験装置の主要諸元

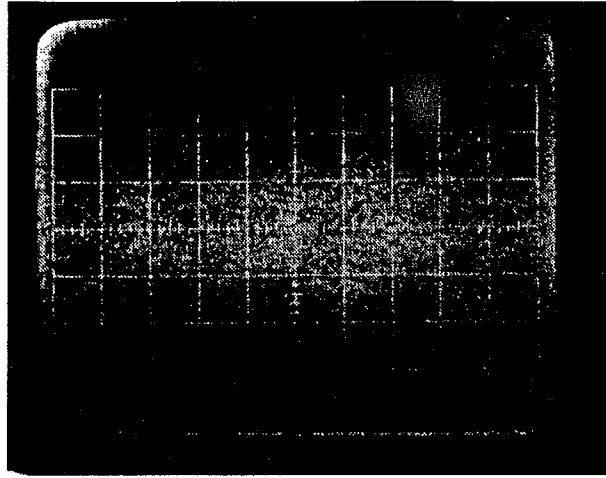
項目	諸元
伝送速度	6.312Mb/s
多値数	12値 (隔パルス積分値制御符号)
変復調方式	VSB変調 (下側側帯波)、同期復調
信号帯域	主群 (0.812MHz-2.044MHz)
パイロット周波数	キャリア: 1.884MHz、タイミング: 0.954MHz
ロールオフ率	VSB側: 6%、ナイキスト側: 7%
自動等化器	41タップトランスバーサルフィルタ構成

実験に使用した装置は、6.312Mb/sのPCM信号をFDM伝送路の1主群帯域を用いて12値伝送する方式である。受信部で抽出するキャリアおよびタイミング信号のジッタを抑圧するため、隔パルス積分値制御符号を用いている。また、自動等化器は41タップのトランスバーサル形フィルタ構成である。図3-10に自動等化器で等化する前後のアイパターンを示す。同図に示すように、一つおきのパルス列に対する隔パルス積分値制御符号を用いているので、通常レベル(12値)の32個に1個のフレーム(4値)情報を設け、2ビットの情報(4値)を割り当てている。

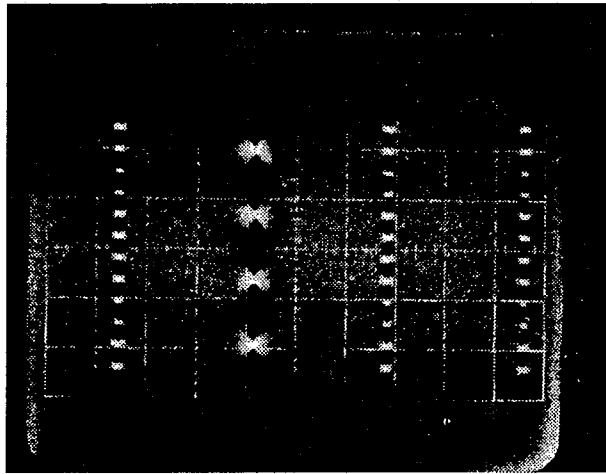
3.4.1 1タップによるキャリア位相制御とタイミング位相制御

奇数タップとして主タップに隣接する(± 1)タップの重み量の差を用いてキャリア位相あるいはタイミング位相を制御し、収束後の位相を求めた結果を図3-11および図3-12に示す。

同図で実線で囲まれた領域は、復調キャリアおよび多値識別タイミングの各位相を各々独立に設定して自動等化器を動作させ符号誤り率が 10^{-8} 以下で引き込んでいる範囲である。また、破線で示したのは $C+1=C-1$ となり両隣接タップの重みが等しくなるキャリア位相とタイミング位相の関係を求めたものである。この曲線は、キャリア位相・タイミング位相平面上で自動等化器の引き込み範囲の対角線の位置に相当し、ほぼ最適位相の関係を満たすので、3.3.2節の解析結果と傾向が良く合う。また、タイミング位相を引き込み範囲内の $110^{\circ} \sim 240^{\circ}$ に設定し、キャリア位相の初期位相を $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ まで変化させてその収束範囲を測定した結果を図3-11の斜線の領域で示す。



(a) Eye pattern (Before equalization)



(b) Eye pattern (After equalization)

図 3 - 1 0 自動等化器の等化前後のアイパターン (1 2 値)

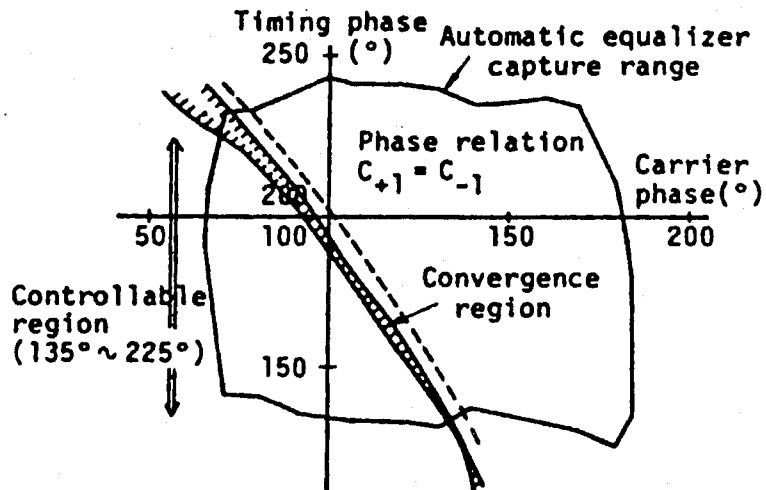


図 3 - 1 1 キャリア位相制御 (1タップ)

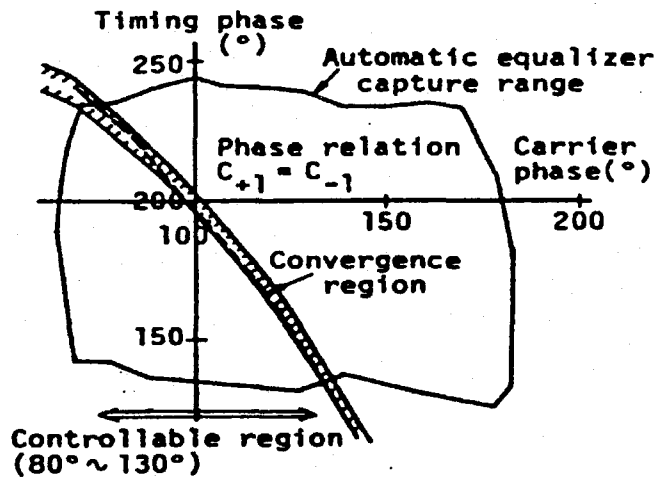


図3-12 タイミング位相制御 (1タップ)

この結果、タイミング位相が $135^{\circ} \sim 225^{\circ}$ の範囲において、 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ のキャリア位相の変化に対し、約 10° 以内の収束範囲となった。次に、タイミング位相制御の場合、 $80^{\circ} \sim 130^{\circ}$ のキャリア位相における収束範囲は、図3-12の破線に沿った約 10° 以内の斜線で示す領域となった。

以上の結果より、奇数タップである1タップの重み量を用いて、キャリア位相あるいはタイミング位相を個別に最適位相に制御できることを確認した。

3. 4. 2 共通最適化による自動位相制御軌跡

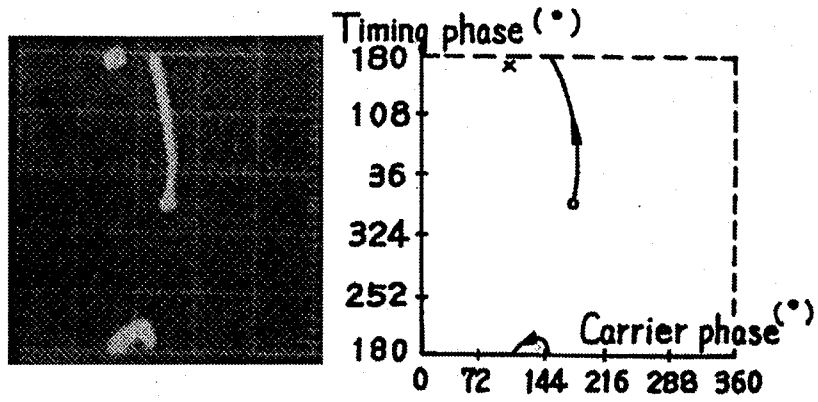
キャリア位相の制御に1タップ、タイミング位相の制御に2タップの重み情報を用い、(キャリア位相 180° 、タイミング位相 0°) および (キャリア位相 80° 、タイミング位相 260°) の2個所に初期位相を設定し、制御系を動作させてその動作軌跡を求めたのが図3-13 (a)、(b)である。また、図3-13 (c) はこれらの軌跡と自動等化器の引き込み範囲との相対関係を示したものであり、自動等化器の引き込み範囲のほぼ中心 (自動等化器の最適位相) に制御されている。

ここで、タイミング位相制御系の制御力をキャリア位相系に比べて約10倍大きくしている (これらの制御系で時定数に10倍の差を持たせている) ので、前節に述べたようにキャリア位相がほぼ保持されたままタイミング位相が制御され、さらに

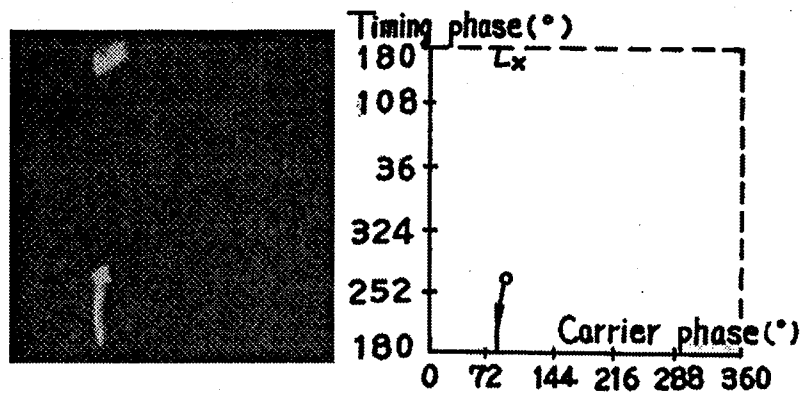
$$\phi = 2\theta$$

に沿って制御されている。

以上の結果より、前節の解析結果とほぼ同様の位相制御軌跡を確認し、本解析の有効性を確認した。



(a) ○ Initial phase (Carrier 180°, Timing 0°)
 × Convergence phase (Carrier 105°, Timing 175°)



(b) ○ Initial phase (Carrier 80°, Timing 260°)
 × Convergence phase (Carrier 104°, Timing 175°)

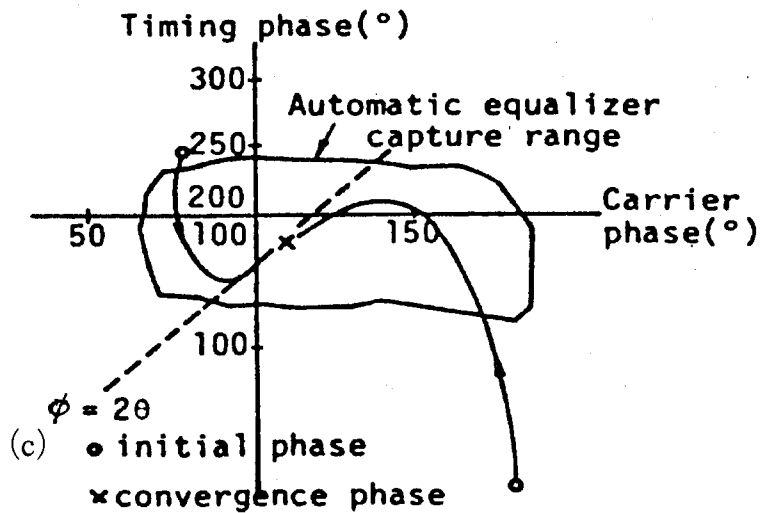


図 3-13 自動等化器の引き込み範囲と位相制御軌跡

3. 4. 3 伝送ひずみがある場合の位相制御特性

PCM 2次群用PCM-FDM伝送方式を対象にシミュレーションを行い、伝送ひずみに対する自動等化器の引き込み特性および等化器のタップ重み量から得られる制御情報を求めた。伝送ひずみとしては、MG変換装置で発生する代表的な放物形の2乗遅延特性を与え、このときのキャリア位相偏差およびタイミング位相偏差による引き込み範囲およびタップ重み量の極性を求め、図3-14に示す。同図に示すように、自動等化器の引き込

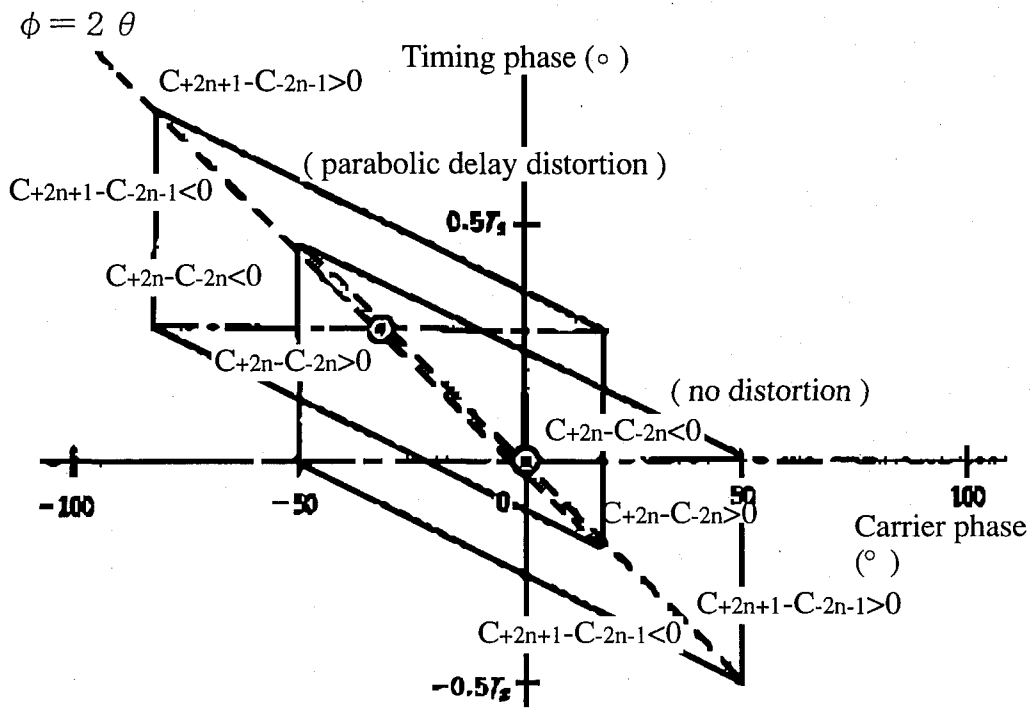


図3-14 位相制御情報と自動等化器の引き込み範囲

み範囲としては、キャリア位相 $-50^{\circ} \sim +50^{\circ}$ の約 100° 、タイミング位相は約 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ の範囲であり、これらにより平行四辺形の範囲となっている。ここで、自動等化器の偶数タップ重み量 ($C_{+2n} - C_{-2n}$) が0となるのは短辺の対角線であり、奇数タップ重み量 ($C_{+2n+1} - C_{-2n-1}$) が0となるのは長辺の対角線である。一方、 $\phi = 2\theta$ となる最適位相の関係は平行四辺形の引き込み範囲の対角線となり、位相制御によってタップ重み量が0となるように制御されるとこの対角線上に移動し、自動等化器の引き込み範囲のほぼ中心に引き込まれることになる。

放物形の2乗遅延ひずみによりキャリア位相、タイミング位相とも遅れる方向に移動するが、帯域端の遅延量が $4T_S$ 程度であれば自動等化器の引き込み範囲の大きさに変化はな

く十分引き込みが可能である。この様子を図3-15に示す。帯域端の遅延量が $8T_s$ 程度

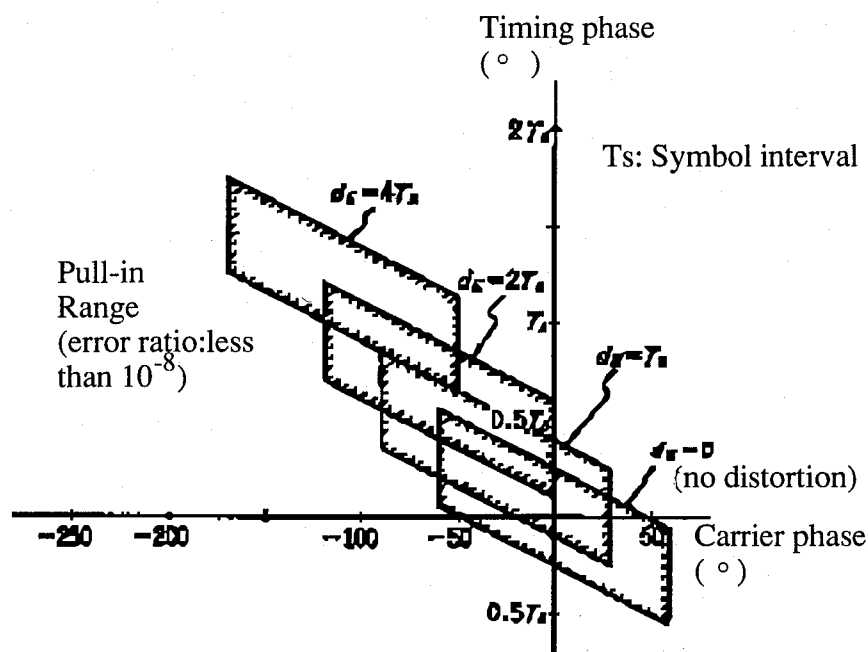


図3-15 伝送ひずみがある場合の自動等化器の引き込み範囲

になると引き込み範囲はかなり小さくなり、また位相ずれも大きくなる。これらのシミュレーション結果より、この自動等化器は $4T_s$ 程度の遅延ひずみであれば十分に引き込みが可能である。

次に、PCM2次群用PCM-FDM変換装置を用いて実験を行い、雑音を付加してS/Nを変化させ、誤り率特性を測定した。結果を図3-16に示す。同図は、伝送路のリンク数(MG5)を多段(1~3段)に接続し、伝送ひずみを加えたときの劣化量を求めたものである。

同図で最も左側の長い直線は理想曲線であり、劣化がない場合の誤り率特性である。S/Nが32~34dBで1リンクから3リンクの時、誤り率は約 10^{-8} となる。MG5の伝送路を最大3リンクと増加させた場合、劣化量は約2dBであり、位相制御系が正常に動作し、自動等化器も十分に等化していると考えられる。以上の結果から本自動等化器が等化出来る伝送ひずみの限界値として

$$\text{遅延ひずみ} \cdots 2.1 \mu\text{s} = 4T_s$$

の値を設定する(なお、伝送ひずみを加えた他の実験から、減衰ひずみに対する劣化量も求め、4dBpp以内であれば十分引き込むことを確認し、減衰ひずみの限界値としては

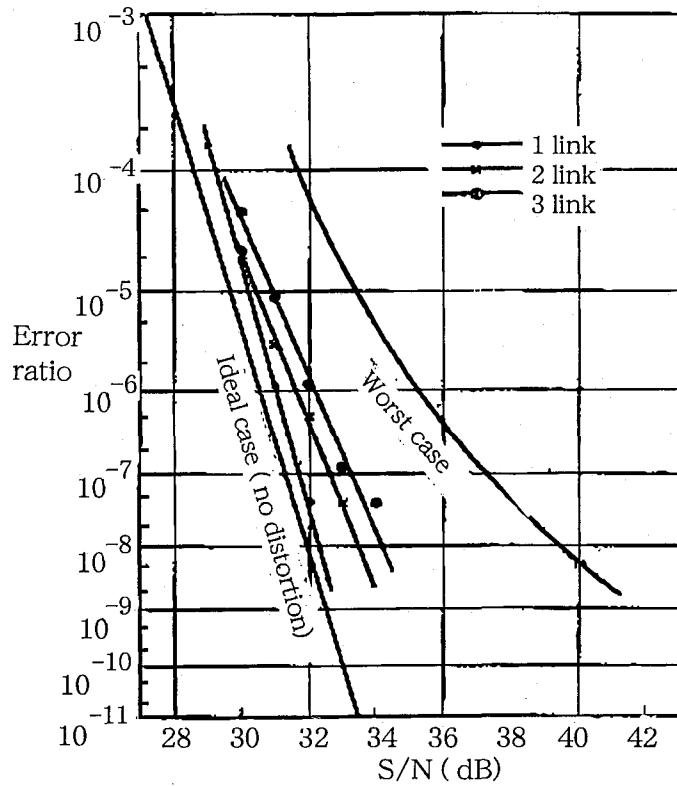


図 3-16 S/Nに対する誤り率特性

上記の値を設定している)。

また、放物型の遅延ひずみを与えた時の自動等化器のシミュレーションを行い、自動等化器のタップ番号とその重み量をグラフにしたのが、図 3-17 である。同図で、遅延ひ

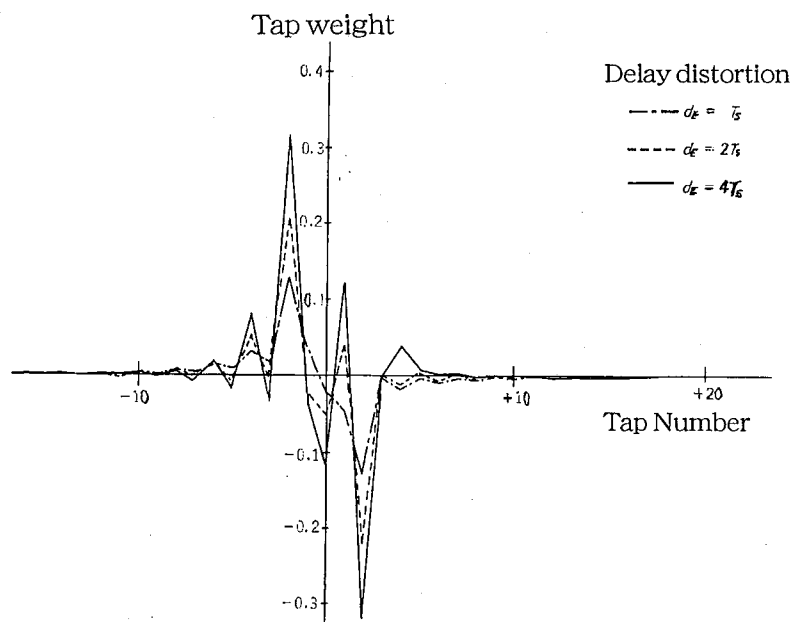


図 3-17 自動等化器のタップ重み量

ずみを T_s 、 $2T_s$ 、 $4T_s$ と変化させると、自動等化器のタップ重み量は中心タップに近いほどその影響を受けやすく、またその影響も大きい。この結果および実験装置を用いた特性からPCM 2次群用PCM-FDM伝送方式では、中心タップから5タップ以上離れたタップ重み量を用いて制御することとし、上記の最大遅延ひずみ $4T_s$ および減衰ひずみ4 dBppに対して正常に動作することを確認した [3-12] [3-13]。

3. 5 まとめ

以上、トランスバーサル形自動等化器のタップ重み量を用いたキャリアおよびタイミング自動位相制御方式の動作特性を明らかにした。本解析では、ベースバンドでのナイキスト整形およびキャリアバンドでのVSB整形による多値伝送を行い、各種伝送ひずみ特性のもとでの制御特性を求め、以下の結論が得られた。

1) キャリア情報およびタイミング情報をそれぞれパイロット伝送する場合、自動等化器のタップ重み情報にはキャリアとタイミング位相偏差情報を1次の関数で含んでいるので、これらのパイロット情報を受信側で抽出して奇数タップ重みが0となる位相条件がひずみが最小となる。

2) 自動等化器の奇数タップ、偶数タップの重み量を用いて、キャリアまたはタイミング位相を個別または同時に双方の位相を同時に最適位相に制御することが可能である。両者の位相を共通に最適化する場合には、キャリア・タイミング位相平面上で安定結節点となり、安定に収束する。また、不安定となる条件を解析的に求め、実験においてもその動作を確認した。

3) 伝送ひずみが大きい場合には、自動等化器のタップ重み量は中心タップに近いほどその影響を受けやすく、発散することもあるので、PCM 2次群用PCM-FDM方式の場合には中心タップから5以上離れたタップ重み量を用いてキャリア位相およびタイミング位相を制御することとした。実験装置を用いて、最大適用伝送ひずみの場合においても自動位相制御系の正常引き込み特性を確認した。

参考文献

[3-1] 青木利晴、“PCM-FDM方式”、信学誌、Vol.57 No.12 p1424 (1974)

[3-2] 辻井、鎌田、“伝送における適応技術—自動波形等化—”、信学誌、Vol.58

No.10 pp.1092-1100 (1975)

- [3-3] 山本、遠藤、“1.544Mb/sPCM-FDM伝送方式用自動波形等化器”、通研実報第23巻第6号、pp.1115-1149 (1974)
- [3-4] 佐藤洋一、“通信回線における自動等化の原理と諸問題”、日経エレクトロニクス、2-23 pp.76-106 (1976)
- [3-5] 山本、三木、渡辺、“PCM-FDM方式における一考察”、信学技報 CS71-69 (1971)
- [3-6] 青木、山本、渡辺、小川、遠藤、若原、橋本、“1.544Mb/sPCM-FDM変換装置の設計と伝送特性”、通研実報第23巻第6号、pp.1081-1113 (1974)
- [3-7] 青木、渡辺、小川、遠藤、若原、橋本、“音声下部帯域用1.544Mb/sPCM-FDM変換装置の設計”、通研実報第25巻第4号、pp.671-708 (1976)
- [3-8] 小川、酒井、若原、“6.312Mb/s PCM-FDM変換装置の設計”、通研実報第26巻第3号、pp.985-1010 (1977)
- [3-9] 松本、高島、“DAT-2C方式の概要-PCM-FDM 2次群変換装置-”、施設 第29巻第3号、pp.103-109 (1977)
- [3-10] 渡辺、若原、“1.544Mb/sPCM-FDM伝送方式同期系の設計”、通研実報第23巻第6号、pp.1151-1182 (1974)
- [3-11] 若原、渡辺、“タップ重み量を用いた自動位相制御回路の動作解析”、信学論文誌、Vol.J66-B No.12、pp.1510-1517 (1983)
- [3-12] 若原、高野、橋本、“PCM 2次群用PCM-FDM変換装置の伝送特性”、昭51信学総合全大1533 (1976)
- [3-13] 若原、高野、“PCM-FDM方式の位相制御に関する一検討”、昭51信学通信部門全大149 (1976)

第4章 マルチポイント通信系の同期方式とその応用

4.1 まえがき

前章までは、ポイント・ポイント通信における同期方式について述べてきた。本節では、複数の端末間で通信を行う場合に必要となるマルチポイント通信系の同期方式に関し、映像通信の同期方式およびこれを用いた多地点間テレビ会議システムの構成法を中心に述べる。

4.1.1 映像信号のフォーマット

映像信号として代表的なNTSC (National Television System Committee) 信号をデジタル処理で扱う場合、32 Mb/s フレーム内符号化方式や1.5 Mb/s のフレーム間符号化方式では、映像の水平同期信号を基準とするクロック信号で標本化している[4-1]。これらのCODECを用いて、複数の端末間でマルチポイント通信を行う場合、映像信号の水平同期の位相同期はとれるが、カラーサブキャリア信号の位相は端末のカメラなどによりバラツキがあり、対地毎に位相が異なっている。複数対地の映像信号を単に分配するだけで合成処理などを行わなければこの位相差は特に問題とならないが、画面合成など同時に色信号の処理も必要になる場合には、正しい色を再現できない。したがって、映像信号をマルチポイント構成で通信する場合には、水平同期、垂直同期およびフレーム同期の他にカラー副搬送波（サブキャリア）の位相同期が必要となる。図4-1にNTSC映像の水平同期信号、カラーバースト（Color burst signal）信号、映像信号とその標本化位置の関係を示す。同図に示すように、一水平走査線毎に映像の輝度信号と色信号について910個の標本化を行っているが、標本化の基準位置は水平同期信号である。

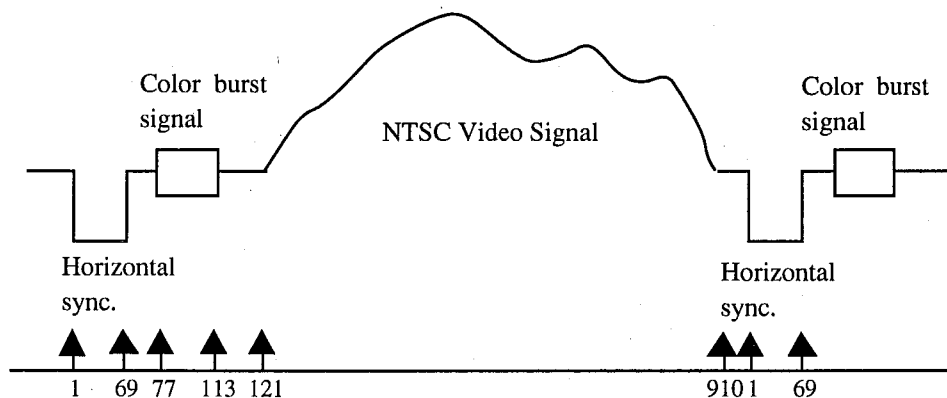


図4-1 NTSC映像信号の標本化位置

なお、この輝度信号と色信号は時分割多重して伝送され、TDM (Time Division Multiplex) -PCM方式とも呼ばれる。このフォーマットを用いると、異なる映像符号化方式 (32 Mb/s フレーム内符号化方式や 1.5 Mb/s のフレーム間符号化方式) を用いても符号化パラメータ (輝度信号および色信号のサンプル数、標本化速度など) は共通な値を用いているので、品質を損なうことなく縦続接続することが可能となり、長距離のフレーム間符号化方式および短距離のフレーム内符号化方式を多段に接続して柔軟に伝送方式を構成出来る。

4. 1. 2 色位相変換方式 [4-2]

水平同期信号を基準として標本化を行う映像符号化方式では、色分離復調した後の色成分は、カラーバースト信号も含め、 C_1 軸成分とこれに直交する C_2 軸成分によって表わされる。この C_1 、 C_2 軸を、 $B-Y$ 軸、 $R-Y$ 軸まで回転させた軸を U 軸 (カラーバースト信号と 180 度位相の異なる軸)、 V 軸と規定する。図 4-2 にこの関係を示す。

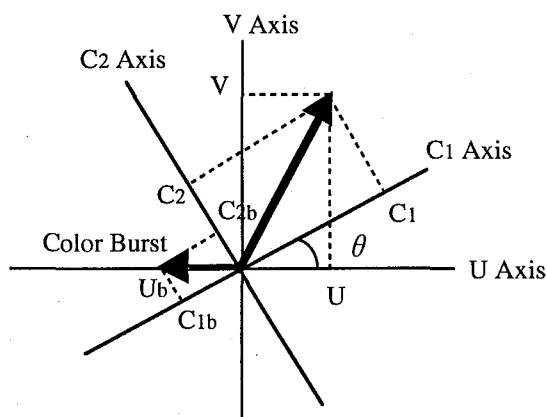


図 4-2 C_1 、 C_2 軸と U 、 V 軸の関係

この U 軸とある対地からの入力信号の C_1 軸からの位相差を θ とすれば、この θ が各対地毎に異なっており、水平同期信号のサブキャリアの位相差 ($180 + \theta$) に対応している。したがって、各対地からの映像信号を合成する場合などには、各映像の色信号を同相化する必要があり、基準位相として U 軸に設定する。これは、バースト信号値を用いて変換するための変換式が簡単になること、バーストスタート点が水平同期信号のリーディングエッジから 19 サイクル分と定義 (RS-170A 規格) されており、これが U 軸に対応しているからである。

C_1 軸と U 軸との位相差 θ は、色信号と同時に伝送されるカラーバースト信号の C_1

軸、 C_2 軸成分によって得られるため、各対地からの入力信号はすべてU、V軸に変換でき、同一位相とすることが可能になる。ここで、入力カラーバースト信号値を C_{1b} 、 C_{2b} 、U軸およびV軸上のカラーバースト信号値を U_b 、 V_b とすれば、

$$\begin{aligned} U_b &= C_{1b} \cos \theta + C_{2b} \sin \theta = -(C_{1b}^2 + C_{2b}^2)^{1/2} \\ V_b &= -C_{1b} \sin \theta + C_{2b} \cos \theta = 0 \end{aligned} \quad (4-1)$$

が得られる。これより $\sin \theta$ と $\cos \theta$ は、それぞれ以下のように求められる。

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{C_{2b}}{(C_{1b}^2 + C_{2b}^2)^{1/2}} \\ \cos \theta &= \frac{-C_{1b}}{(C_{1b}^2 + C_{2b}^2)^{1/2}} \end{aligned} \quad (4-2)$$

U軸、V軸上の色信号値(U、V)は、入力信号値(C_1 、 C_2)を用いて

$$\begin{aligned} U &= C_1 \cos \theta - C_2 \sin \theta \\ V &= C_1 \sin \theta - C_2 \cos \theta \end{aligned} \quad (4-3)$$

と表わされるから

$$\begin{aligned} U &= \frac{-C_1 C_{1b} - C_2 C_{2b}}{(C_{1b}^2 + C_{2b}^2)^{1/2}} \\ V &= \frac{C_1 C_{2b} - C_2 C_{1b}}{(C_{1b}^2 + C_{2b}^2)^{1/2}} \end{aligned} \quad (4-4)$$

となる。

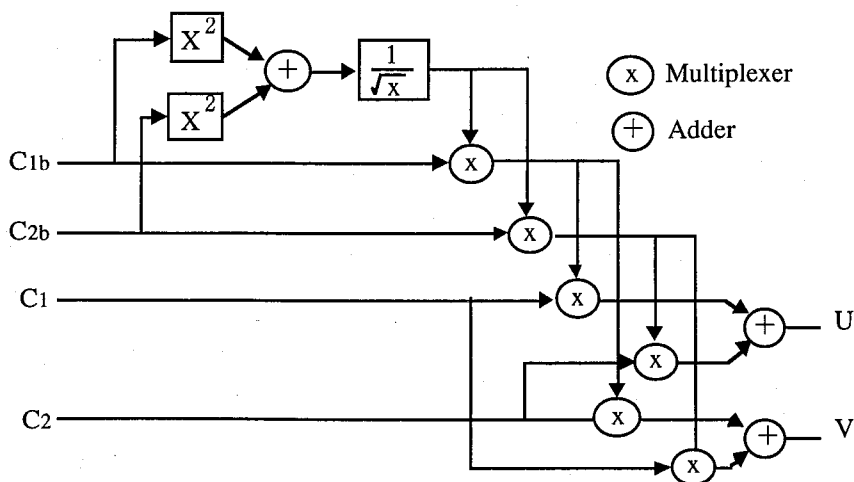


図4-3 色信号変換回路のブロック構成

これにより、各地点からの入力値 C_1 、 C_2 、 C_{1b} 、 C_{2b} は共通位相の U 、 V 、 U_b 、 V_b に変換される。すなわち、各地点の映像信号にこの変換を行えば、色信号の位相同期がとれるので画面合成などの処理に対して色に変色することはない。この色信号変換回路のブロック構成図を図4-3に示す。

なお、式(4-4)の変換式の実数計算で得られた値と図4-3の回路構成図の内部演算を8ビットで打ち切った場合と比べてシミュレーションを行い、演算誤差を求めたところ20dB以上(検知限は7ビット)となり、また画品質的にも変換前と比較して劣化が認められなかった。以上より、色信号変換回路としては、8ビット精度で図4-3の回路を構成すれば十分な特性が得られることがわかった。

4. 1. 3 多地点間テレビ会議システム [4-3] [4-4]

双方向のリアルタイムマルチポイント通信の代表例として、多地点間テレビ会議システムへの応用について述べる。

(1) 多地点間テレビ会議サービスの条件

3地点以上のテレビ会議端末を相互に接続する場合には、以下の機能が必要になる。

1) 会議の全体の雰囲気把握するため、同時に複数の相手対地の画面を表示したり、必要に応じて特定対地だけを切替えて表示できることが望ましい。一方、音声は同時に全ての対地の会議音声聞こえるのが望ましい。

2) 特定対地を切替えて表示する場合は、ユーザが個別に手動で切替えたり、切り替えの煩わしさをなくすため話者に自動的に切り替えるモードを有するのが望ましい。

3) 2地点会議の場合には交互に対話を行うことが想定されるが、複数地点の会議の場合には同時に話し始めたりすることも多く会議の進行を円滑に進めるため、会議のとりまとめを行う司会者または議長をもうける場合があり、この時には司会者から各種制御を行う司会者制御モードが望ましい。

4) 会議は電話と異なって1~2時間を経過することがあり、会議中に別の対地の端末を呼び出して会議に参加させたり、会議中に途中終了することもある。

以上の条件から、多地点テレビ会議システムとして、以下のサービス条件を考慮する。

画面表示法：複数対地同時表示、切替表示

画面切替法：話者自動切替、手動切替

会議制御：司会者制御、参加者個別制御

地点数変更：通信地点数増減制御

(2) 多地点間テレビ会議制御装置の機能と構成

上記のサービスを提供する多地点間テレビ会議システムを実現するため、多地点間テレビ制御装置（MCU：Multipoint Control Unit）を導入する。このMCUの具備する機能を以下に述べる。

1) 映像処理機能

映像信号の伝送には通常映像CODECが用いられるが、多地点通信用の映像処理（複数対地同時表示、切替表示など）には復号化した後でないと処理しにくい。このため、MCUで処理する映像信号のフォーマットとして、4. 1. 1に述べたTDM-PCMフォーマットを用いることとする。各対地からの映像信号の同期情報は、映像信号とともに送られるので受信側ではこの周波数成分および位相成分を抽出して再生する必要がある。しかし、各対地の周波数および位相成分は異なっているため、映像の多重化や合成する場合には同期化する必要がある。このため、映像のフレーム位相合わせのためにビデオメモリを用い、各地点から抽出したクロック信号で書き込み、MCU内部の共通クロックで読み出し位相を同期化する。さらに、4. 1. 2に述べた色信号の位相もカラーバースト信号に対して変換を行って同期化する。この位相同期された映像信号の水平方向および垂直方向の各画素を1個おきに間引いて縮小画面を作成し、各対地毎に位相を合わせて合成すれば、4画面分割縮小合成信号が得られる。一方、特定対地の画面に切替えるには、切替指示信号（参加者からの個別リクエスト、司会者からの制御、話者情報など）に基づいて垂直帰線期間中に切替えを行い、画面に乱れを生ずることなく切替えることが可能になる。

2) 音声処理機能

多地点間テレビ会議を行っている時の音声通信としては、各対地からのすべての音声が聞こえる必要があり、加算処理を行う。このため、映像信号と同様、符号化された音声信号を復号化し、対地別に加算する（自音声以外の加算）。この場合、多重ループによるハウリング防止のため、受信レベルを検出し有音か無音かを識別し、有音の場合には受信側に規定の損失を挿入し、無音の場合は送信側に規定の損失を挿入する制御を行う。ただし、加算すると複数地点で同時に話しをすると過負荷になる可能性があるため、スレッショルドレベルを設けて過負荷制御を行う。ハウリング防止の観点からは、加算せずに話者を検出して音声信号を切替える方法もあるが、切替え時の話頭切断や同時に複数地点が話した場合には聞こえない地点も生ずるので、多地点間会議には適さない。また、話者画面に自動切替えするため、各地点の音声レベルを常時検出し、スレッショルドレベルを越

えた地点を話者と判定し、この情報を映像処理部に伝えて画面切替を行う。

3) 制御機能

端末からの制御信号（画面切替リクエスト、司会者の指示など）に基づいて、会議開始／終了、会議参加／離脱、各地点の画面切替制御あるいは合成画面表示等を映像処理部に指示する。このため、端末からの制御信号を受信し、前2者はネットワークの制御、後者は会議の制御を行う。また、音声処理部で検出した話者情報に基づき、話者のいる地点の画面を表示するよう映像処理部を制御する。

以上の機能を実現する多地点間テレビ会議制御装置の構成例を図4-4に示す。

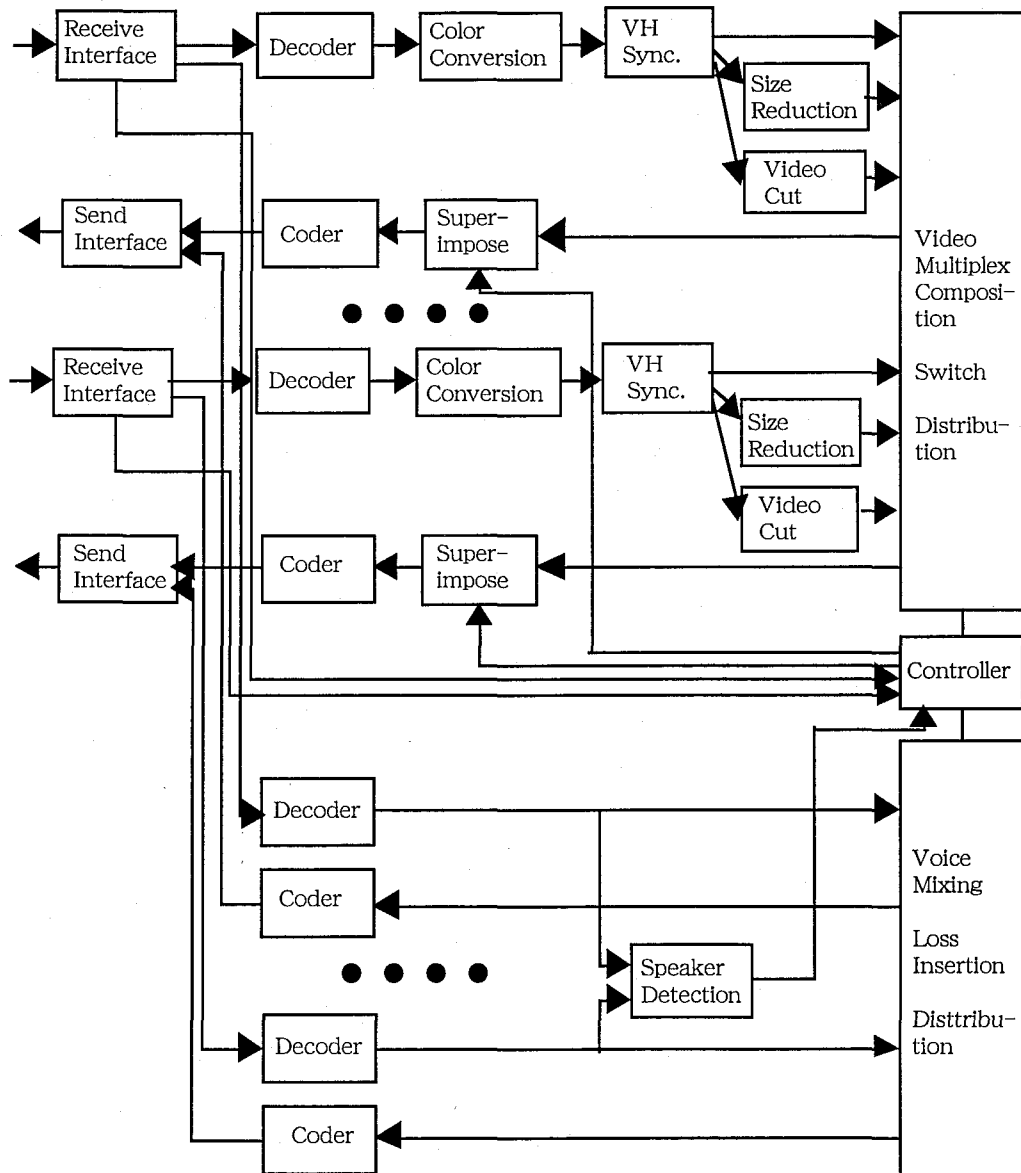


図4-4 多地点間テレビ会議制御装置の構成

同図に示すように、各端末から受信した信号は、インタフェース部（Receive Interface、Send Interface）で映像、音声、データ信号に分離され、それぞれ復号化される。映像信号は、水平および垂直同期化（Horizontal and Vertical Synchronization）され、色位相も変換回路で基準位相に変換（Color Conversion）される。さらに共通のクロックでビデオメモリを読み出し、位相同期化される。このあと、セレクタまたはスイッチャにより映像切替え（Video Switch）がなされ、指定した対地の映像に切替え処理を行ったり、映像縮小（Size Reduction）・合成などの処理を行う。この後、各端末側が指定した映像信号に符号化してインタフェース部を介して送信される。一方、音声についても、インタフェース部で分離され、復号化された後、加算（Voice Mixing）される。ただし、各対地毎に音声レベルが検出され、有音／無音による損失挿入制御（Loss Insertion）および音声レベル検出による話者識別処理（Speaker Detection）が行われる。加算された音声は、再度符号化され、インタフェース部を介して各端末に送信される。また、インタフェース部で受信されたデータ信号は、各種制御のため制御部に伝達される。

なお、上記の構成において、端末毎の符号化・復号化や同期化などを行う回線対応部と、映像合成や映像切替、また音声加算などを行う共通処理部に分けられるが、これらの信頼性を考慮してそれぞれN+1予備、2重化などの予備構成を持たせる。

（3）多地点間テレビ会議システムの構成とその評価 [4-4]

（2）で示したように、回線対応部をNポート実装した場合のポート数により、回線対応部の使用効率と1装置で処理出来る会議数を評価する。最大5地点までのテレビ会議サービスのトラヒック比率を以下のように想定する。

3地点会議：4地点会議：5地点会議＝5；3；2、6：3：1、7：2：1

各ポートの使用率を求めると、10ポート以上であれば、80%以上の使用効率となり、トラヒック比率によっては最大90%程度の使用効率を得られる。

また、構成出来る会議数は、NポートでM地点会議の割合を P_M とすると、10ポート以上の場合平均的に約 $0.9 / (\sum M P_M)$ 会議まで処理出来る。（ $M=3\sim 5$ ）

また、システム設計にあたっては、上記の平均会議数を考慮して、実際のトラヒックを考慮した回線対応部のポート数を算出し、会議数に対応した設備数を求め増設などを行う。以上まとめると、多地点間テレビ会議システムの実現に当たって、回線対応部と共通部から構成することにより、それぞれN+1予備および2重化構成による冗長構成が可

能となり、トラヒック見合いで効率的に回線対応部の各ポートを使用出来ることが明らかとなった。

4. 2 マルチポイント通信応用システム1 (マルチグループ通信システム)

近年、パソコンやワークステーションのマルチメディア化が進むとともに、これらを相互に接続するネットワークもATM-LAN (Asynchronous Transfer Mode - Local Area Network) などマルチメディアネットワークの導入が進んでいる。本節では、ATMのポイント・ポイントやポイント・マルチポイントの多様なコネクションを用いて通信網を有効に利用し、多人数のパネルディスカッションなどリアルタイムの会議サービスを提供するマルチグループ通信システムを提案し、システム構成法およびその評価について述べる。

本マルチグループ通信システムでは、参加するメンバをグループ化し、それぞれのメンバ間の結合度の強さによりグループのコネクションを双方向、片方向などのATMコネクションを用いて強度毎のグループ通信を行うのが特徴であり、メンバの発言比率などの寄与度を考慮してマルチグループを構成する。全体の制御は、強結合であるグループ1の議長が会議の進行や発言制御などを行う。本システムの実現例として、通信処理サーバを用いた具体構成例を示すとともに、本マルチグループでのコネクション利用の効率化およびメンバ間結合度を発言比率により評価し本システムの有効性を示した。

将来の高速通信網としてATM技術を用いた公衆系のB-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) やプライベート系のマルチメディア化を考慮したコンピュータ間通信のATM-LANの構成法の検討が進んでいる。本節では、高速ATMコネクションを効率的に利用した通信システムとして、メンバ間のコミュニケーション結合度の異なるマルチグループ通信システムを提案するものであり、リアルタイム系の通信処理を行うマルチグループ通信システムの構成法について述べる。本マルチグループ通信システムは、ATM通信のアプリケーションとして、片方向および双方向対称/非対称のマルチコネクションおよびマルチキャスト機能の可能なマルチポイント通信など高速ATMコネクションを用い、グループに対応させてこれらのコネクションを用いる。本システムでは、通常のテレビ会議やグループウェアシステムなど参加メンバ間で同じ機能を有して対等な共有空間を作成する通信形態と異なり、メンバの役割に対応して結合度の異なるグループを構成し、リアルタイム系の小規模から大規模なメンバが参加する多目的なメンバ間でのグループ通信を目指す。

従来のグループ通信としてグループウェアや前節で述べた多地点間テレビ会議システムなどが検討されており、実用化や標準化が進んでいる。前者の代表例であるMermaidではグループ通信のプロトコルとしてアプリケーションを除くミドルウェアは4レイヤで構成されており、グループリレーション制御、グループコネクション制御、グループセッション制御、グループプレゼンテーション制御、グループアプリケーション制御の5つのレイヤで構成されている [4-5]。グループリレーション制御では会議召集および解散機能、コネクション制御では通信開始/終了、途中参加/途中退席機能、セッション制御では発言権制御、および操作権制御等を行っている。このプロトコルに基づき、参加メンバーと会議サーバ間に双方向のスター型のコネクションを設定して単一グループを構成し、ISDNやATM-LANなど各種ネットワークと双方向接続をしてメンバー間で対等のコミュニケーションをはかっている。この方式では、参加メンバー間の機能は同一であり、メンバーの発言回数など会議への参加貢献度にかかわらず一定のコネクションを用いるので、回線の使用効率はよくない。なお、構成に当たってはアプリケーションサーバ、オフィス支援サーバ、会議運営サーバ、会議情報サーバ、メディアサーバなど複数のサーバを同時に連携して動作させる必要があり、構成が複雑になっている。また、後者の例としてITU-Tで標準化されている多地点間オーディオグラフィック会議サービス [4-6] があり、データ網やISDNなどのネットワークを利用して双方向の回線を利用する。このサービスでも会議中は端末と会議サーバ(MCU: Multipoint Control Unit (多地点間制御ユニット))間に双方向の回線を常に設定しており、その中でプライベートチャンネル、単一メンバーチャンネルおよびマルチキャストチャンネルを用いてメンバー間の通信を行っている。以上のように、従来のグループ通信方式ではメンバーの端末間に双方向のコネクションを常に設定するので回線使用効率がよくなく、本論文で提案するマルチグループ通信方式では、グループ毎に双方向対称/非対称および片方向のコネクションを設定するものであり、参加するメンバーの役割から使用する回線形態を定め、それぞれに適したマルチメディア処理を行って会議サービスなどを実現するものである。

4. 2. 1 マルチグループ通信の概要

本章で論ずるマルチグループ通信システムでは、多人数のメンバー間のコミュニケーションをとる場合でも効率的にシステムを構築することを狙いとしており、このためATMネットワークの片方向や双方向対称および非対称のマルチコネクションを用いて複数のグループを構成し議長の制御のもとに一元的に通信する [4-7]。一般に多人数のリアルタイムコミュニケーションにおいては、単に情報周知や事務連絡など一方的に伝達する場合

を除けば、メンバ相互間でコミュニケーションをはかりながら一度に議論を進めるのは難しく、例えば小人数のグループに分割し、グループ毎に集約して取りまとめたほうが効率的である。これを具体的に実現するため、以下のようにグループに分割する。

(1) グループの分割法

メンバが提起した議題に関心を寄せ議論に積極的に参加するキーパーソン (Key Person)、必要な時だけに議論に参加するメンバ、関心はあるので情報を収集するだけのメンバなどからなり、これらのメンバ間のコミュニケーションの役割によってグループ分けする。例えば、議論の中心になるキーパーソンは会議期間中は密にコミュニケーションをとり、強いリンクが設定される強結合のグループ、このグループの議論に関心を持って議論の推移を見守り、必要な場合に質問したり採決に加わったりする中結合のグループ、議論の状況を見ながら情報を収集するだけの弱結合のメンバグループなどメンバの参加状況に対応して複数のグループに分割し、それぞれのグループ毎に必要なコネクションを設定する。もちろん、キーパーソンが多数いて、なかなかまとまり切らずキーパーソンばかりで複数のグループを構成することもある。図4-5にマルチグループ通信の概念を示す。

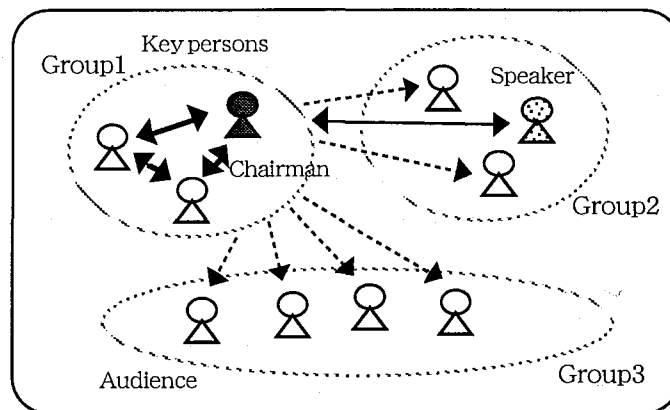


図4-5 多人数のコミュニケーションにおけるグループ分割の例

同図は3分割した場合の例であり、グループ1のメンバはキーパーソンの集合であり、常時、お互いが強い関心を持っており双方向のコミュニケーションを行う。グループ2のメンバは、適度に関心を持ち通常は専ら受信 (片方向) が中心であるが議論の状況に応じて質問 (Speaker) を行い、双方向のコミュニケーション形態となる。グループ3のメンバは、常時間聞だけ (Audience) であり特に自ら質問したりしないメンバの例である。

(2) マルチグループ通信の形態

マルチグループ通信においては、グループ毎に強度の異なるコネクションを各メンバに提供するとともに、これに対応したメディア処理を行う。メンバ間の結合度としてコネクションの方向性、時間性によって表わすものとする。表4-1にメンバ間の結合強度の要素を示す。

表4-1 コミュニケーションの構成要素

要素	強度	属性
方向性	強い	双方向
	弱い	片方向
時間性	強い	常時
	弱い	必要時のみ
即時性	強い	即時
	弱い	待時

方向性としては、双方向の場合が強度が強く、片方向の場合には弱い。時間的にも、通信している間中常時コネクションが設定されている場合には強く結合され、特定の時間しかコネクションが設定されない場合には弱い。また、要求して直ちにコネクションが設定される場合には議論の中にスムーズに入れるが、待たされる場合にはタイミングを失する場合もあり、弱いといえる。ただし、グループ内の各メンバは、等しいアクセス能力を有するものとする。

<強結合グループ>

常時、グループ内メンバ間で映像・音声の双方向コミュニケーションが可能であり、送信・受信が可能である。

映像：常時メンバ間の双方向表示

(全員、主要メンバまたは特定者の表示)

音声：常時発言でき、任意のメンバの受信可能

(全員の音声の受聴)

データ：常時受信可能であり、必要に応じてトークン獲得後制御(送信)可能

(トークン(送信権、操作権など)の数は限定)

なお、このグループの中から議事の進行や各種制御を行う議長を選定する。

<中結合グループ>

中結合グループのメンバは、通常時、強結合グループの映像・音声を受信しているが、

必要に応じて発言要求を強結合グループの議長に対して要求し、これが認められれば送信コネクションを追加し、強結合グループとの双方向コミュニケーション形態が可能になる。すなわち、中結合グループのメンバは、議長の許可によりグループ1のメンバと直接対話が可能になる。また、議長の指示により、中結合グループメンバの送信コネクションを用いて投票などを行い、意思表示することができる。

映像：常時グループ1メンバの映像を受信し、グループ2の発言権獲得後の発言者を表示

(グループ1メンバおよびグループ2の発言者の表示)

音声：常時グループ1メンバの音声を受聴し、グループ2で発言権を獲得したメンバの音声を送信し、議論模様を受信

(グループ1メンバおよびグループ2の発言者の音声受信)

データ：常時受信可能で、議長の指示によりデータ送信

<弱結合グループ>

上記の強結合グループのメンバの会議模様を常に受信できるが、送信は出来ない。また、グループ2のメンバが発言する場合も、この会議模様を受信できる(片方向コミュニケーション)。したがって、積極的には議論に参加できない。また、同一グループ内の他のメンバとのコミュニケーションもできない。また、中結合グループのメンバの受信情報を比較すると、メンバの資格によっては機密性保持のため受信情報にフィルタをかけられることもある。

(3) マルチグループ通信の構成要素

マルチグループ通信を構成するため、メンバの役割および参加状況から異なる結合度を定め、これにしたがったコネクションを設定する。図4-6に、各グループで設定するコネクションの構造の例を示す。

グループ1のメンバは、お互い双方向に映像・音声・データのマルチコネクションを設定する。グループ2のメンバは、通常時はグループ1の映像・音声情報を受信しているが、必要に応じて発言要求を行って映像・音声を発信し、グループ1のメンバとの双方向コミュニケーションを行う。グループ3のメンバは、グループ1のメンバのコミュニケーションおよびグループ2の発言者の映像・音声を受信する。したがって、各グループに属するメンバ毎に使用するメディアのコネクションが収容される構造となる。

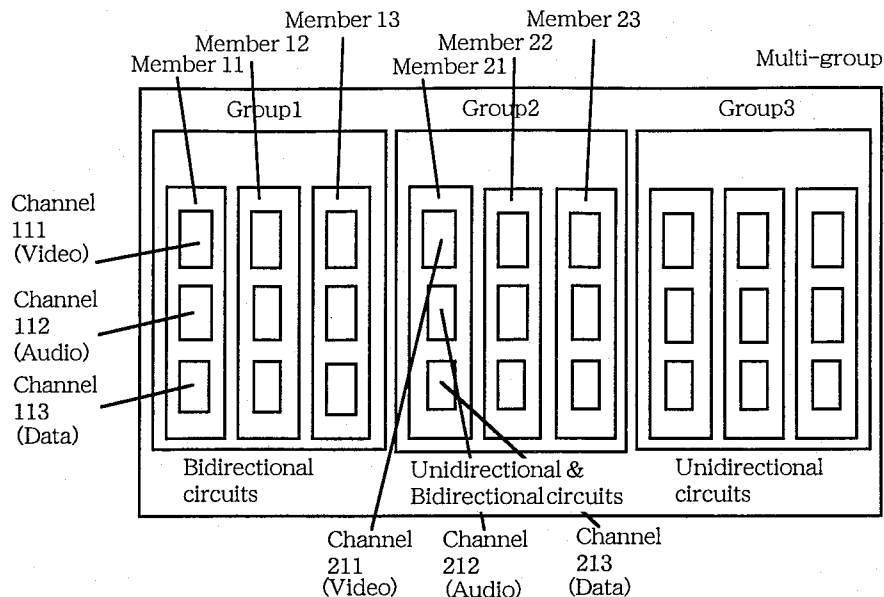


図4-6 マルチグループ通信のチャンネル構成例

(4) ネゴシエーション

上記の構成要素を考慮してグループ通信を行うにあたって通信条件を合わせるため、参加する多数のメンバの意思を尊重する目的で以下の調整（ネゴシエーション）を行う。従来の通信は発側優先の論理で決定される場合が多かったが、多数のメンバが参加するグループ通信の場合には、必ずしも起動するメンバ（例えばホストまたは議長）の意思だけでなく、各種論理によりメンバ間で合意をとり進行させる必要がある。ここで、調整論理として、以下の4種類の処理がある。

<グループおよびメンバの重み付け>

優先度を持たせ、重要メンバ、一般メンバなどの複数クラスに分け、判断時には重要クラスを優先させる。

<多数決>

参加者の多数が合意する場合には、その決定に従う。

<全員の合意>

参加者の全てが賛成してはじめて判断する。

<議長の判断>

議長がすべて指示し、制御する。

このため、サービス開始に当たって関連するメンバ間でネゴシエーション用のコネクションを設定する。

1) グループ、メンバのネゴシエーション

通信開始条件として、グループ毎に重要メンバ（キーパーソン）及び一般メンバを設定し、一般メンバが不在の場合でも通信を開始するが、重要メンバが不在または通信中などで参加不可能の場合は延期あるいは中止する（場合によっては、重要メンバが不在でも開始し、途中参加を待つ場合もある）。この判断は、サービスを起動するホスト端末か議事進行を行う議長端末（議長がいない場合は代表端末）が行う。

2) 使用メディアのネゴシエーション

参加グループおよびメンバが決まった後に、出席メンバ間で調整する必要がある項目として実際に使用する映像・音声などメディアの通信属性を決定する必要がある。このため、ホスト（または議長）端末から各端末が有する通信能力（映像解像度・符号化則、音声帯域・符号化則など）を問い合わせ、各グループのすべての端末間で一致する最大の能力を選択する必要がある。

表4-2に、以上のネゴシエーション項目をまとめて示す。

表4-2 ネゴシエーション項目

項目	パラメータ	チェック
グループ	グループ種別（重要、通常）	グループチェック
メンバ	メンバ種別（重要、通常） メンバ資格	メンバチェック
メディア	サービスクラス（AAL*等） 端末クラス（解像度、帯域等） 通信速度、符号化則品質など	通信属性チェック

*AAL：ATMアダプテーションレイヤによるクラス分け
クラスA～D（固定速度/可変速度、タイミング要/不要）

(5) 結合度に対応したメディア処理法

マルチグループ通信においては、グループ毎に強度の異なるコネクションを各メンバ間で設定するとともに、これに対応したメディア処理を行う。以下では、結合度の要素としてコネクションの方向性、時間性によって表わすものとする。また、この場合のグループメンバへの映像表示法の例を図4-7に示す。

映像表示法として一人表示または複数の合成表示 [4-8] があり、一人表示の場合に切替え表示あるいは固定表示がある。また、表示するメンバとして発言者、議長、指定者などがあり、一方複数メンバが同時に表示できる場合には現発言者および前発言者との対話

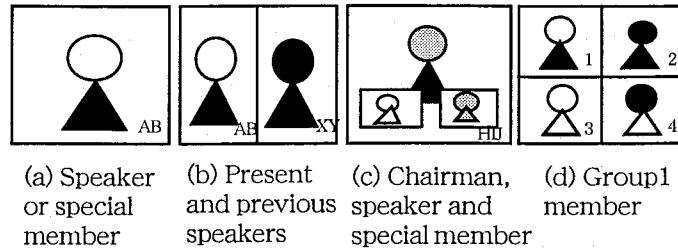


図 4-7 グループメンバへの映像表示例

表示、関連者の複数同時表示法などがある。表示メンバ数が多くなるにつれコミュニケーション強度は強くなるが、解像度には限界があるので合成表示する場合、メンバの表情を詳細に読み取れるためには現在のNTSCクラスでは最大4程度である。また、対地切替えを容易にするため、画面上に文字（図4-7のAB、XY）などの識別子をスーパーポーズする。一方、音声処理としても加算処理により複数メンバの同時発言内容を分配できるが、中結合グループの場合には発言権を獲得してから発言する。

その他、ファイル転送やデータ送信にあたっては基本的にはトークンを獲得してから送信側および受信側の準備のうえ、送信開始する。

(6) 通信制御法 [4-9] [4-10]

マルチグループ通信においては、複数のグループのメンバ間で通信を行うため、以下の通信制御が必要となる。

1) グループ通信起動・解放処理

グループ通信の起動／解放を、ホスト（または議長）端末からネットワーク（ATM-SW）にアクセスして行う。ネットワークの呼制御時に、参加するメンバ（不在や話中対する中止／開始などの選択）、使用するメディアなどのネゴシエーションを行い、合意をとった後、使用する接続を設定する。

2) 通信中接続変更

<メンバ移動処理>

メンバによっては、発言回数や議論への参加の仕方などを考慮すると当初想定したグループを変更したほうがよい場合もあり、この場合にはグループ間でメンバの入れ替えを行う。例えば、グループ1から2へ移動する場合、双方向接続の設定を解放し、片方向（映像・音声）マルチキャスト接続への追加となる。

<帯域・クラス変更>

会議中に各メディアの属性を考慮して、品質クラスあるいは帯域を変更する場合は、ホスト端末からATM-SWにアクセスして変更する。

3) トークン制御 (発言許可/終了、データ送信/終了、操作開始/終了、制御)

会議中に、議長は会議の進行以外に以下のトークン制御を行う。

発言要求に対する許可/拒否/強制終了

データ送信権の許可/拒否

カメラ遠隔制御許可/拒否/終了 (遠隔からカメラのズーム/フォーカス/パン/チルトなどの制御を行う)

なお、トークンの数は各グループ毎に一つしか認められないので、要求があった場合に順序制御や他のメンバが該トークンを使用中であるなどの表示も併せて行う。

表4-3に通信制御項目をまとめて示す。

表4-3 マルチグループ通信の通信制御

項目		通信制御
グループ通信処理	グループ管理 (形成/消滅)	グループ通信起動/解放 (グループ管理、メンバ管理)
	呼/コネクション設定	呼制御、コネクション制御 (グループ内/間コネクション設定/変更/解放)
	コネクション	グループ、メンバ、使用コネクション
サービス処理	会議処理	会議モード (議長有無) 制御
	メディア処理	映像縮小/合成/切替、スピーカーストリーミング検出、音声加算 カメラ遠隔制御、データ送信
	トークン制御	送信制御、発言制御、遠隔制御

4. 2. 2 マルチグループ通信システムの構成法

本マルチグループ通信処理サービスを実現する際に考慮すべき条件を以下に述べる。

1) 多地点間通信を常時用いるのであれば、端末の通信機能はエンド・ツ・エンドの通信機能が基本であり、複数端末間の同時通信機能は専用のサーバを用いて共同利用するのが望ましい。

2) 端末としては専用の端末でなく、汎用のパソコンやAV (Audio Visual) 機器などを各メンバが個人的に利用する。

3) 利用する通信網にマルチキャスト/ブロードキャスト機能や分配機能がある場合にはこれらを積極的に利用し、端末側の負荷を極力減らすとともにトータルなトラフィックを軽

減させるのが望ましい。

この考えに基づき、マルチグループ通信サービス用に通信処理サーバを設けることとし、このサーバを用いてシステムを構成する場合のシステム構成例を図4-8に示す。

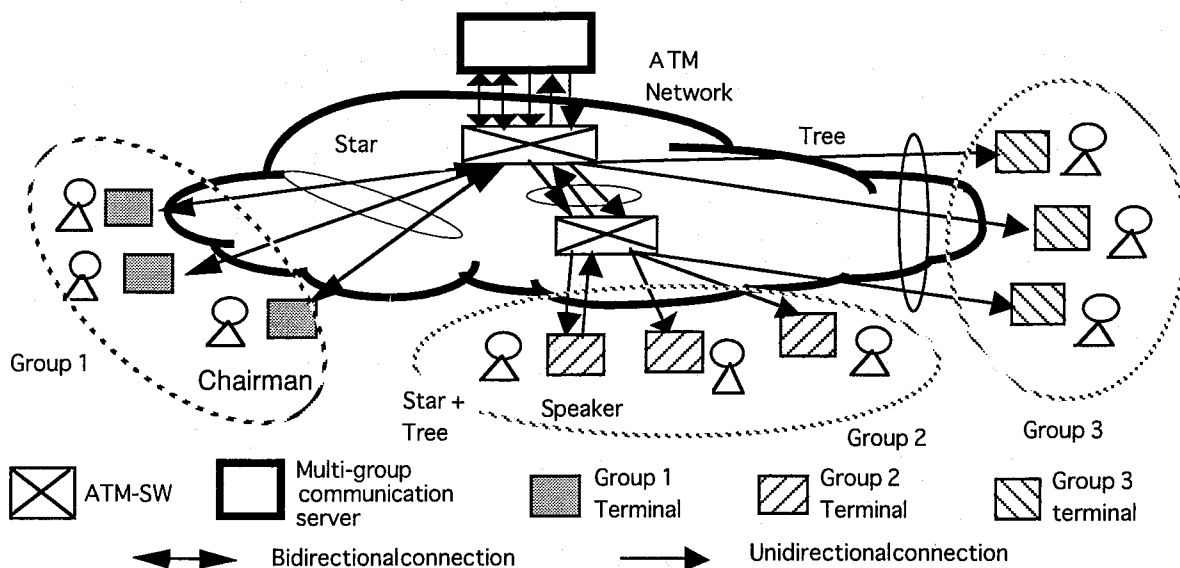


図4-8 マルチグループ通信システムの構成例

同図に示すように、ATMネットワークにこの通信処理サーバを接続し、メンバー間の結合度を考慮して、グループ1、2、3を形成しマルチグループを構成する。強結合のメンバーは通信処理サーバと1:1の双方向コネクションでスター型に接続される。なお、中結合および弱結合のグループメンバーと通信処理サーバ間のコネクションは、マルチキャストによる片方向の分配コネクションが設定され、ツリー状に接続される。ここで、前節に述べた機能から通信処理サーバ側に必要となる機能を表4-4に示す[4-11]。

同表は、前節に述べた強度に対応して3グループを構成する場合であり、それぞれのグループ処理、メディア処理、通信制御を示したものである。結合強度が強いほど映像および音声の合成や加算など同時・双方向に伝送するための各メンバーのメディア処理を行い、弱いグループでは単に分配処理のみを行う。また、グループ間でのメンバー変更などもあり、それぞれのグループが同期して動作するよう全体としてのグループ管理を行う。次に、このマルチグループ通信処理サーバの構成の例を図4-9に示す。

表 4 - 4 通信処理サーバの機能

項目		機能
グループ管理		グループ管理、リソース管理 メンバ管理、スケジュール管理
グループ 通信 処理	グループ 1	<グループ処理> メンバ管理、議長処理 <メディア処理> 映像合成/切替/分配、スーパーインポーズ 音声加算/分配、話者検出 データ送信制御/分配 <通信制御> 双方向コネクション設定/解放機能
	グループ 2	<グループ処理> メンバ管理、発言者管理 <メディア処理> 映像合成/切替/分配、音声加算/分配 話者検出、データ分配 <通信制御> 片方向分配・双方向コネクション設定/解放機能
	グループ 3	<グループ処理> メンバ管理 <メディア処理> 映像分配、音声分配、データ分配 <通信制御> 片方向分配コネクション設定/解放機能

同図に示したように、通信処理サーバはグループ毎に回線対応部を介して各端末と接続され、符号化された映像や音声信号は復号化され、グループ1では画素情報を間引いて縮小したり他のメンバの映像と合成したり、文字情報をスーパーインポーズしたりする。また、音声情報は基本的には復号された音声加算されるものとし、内部バスを介して各グループに分配される。なお、映像、音声およびデータはそれぞれのバスにより回線対応部と接続される。各グループ毎にメンバは管理され、それぞれに必要なコネクションの設定を呼制御部で行われる。なお、情報によっては、グループ毎にフィルタをかけ強結合メンバ間ではオープンであっても、弱結合メンバには秘情報で処理されることもある。

なお、マルチグループ通信会議システムとして、パネルディスカッション形の会議システムのプロトタイプを試作した。図4-10にグループ通信処理サーバと端末の概観図を示す [4-12] [4-13]。

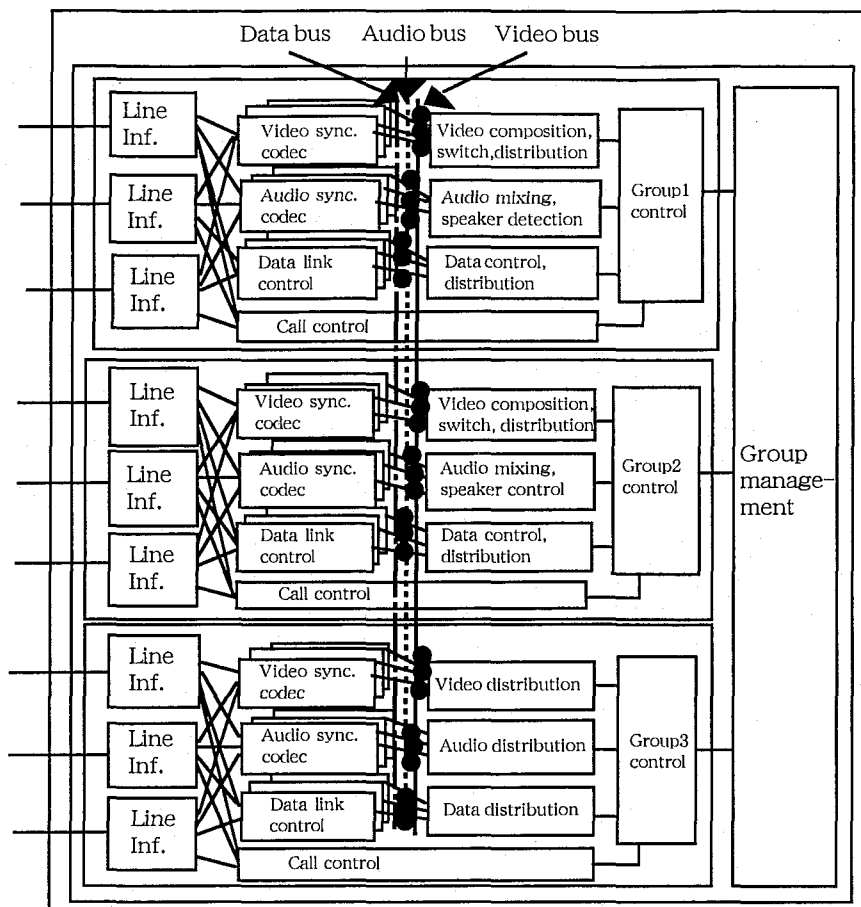
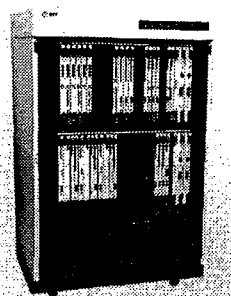
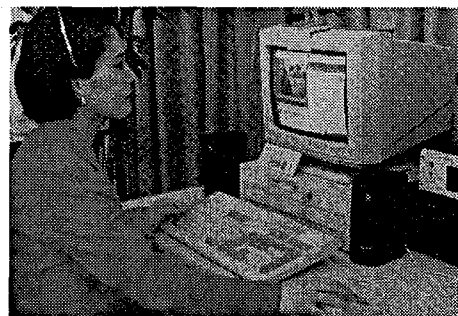


図 4-9 マルチグループ通信処理サーバの構成例



(a) マルチグループ通信処理サーバ



(b) 端末

図 4-10 マルチグループ通信システムの概観図

次に、上記の通信処理サーバ間と各グループの端末間の動作を説明する。図 4-11 に動作シーケンスの例を示す。

まず、このマルチグループ通信を起動する端末（ホストまたは議長）から、参加するメンバーやメディアを指定して通信処理サーバにサービス起動をかける。通信処理サーバ側では、この起動に基づいて各グループへのメンバーの割り振り、グループ数、メディアを算定

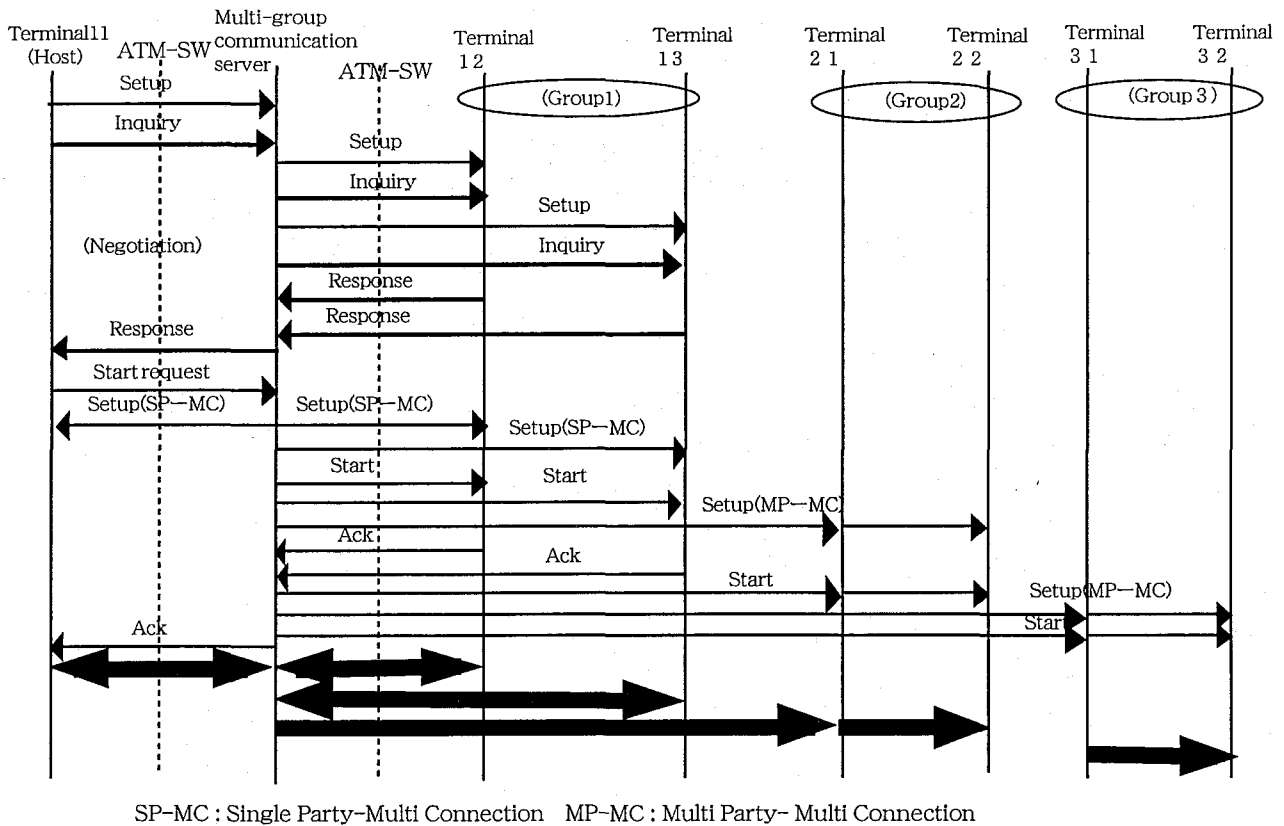


図 4 - 1 1 マルチグループ通信の動作シーケンス例

し、グループ1のメンバに対してネゴシエーション用のコネクションを設定する。前節に述べた論理にしたがって各メンバに問い合わせ、これを起動端末に応答する。起動端末では、メンバの状況から開催、中止、延期などを決定し、通信処理サーバに伝える。この結果を元に、通信処理サーバは、各グループ1～3のそれぞれのコネクションを設定するよう呼制御を行う。強結合のグループ1の場合はグループ内の各メンバに対して双方向対称型の複数コネクションを設定する (SP-MC : Single party- Multi connection)。すなわち、各端末と通信処理サーバとはスター接続される。メンバのうちの一人在議長となり、会議の召集/解散、議事進行、発言制御、データ送信権などトークン制御を行う。また、グループ1の通常のメンバは常時議論に参加するためメンバ間に双方向のコネクションを設定する。これにより、任意の時間に自由に発言ができるとともに、任意のメンバにデータ送信のためのトークンを獲得すれば自由にデータを分配することが可能である。また、グループ2のメンバはフロアのグループとして通常時は、映像および音声により受聴しており映像および音声の1 : Nの片方向分配の複数コネクションが設定されている (MP-MC : Multi Party - Multi Connection)。ただし、データについては個別に1 : 1のコネクションが設定されており、発言権を要求しそれの許可を得たり、グループ2の

メンバの全体意見をまとめるためデータ送信し、議長はこの結果をもとに採決を行う。さらに、グループ3のメンバに対しては、グループ1のメンバの討論状況あるいはグループ2の発言メンバの討論も含めて映像・音声情報を各メンバに分配する。ただし、このメンバに対しては、情報の機密性を考慮してパネラ間の情報にフィルタをかけグループ外に漏れるのを防止することがある。なお、各グループに所属するメンバは、議長の許可を得て途中退席や参加することもあり、グループ1のパネラに対しては新たな呼設定／解放により、またグループ2および3のメンバに対しては、パーティ追加／削除によりグループ変更を行う。

4. 2. 3 マルチグループ通信方式の評価 [4-14]

マルチグループ通信の評価に当たっては、コネクション利用率とメンバ間結合度の観点から評価する。コネクション利用率は、回線の設定法で大きく異なるので、トポロジーで評価する。また、メンバ間結合度は発言比率を用いて評価するものとし、結合度によっては所属するグループの変更を行う方が望ましい場合もあり、移動する場合の目安をえるものとする。本方式では、4. 2. 1で述べたように、通常、発言権はグループ毎に一人にしか割り当てられないので、現在発言中のメンバが終了しないと発言が許可されない条件を緩和し、発言中であってもX時間後には発言を強制終了してもらい、次の発言要求者に譲ることとする。このようにして発言の意思のあるメンバに対しては発言の回数を増やし、コミュニケーションを改善することも可能である。

(1) コネクション利用率

コネクション利用率の算出に当たっては、以下のモデルで評価するものとする。ここで、①参加するメンバがすべて相互に接続されるメッシュの形態（サーバは用いない）、②グループ通信処理サーバを用いてすべてスター接続する形態、③マルチグループ通信の形態で、メンバ数が5人まではグループ1だけで構成され双方向のコネクションによりスター形式で接続され、6番目以上のメンバはグループ2に所属するとしてグループ通信サーバ間とは、質問時以外は片方向でツリー形式のトポロジーで接続されるものとして算出している。メンバ（端末）の数を変化させてグループ通信サーバと接続する場合のメッシュ、スター、およびスターとツリー接続時のコネクション数の比較を図4-12に示す。ただし、端末の配置およびATM-SWの配置条件により回線数および伝送路距離などが変わり単純比較が出来ないので、同図では片方向コネクションで規格化した数で比較している。同図において、例えば、端末数が10（メンバ数も10）の場合にはスターとツリーの混合接続の場合には、スター接続される場合よりも20%程度削減（メッシュに比

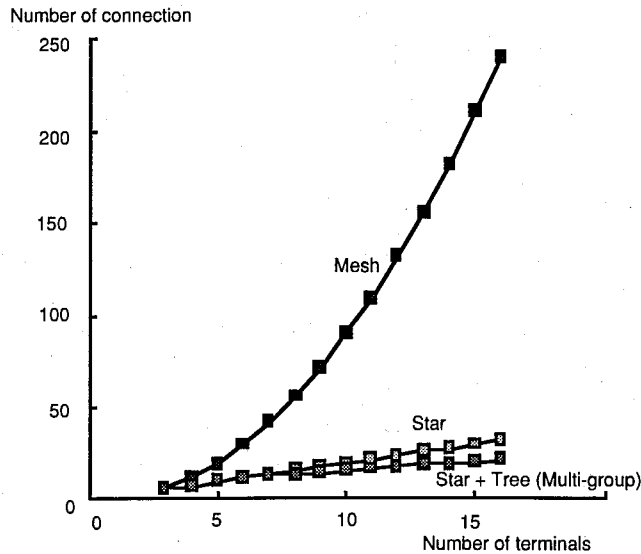


図 4-12 端末数とコネクション数の関係

較すれば 82.2% 減) され、効率的に回線を利用することが可能となる。

(2) メンバ間結合度

メンバ間結合度としては、各グループでメンバがどの程度発言するかという観点から評価するものとする。この発言の比率から、マルチグループにおける対話交流モデルを図 4-13 の状態遷移図に示す。

同図で 3 グループ構成の場合を対象にしているが、グループ 3 については、一方向的に受信するだけであり発言はしないので、グループ 1 と 2 の 2 グループだけが対象となる。同図の (a) は単一グループで構成されている場合であり、(b) はマルチグループで構成されている場合である。同図でマルチグループの場合に、発言要求を出して許可を得るまでの時間は無視し、この発言状態モデルで結合度を評価する。

同図で、単一グループの場合

P_{ij} : メンバ i からメンバ j に発言が移動する確率

Q_i : メンバ i が発言している状態の確率

マルチグループ (グループ 1 およびグループ 2) の場合、

S_k : メンバ k (グループ 2) が発言している状態の確率

を示す。ここで各メンバの発言は、マルコフ過程とみなす。

一方、(b) のマルチグループにおいては、グループ 1 のメンバは常時発言出来るが、グループ 2 のメンバの場合にはグループ 1 の議長 (Q_1) を介するため、 Q_1 を介して発

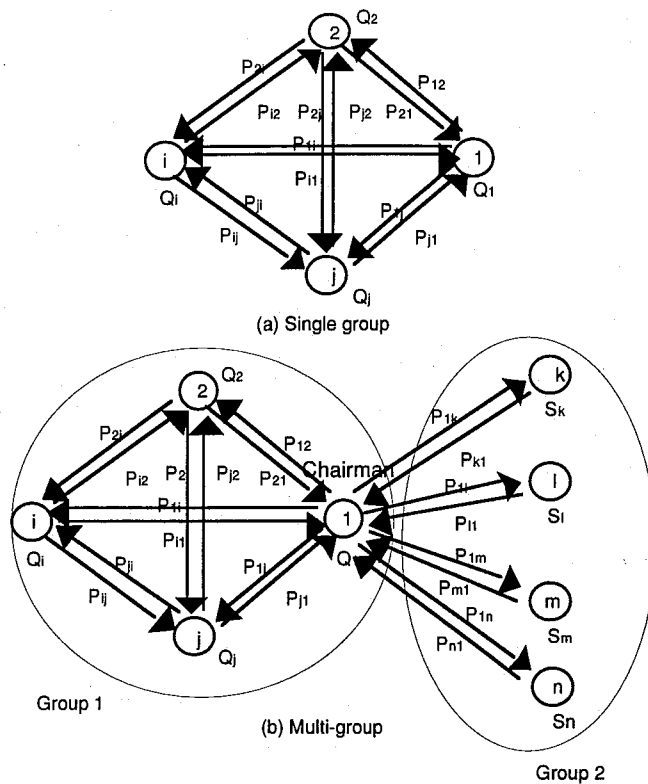


図 4-13 各メンバの発言に着目した状態遷移図

言することになる。1のメンバの発言が終了すると、 Q_1 に状態が戻る。

(a)の状態遷移図において、1のメンバに関する発言状況は平衡状態においては、1から隣接する2、3、 \dots i へ遷移する確率と隣接2、3、 \dots i から1へ遷移する確率の和が等しいことから式(4-5)が成り立つ。

$$P_{21}Q_2 + P_{31}Q_3 + \dots + P_{j1}Q_j = (P_{12} + P_{13} + \dots + P_{1j})Q_1 \quad (4-5)$$

同様にして、2のメンバについても

$$P_{12}Q_1 + P_{32}Q_3 + \dots + P_{j2}Q_j = (P_{21} + P_{23} + \dots + P_{2j})Q_2 \quad (4-6)$$

が成り立ち、さらにjのメンバについても

$$P_{1j}Q_1 + P_{2j}Q_2 + \dots + P_{j-1j}Q_{j-1} = (P_{j1} + P_{j2} + \dots + P_{j-1j})Q_j \quad (4-7)$$

が成り立つ。

ところで、すべての状態Qの和は1であるので

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j = 1$$

(4-8)

となり、各メンバが発言し発言状態にある確率 Q_i は、上記連立1次方程式を解いて得られる。

例えば、各メンバが均等に発言した場合には $P_{12}=P_{13}=\dots=P_{1j}=P_{21}=P_{22}=\dots$ であるので、

$$Q_1=Q_2=Q_3\cdots=Q_i=1/i$$

(4-9)

となり、各メンバの発言状態は等しい。

一方、マルチグループの場合は (b) の状態遷移図のようになり、グループ1のメンバ1を議長とし、グループ1のメンバは相互に発言できるが、グループ2のメンバが発言する場合には議長であるメンバ1を介して発言する。同図において、メンバ1が発言する確率は以下の式が成り立つ。

$$P_{21}Q_2+P_{31}Q_3+\dots+P_{j1}Q_j+P_{k1}S_k+P_{l1}S_l+P_{n1}S_n \\ = (P_{12}+P_{13}+\dots+P_{1j}+P_{1k}+\dots+P_{1l}+P_{1n})Q_1$$

(4-10)

グループ1の他のメンバについては式(4-9)、(4-10)が同様に成り立ち、一方、グループ2のメンバについては、以下の式が成り立つ。

$$P_{1k}Q_1=P_{k1}S_k \quad (\text{メンバ}k)$$

(4-11)

さらに1、mについても

$$P_{1l}Q_1=P_{l1}S_l \quad (\text{メンバ}l)$$

(4-12)

$$P_{1m}Q_1=P_{m1}S_m \quad (\text{メンバ}m)$$

(4-13)

が成り立つ。

したがって、マルチグループの場合には式(4-10)、(4-6)、(4-7)および(4-11)、(4-12)、(4-13)およびすべてのメンバの発言状態の総和は1であるので、式(4-14)が成り立つ。

$$Q_1+Q_2+\dots+Q_j+S_k+\dots+S_l+\dots+S_m+\dots+S_n=1$$

以上の連立方程式を解けば、平衡状態における各グループのメンバの発言状態確率が求められる。

一例として、グループ1のメンバ1が3であり、グループ2のメンバが1で発言する場合の状態確率を算出し、その結果を図4-14に示す。(グループ1の他のメンバ2、3の発言比率は固定とする： $P_{13}=0.4$ 、 $P_{31}=0.6$ 、 $P_{23}=P_{32}=0.5$)

同図は、グループ2のメンバの発言確率 P_{14} を横軸にとって他のメンバが発言する割合を表示したものである。メンバ1は議長であり、グループ2のメンバが発言する場合は必ずこれを介するので比率が大きい。グループ2のメンバの発言確率が大きくなれば全体に

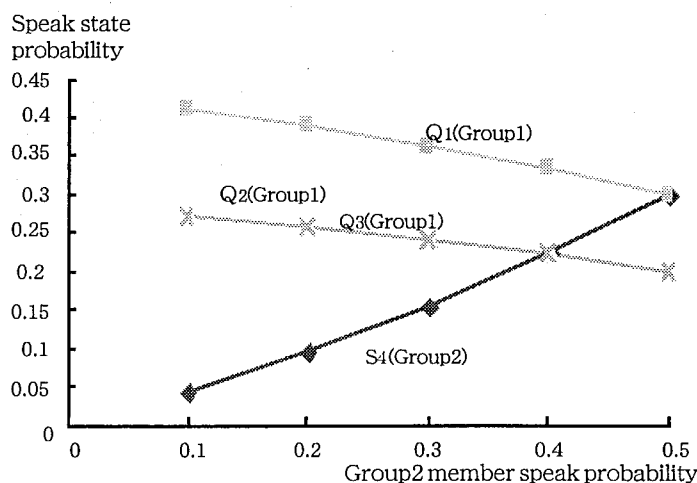


図4-14 グループ2メンバの遷移確率と各状態の比率の例

占める発言状態は大きくなる。ここで、メンバ間の結合度を全体の発言時間のうちのメンバ同士が発言する割合で表わすと、グループ2のメンバの発言確率が大きくなりグループ1の他のメンバの結合度(約0.2)と同程度になれば、グループ2から1へメンバ変更する目安となる。なお、実際にシステム化する際には各グループ毎にメンバ管理を行っており、議長がメンバ変更およびコネクション設定変更を行い、各メンバに自分が所属するグループおよびマルチグループ全体に所属するメンバを通知することにより、メンバの変更容易に実現できる。

4.2.4 あとがき

多人数のコミュニケーションにおいて、複数の異なるコネクションをグループ毎に設定するマルチグループ通信システムのアーキテクチャおよびその構成法について述べた。ま

とめると以下のようなになる。

1) 多人数の場合のコミュニケーションにおいては、発言する人はキーパーソンなどに限定され、これら以外のメンバは聞き手に回ることが多い。このように、メンバ毎にグループ分けし、それぞれに適したコネクションを設定することにより、効率的なコミュニケーションが可能となる。

2) メンバ間のコミュニケーションの強度として、方向性および時間性の概念を導入することにより、多人数の場合はメンバ間の弱結合のメンバを増やすことになりメンバ毎の役割に応じてグループ化でき、マルチグループ通信により通信網を効率的に使用できる。グループ間の通信法として、メッシュ接続、スター接続で構成する場合のコネクション数の削減効果を示した。

3) 強結合のメンバ間通信は基本的に対話型であるが、多人数の場合に弱結合メンバが増加しこのメンバに対しては分配型コミュニケーションとなる。マルチグループ通信は、これらの統合型通信であり、メンバ間のネゴシエーションにより多数の意見を配慮したシステムが構築できる。

4) マルチグループ通信の評価を行い、メンバの発言率から解析的に発言状態比率を算出するとともに、メンバ間結合度からグループメンバ変更する場合の目安を明らかにした。

4. 3 マルチポイント通信応用システム 2 (遠隔講義システム)

近年、パソコンやワークステーションなどの普及にともないWWW (World Wide Web) などインターネットのサービスが爆発的に増加し、ネットワークに対する高速化・マルチメディア化の要求が高まっている。これに応えるためATM-LANなどマルチメディアの転送可能なネットワークが大学や企業を中心に精力的に導入されており、これらを相互に接続し広域のATM伝送路を利用した実験も各所で行われてきた。ATMネットワークは構内系と広域のネットワークをシームレスに接続でき高速のマルチメディア転送に適しているが、現状のATMネットワークは必ずしも交換 (SVC:Switched Virtual Circuit) モードのネットワークでなく、固定接続 (PVC:Permanent Virtual Circuit) モードで構築される場合も多い。本節では、ATM-PVCネットワークのアプリケーションとして、リアルタイム型の映像・音声情報などを分配して講師と受講者間でコミュニケーション空間を実現する遠隔講義システムについて述べる。このシステムでは、予約ベースのATM回線設定機能を導入し、ATM-SWのVC (Virtual Channel) レベルのマルチキャスト機能を利用して講義に使用する映像・音声情報の分配を行い、受講者が質問する場合には講

師との間でインタラクティブな映像および音声を用いた対話型のコミュニケーションを実現している。

以下、質問者を限定し順次質問者と切替えて講師との対話機能を実現することにより、対話型と分配型コネクションを組合せた質問者切替型の遠隔講義システムを提案するとともに、システム構成法、端末／サーバ設計法、コネクション設定法および試作したシステムの特長などについて述べる。これまで実現されている遠隔講義システムとして、通信衛星を利用した遠隔教育システム [4-15] やインターネットで用いられているテレビ会議ツール (vicやvat) などを用いた遠隔講義実験などが検討されている [4-16]。前者では通信衛星を利用しているため片方向の30Mb/sの情報転送が可能であり、地上回線と連携して送信要求や応答をサーバ側に返送することにより講師と受講者間で双方向通信を実現している。ただし、地上の専用線の速度である約6Mb/sでネットワーク同報しているが、これは講師の情報を受講者へ伝達する片方向通信形態であり、受講者からの映像がないのでインタラクティブ性が十分でない。後者は、高速ATMネットワークを利用するもののテレビ会議システムとMBone (Multicast Backbone) ネットワークを利用してIP (Internet Protocol) マルチキャストにより双方向リアルタイム転送するのでインタラクティブ性は良いが、IPレイヤで分配しソフト処理するので、高速分配には適さず品質が十分ではない。表4-5にこれら両システムと本節で提案する質問者切替型の遠隔講義システムの比較を示す。

4. 3. 1 遠隔講義サービスに対する要求条件

遠隔講義サービスは、講師が受講者ととともに知識や技術を共有できる講義環境を形成するのが理想であり、多数の受講生と講師の間にリアルタイムの映像と音声を用いた講義空間を実現出来るのが望ましい [4-17]。

リアルタイム型の遠隔講義システムの実現にあたって、以下の要求条件を考慮する。

(1) 利用者の条件

1) 多人数の生徒が受講する講義では、講義室の収容条件などから複数の講義室で受講することがあり、講師が発信する情報を講義室間で情報転送する必要がある。講義室では、カメラ、モニタあるいはプロジェクタ、マイク、スピーカなどのAV (Audio Visual) 機器が装備され、WS (Workstation) を用いて制御するものとする (講義室に1台WSが配備され、受講生はこのWSに接続されるAV機器により講義を受講する)。

2) 遠隔の受講生にとっては、講師の映像・音声および資料の映像を実時間で受信するのが重要であり、受講中に質問する場合、質問生徒の映像・音声もそのまま講師および他の

表4-5 各種遠隔講義方式の比較

タイプ	形態	備考
通信衛星を利用した遠隔講義システム	<p>講師 (映像・音声・データ)、 質問者 (音声・データ)</p> <p>講師 (映像・音声・データ) 質問者 (音声・データ)</p> <p>通信衛星および 専用線、公衆網 利用</p> <p>地上経由 (制御、応答)</p>	<p><主要機能>講師映像片方向伝送音声双方向通信教材 (WWW) アクセス</p>
片方向型 (制御、応答および音声は地上の別チャンネル経由)		<p>衛星・地上連携方式の場合は、受講者から講師側へ地上で応答質問者は地上経由で音声のみ双方向</p>
vic,vatを利用した遠隔講義システム	<p>講師 (映像・音声・白板データ)、受講者 (映像・音声・白板データ)</p> <p>ATM網上でMbone 利用</p>	<p><主要機能>映像・音声双方向電子白板カメラ制御</p>
双方向型 (Mbone利用)		<p>各マシンはIPマルチキャストをサポートするとともに、マルチキャストルータによりお互いを双方向接続する</p>
ATM-LANを利用した遠隔講義システム	<p>講師 (映像・音声・データ)、質問者 (映像・音声・データ)</p> <p>講師 (映像・音声・データ)、資料映像、質問者映像・音声</p> <p>ATM-LAN利用</p>	<p><主要機能>映像・音声双方向資料映像片方向カメラ/ CODEC制御講義予約、自動回線設定</p>
質問者切り替え型 (本方式)		<p>質問者を限定し、受付制御により順次質問し、講師および質問者情報を分配</p>

受講生に伝達する必要がある。ここで、資料の映像に要求される解像度は、講師や質問者の人物映像に比べて高解像度が望ましく、多種類の品質が要求される。

3) 講師は必ずしも講義室から講義するだけでなく遠隔の講義室から講義する場合もあり、遠隔の端末からも講義が出来る機能が必要である。受講生が複数の遠隔キャンパスにまたがる場合は、ATM専用線などの広域網を利用して遠隔講義室間を接続し、遠隔の受講端末にも分配する。

4) 講義科目毎に使用する講義室が異なるので、講義の度に接続する講義室および回線の設定を行う必要があるが、PVCモードのATMネットワークではシステム管理者に回線を設定してもらうこととなり、これの自動化が望ましい。

(2) システム構成条件

1) 講義室の機器配備条件

遠隔講義サービスで使用する講義室にはカメラ、マイクなどが設置され、映像および音声信号はこれらの入力機器からCODECを介してWSに取り込まれ、ATMネットワークに接続される。一方、WSで受信した映像および音声信号はモニタやスピーカにより出力される。本システムで使用する装置は市販のWSをベースに考え、講師端末、受講端末、講義用のサーバで構成される。なお、講義室にはこれら装置のうち1台が設置され、講義サーバ機能を有する端末は、講師端末あるいは受講端末の機能も有するものとする。また、高品質の映像および音声の伝送にはMPEG2のCODEC [4-18] を用いることとするが、現時点では高価であるため講師からの映像を転送する場合に限定する（質問者には用いない）。

2) ネットワーク条件

遠隔講義システムを導入するネットワークとしては、マルチメディアの伝送が可能なATM-LANを対象とするが、遠隔のキャンパスも考慮し一般的にATM専用線などのバックボーンネットワークで接続された2階層ネットワークで構成されるものとする。具体的には、図4-15に示すようなネットワークを対象に、講師の講義室と遠隔の受講者との

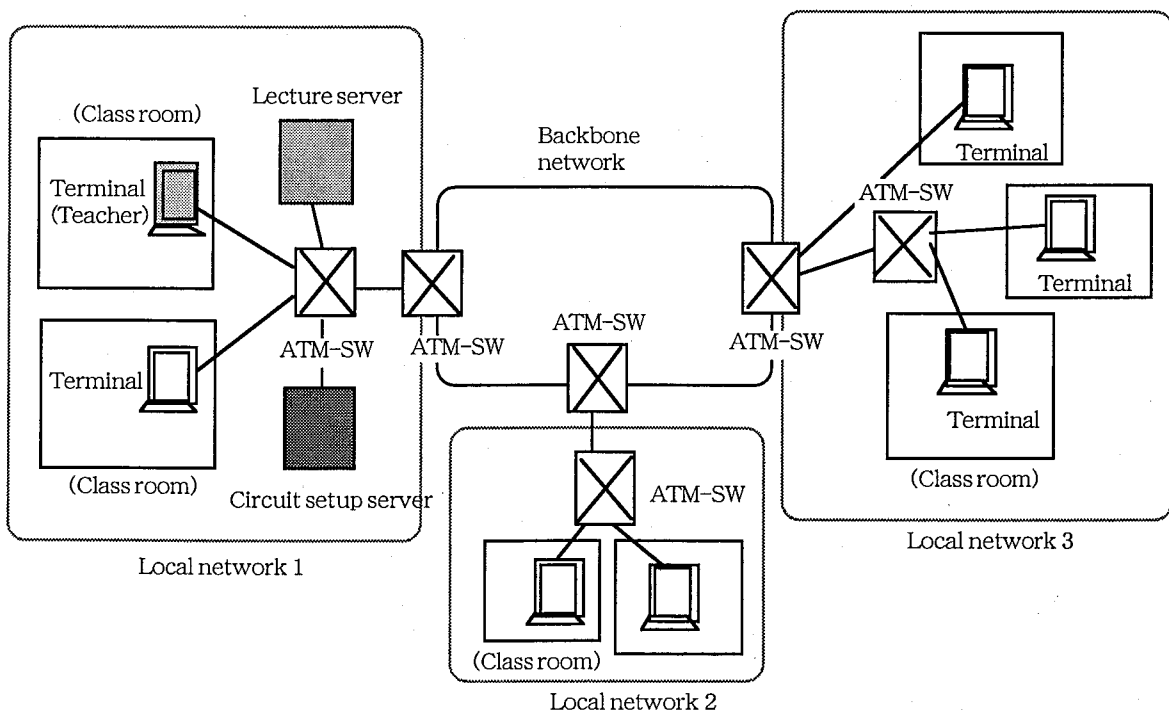


図4-15 遠隔講義サービスシステムの構成例

間にATMネットワークを用いた映像・音声・データによるコミュニケーション空間を実

現し、複数のキャンパス間での遠隔講義サービスを提供する。

3) 回線設定方式

ATMネットワークの回線をPVCモードで使用する場合には、講義の時間毎に端末・端末間および端末・講義用のサーバ間の回線設定を行う必要がある。すなわち、ATM-SWを制御するためそれぞれにSW制御用マシンを設け、これに指示（コマンド又はメッセージ送出）して講師端末と受講端末間のATMコネクションを設定する。また、講義サービスはあらかじめ設定されたスケジュールに基づく場合が多いので、予約モードで利用しこの予約時間に基づいて遠隔講義を行うものとする。このため、予約を受付けるための予約センタ（回線設定サーバ）と受講端末間の回線、ATM-SWを制御するSW制御マシンと回線設定サーバ間の回線は常時通信できるようにしておく必要がある。

4. 3. 2 質問者切替型遠隔講義システム実現の課題

4. 3. 1 (1) で述べた利用者の条件と(2) で述べたシステム構成条件を考慮し、以下の質問者切替型遠隔講義システムを提案する。

(1) 質問者切替型遠隔講義システムの概要

講師から全受講者に対して、講師の映像および音声、資料映像を常時分配し、受講者側からは必要な時に講師に質問要求し、許可されれば質問者の映像および音声を講師の映像および音声とともに他の聴講者に分配する。なお、質問者は一人に限定し、質問要求した順に講師と質問者が対話しながら質問／回答を映像および音声により行う。また、質問要求者を管理して質問要求の順序リストを表示し、講師および受講者に伝える。講義サービスを行うに当たってはあらかじめ予約しておくものとし、講義開始時刻から終了時刻まで遠隔から必要なATM回線の設定を行う。

(2) システム実現に当たっての課題

(1) の概要で示したように、本遠隔講義システムでは講師から受講者へ伝達する情報としては、

講師映像、講師音声、資料映像、質問者映像、質問者音声、制御情報（質問許可等）が、一方、受講者から講師へ伝達する情報としては

質問者映像、質問者音声、制御情報（質問要求など）

があり、多数のマルチメディア情報を同時に伝送する必要がある。また、講師は遠隔から参加する場合もあり、これらのリアルタイム型の情報を複数端末間で同時に授受する必要がある。したがって、これら映像および音声の伝達方法と具体的なATMコネクションの使用法、さらにこれを実際に行った場合の映像および音声の伝送品質を明確化することが

本方式実現上の課題となる。以上の質問者切替型遠隔講義サービスの条件をとりまとめ、表4-6に示す。

4. 3. 3 遠隔講義システムの実現法

上記に述べた要求条件と実現に当たって解決すべき課題を考慮し、質問者切替型の遠隔講義システムを実現する方法として以下の構成を基本に考える。

(1) 2サーバによる実現

本質問者切替型遠隔講義サービスでは、アプリケーションとして質問要求/受付など講義サービスに固有な機能を含んでいるので、遠隔講義サービス以外の一般の用途に使用出来る回線設定機能や予約機能などのネットワーク関連機能とは独立に構成する。すなわち、講義サーバは基本的にはネットワークの特性に依存しない構成を基本とする。このため、遠隔講義システムの実現にあたっては、遠隔講義サービスを提供するための講義サー

表4-6 遠隔講義サービス条件

項目	サービス条件
マシン設置	講義サーバ/講師端末/受講者端末のいずれか1台を講義室に設置 (講義サーバは講師端末または受講端末も兼用可能)
受講端末数	講師端末：1台(遠隔講師の場合) 受講端末：2台以上 (ATM-SWがマルチポイント可能で、67Mb/sの回線の場合*は最大14台)
質問機能	受講端末のうち1台が質問可能 (申込順で、要求者をリスト表示) 質問者は交替で質問
端末画面表示	<講師端末> 講師映像および資料映像、質問者映像 制御用ブラウザ(開始/終了、質問許可/終了、カメラ制御、予約申込、CODEC制御) <受講端末> 講師映像、資料映像、質問者映像 制御用ブラウザ(開始/終了、質問要求/終了、予約申込)

* OLUのバックボーン系の回線最大容量67Mb/s

バと、遠隔講義サービスの予約を行いATM-SWの回線設定を制御する回線設定サーバの2種類のサーバで構成することとする。

(2) 予約管理機能の導入

講義サービスは通常あらかじめ定められたスケジュールで講義が行われるのが一般的であり、予約機能を導入し講義スケジュールにより管理することとする。本遠隔講義サービ

スでは、リアルタイム系の映像および音声の情報転送を行うに当たって品質を確保するため、使用するATMコネクションの帯域を確保するものとする [4-17]。したがって、予約には、講義に参加する各端末およびサーバのリソース管理を行うだけでなく、これらを接続する経路に当たる回線の空塞状況をチェックし、使用する時間毎に回線番号

(VPI/VCI) と使用帯域の管理を行う。この予約結果に基づき、講義サービス開始から終了時までの講義時間中は遠隔から使用する経路のコネクションを設定制御する。ただし、通常の講義は時間割が定められていて講義開始・終了時刻は固定値に決められているが、臨時の講義サービスなども考慮して講義の開始・終了時間を10分単位で任意に設定できるようにする。また、予約時間の受け付け可能な範囲で変更や取り消しも行う。なお、この回線設定にあたってはマルチメディア通信共同利用実験 (On-Line University プロジェクト) で開発されたSW設定プログラムを用いることとする [4-19]。

(3) 映像・音声リアルタイム伝送

本遠隔講義サービスでは、前述したように講師端末と多数の受講端末の間にリアルタイムの映像および音声を分配するポイント・ポイントおよびマルチポイントコネクションを同時に組合せて設定する。このため、WS間では映像および音声のソケット通信を行うことになるが、リアルタイム性を重視して再送処理などを行わない簡易なデータグラム型のソケット通信を行うものとする。ここで、映像・音声のマルチキャスト分配を行う場合、IPレベルでマルチキャストする場合と、ATMレベルのマルチポイント機能を利用する場合があるが、前者のIPレベルのマルチキャストはサポートされていないWSもあるので、講義サーバに負担がかからずVCレベルで行うATM-SWのマルチポイント機能を利用して分配することとする。なお、マルチポイント機能はできるだけエンド (リーフ) 側に近いATM-SWでマルチポイントさせるが、ATM-SWによってはマルチポイント機能を実現していない場合もあり、この時はルーティングでこのSWを避けるかまたは光分配機などを導入して分配通信を行う方法などによりマルチキャスト通信を実現する。ただし、最悪を考慮すると、各受講端末との制御用および質問者映像・音声の伝送用に設定されているポイント・ポイント回線を使用することも想定する必要がある (後述の表4-7の*1参照)。

4. 3. 5 回線設定方法

(1) コネクションの使用法

本遠隔講義サービスを実現するに当たり、遠隔の講師端末と講義サーバ間および講義サーバと複数の受講端末間で映像および音声のソケット通信を行い、また高品質向けには講

師端末と受講端末間でMPEG2の映像・音声伝送を行う。また、講義サービス時間中に、カメラの遠隔制御や質問受け付け制御などが出来るよう講義サーバと受講端末の間には常時制御データの双方向通信を行う必要がある。なお、講義サーバから受講端末に対しては、講師音声と質問者音声の双方を分配する必要があるが、デジタル加算による処理遅延、および質問受講者と聴講受講者への分配法が異なることを考慮し、講義サーバで音声加算を行わずこれら2チャンネルをそのまま端末側に伝送することとする。このため、質問者の映像および音声は、一旦講義サーバで受信しその講義室内の受講者のために映像表示および音声出力を行うとともに、再度別のポート番号でソケット通信を行い、他の受講者に分配する。また、高品質向けにはMPEG2の映像・音声情報を分配するが、遠隔から講師が参加する場合には講義サーバでデコードして映像・音声出力するとともに、そのまま折り返し、ATM-SWでマルチキャスト通信を行って受講端末に分配する。講師が講義サーバで講義する場合は、講義サーバ内のカメラおよびマイクからの入力情報をMPEG2でエンコードし、ATM-SWのマルチキャスト機能により各受講端末に分配する。

これらの情報とコネクションの対応関係を以下に述べる。まず、講義の制御用（質問要求やカメラ制御など）に講義サーバと各端末は1：1（ポイント・ポイント通信）の双方向通信を行うので、遠隔の講師端末および質問受講端末はこのコネクションを利用してそれぞれの映像・音声を講義サーバへの伝送に利用する。一方、講義サーバから受講端末に向けては、映像・音声分配用に1：N（ポイント・マルチポイント通信）を行っているため、このコネクションを利用する。また、講師および質問受講者の映像および音声ストリームはソケット通信を行うが、それぞれメディア間同期をとるため同一VCチャンネルに異なるポート番号を与えて多重化する。さらに必要なコネクションの数を減らすため、TCPプロトコルとUDPプロトコルの多重化を行う。一方、高品質のMPEG2の映像・音声については、別のATM-NIC（Network Interface Card）およびプロトコル（4.3.7に述べるMPEG2 TS over ATM）を用いるので、別のコネクションを利用する。

したがって、本遠隔講義サービスで設定するVCコネクションは以下のようになる。

<講師端末－講義サーバ間>

- 1) 1：1（P-P）コネクション2本（WS用、MPEG2用）

講師映像・音声（片方向）、資料映像（片方向）、質問映像・音声（片方向）、講義制御データ（双方向）・・・VC1（図4-16参照）

高品質講師映像・音声（片方向）・・・VC2（図4-16参照）

<講義サーバ－受講端末間（受講端末数：n）>

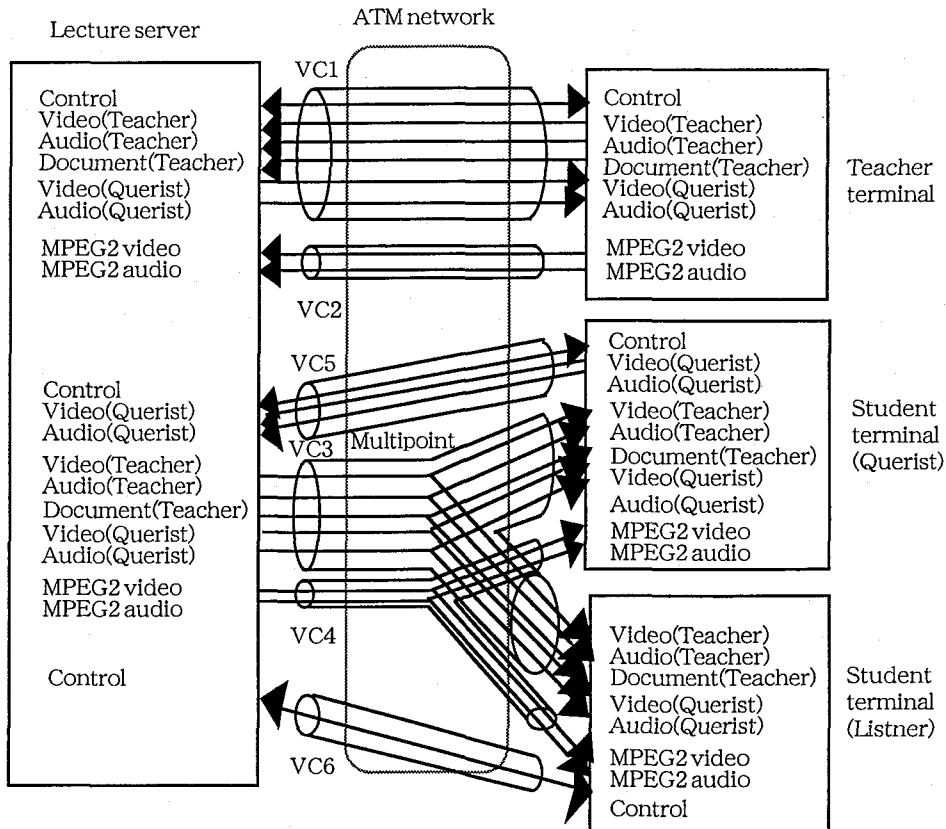


図 4-16 講義サーバと講師端末・受講端末間で授受する情報

1) 1 : N (P-MP) コネクション 2 本 (WS用、MPEG2用)

講師映像・音声 (片方向)、資料映像 (片方向)、質問映像・音声 (片方向) . . . VC3 (図 4-16 参照)

高品質講師映像・音声 (片方向) . . . VC4 (図 4-16 参照)

2) 1 : 1 (P-P) コネクション n 本 (WS用)

質問映像および音声 (片方向)、講義制御データ (双方向) . . . VC5、VC6 (図 4-16 参照)

これらの関係を図 4-16 に示すとともに、表 4-7 に本遠隔講義サービスで用いる ATM コネクションと各メディア情報の関係を示す。

図 4-16 は講師が遠隔から参加する場合であり、講師端末と講義サーバとの間にポイント・ポイントの回線を 2 回線 (制御情報の TCP/IP 通信用および映像・音声伝送用に UDP/IP 通信用のコネクション (VC1) と MPEG2 伝送用のコネクション (VC2)) 設定し、講義サーバで一旦講師映像および音声信号、資料映像信号を受信し、プロジェクタなどに出力した後、各受講端末に分配するため 3 回線設定して転送する。この内の 1 回線は、各受講端末から質問要求するためや質問時の映像・音声を講義サーバに転送するための双方向

表 4-7 講義サーバで使用するATMコネクション

区間	情報	種別	コネクション数	図4-16対応	帯域	プロトコル	ポート番号
講義サーバ・遠隔講師端末間	制御データ	P-P	1	VC1	5Mb/s	TCP	8000,8001*2
	講師映像 講師音声 資料映像 質問映像 質問音声					UDP	8002 8003 8004 8010 8011
	講師映像/音声	P-P	1	VC2	6 Mb/s	MPEG2TS	——
講義サーバ・受講端末間	制御データ	P-P	n	VC5	3 Mb/s *1	TCP	8000,8001*2
	質問映像*1 質問音声*1			VC6		——	UDP
	講師映像 講師音声 資料映像 質問映像 質問音声	P-MP	1	VC3	8 Mb/s	UDP	8007 8008 8009 8010 8011
	講師映像/音声	P-MP	1	VC4	6 Mb/s	MPEG2TS	——

P-P: ポイント・ポイント P-MP: ポイント・マルチポイント
 *1 ATM-SWがP-MPをサポートしない場合に、受講者端末への分配に使用する。(この場合は8Mb/s)
 *2 発/着装置で使い分ける。

のポイント・ポイント回線 (VC5、VC6) であり、残りの2回線は片方向のポイント・マルチポイント回線である。

(2) ATMコネクション設定方法

ATM-PVC網においては、端末間、講義サーバ/端末間などでATMコネクションを利用するにあたってATM-SWのコネクション設定制御が必要になる。図4-17にATMコ

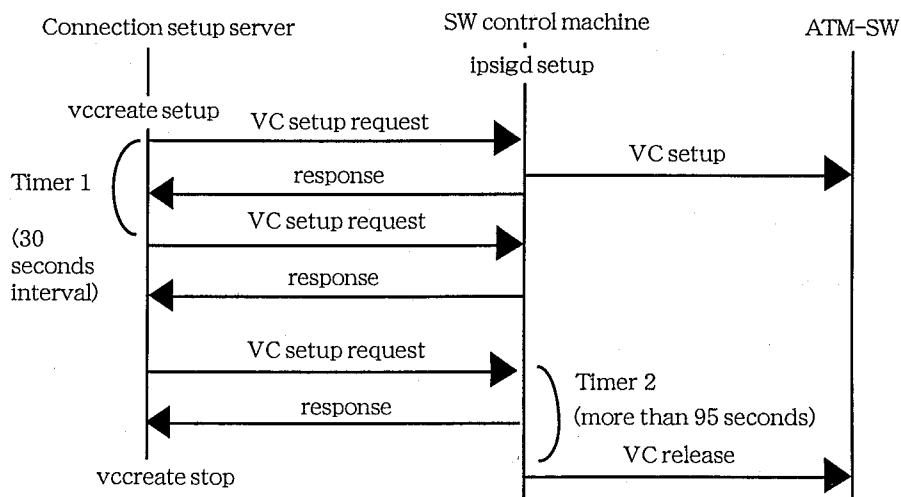


図 4-17 コネクション設定シーケンス

ネクションの設定シーケンスを示す [4-19]。4. 3. 1 (2) で述べたように、各 ATM-SWにはSW制御マシンが 配備されており、このマシンにはSW制御プログラム (ipsigd) がデーモンとして常時動作している。同図に示すように、遠隔の回線設定サーバからSW制御マシンに指示 (メッセージ) を送出すると、制御コマンド (vccreate) を ATM-SWに送信し、ATM-SWのコネクション設定を行う。このSW制御マシンに対しては、30秒毎にメッセージを送信し95秒を越えてSW制御マシンがメッセージを受信しないとコネクションを解放する。

(3) 遠隔講義サービスの回線設定法 [4-20]

本遠隔講義サービスを実施するには、まず予約のための受講端末と回線設定サーバまでのコネクションを設定する必要があり、講義サービス開始時刻になったら回線設定サーバから各SW制御マシンに回線設定のためのコネクション設定および講義サーバと講師端末、受講端末間のコネクション設定を行う。

本遠隔講義サービスでは、予約情報に基づき回線設定サーバから自律的に動作して講義サーバに講義予約情報をメッセージ転送するとともに、バックボーンネットワークおよびキャンパス内ネットワークの双方のATM-SWを遠隔制御する。すなわち、回線設定サーバで受講端末/サーバ間の各コネクションをルート算出するとともに、回線設定サーバからSW制御マシンに対してメッセージを送出し、必要なコネクション設定を行う。図4-18に本遠隔講義サービスにおける回線設定の接続構成を示す。

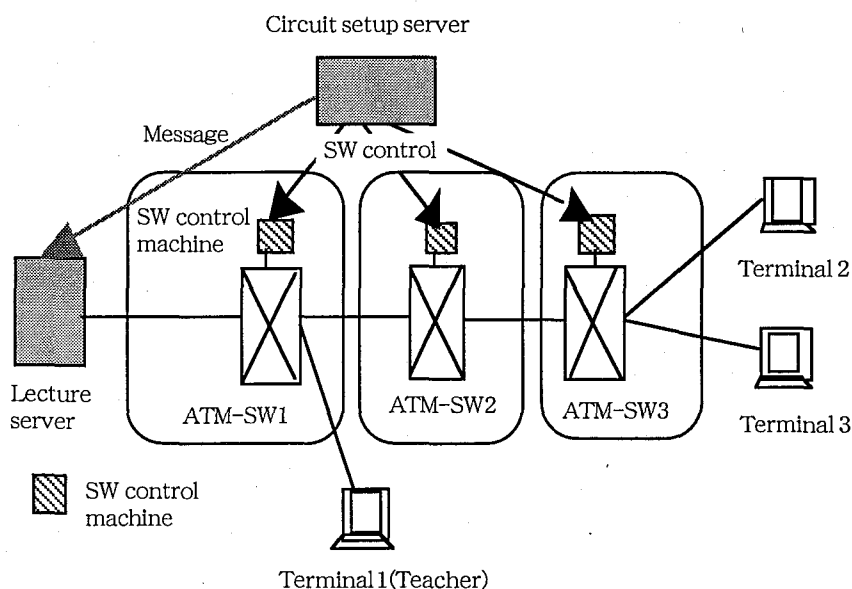


図4-18 遠隔講義サービスにおける回線設定

予約フェーズでは、各受講端末から遠隔講義サービスの予約を行うため、受講端末と回線設定サーバとの間でIPルーティングにより固定的に接続を設定しておく。すなわち、各受講端末のブラウザと回線設定サーバ間で、予約用にHTTP（Hyper Text Transfer Protocol）プロトコルによりTCP/IP通信を行って、回線設定サーバでは予約情報を受け付ける。また、回線設定のため回線設定フェーズから遠隔講義フェーズにかけては、回線設定サーバとATM-SW間で（2）で述べたSW制御用のメッセージを送信するの以上の各装置／システム間のネットワークの動作シーケンスを、予約フェーズ、回線設定フェーズ、遠隔講義フェーズに分けて図4-19に示す。

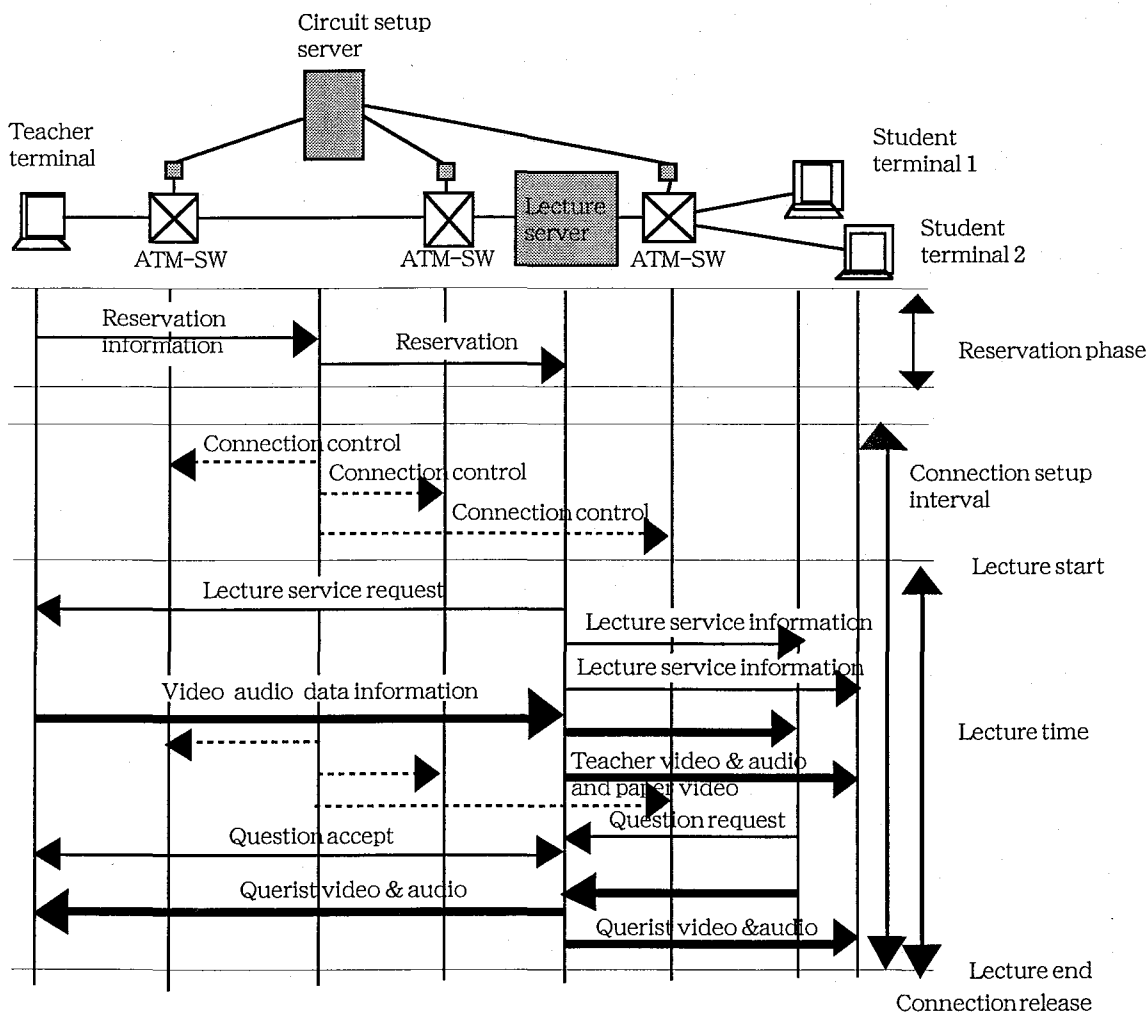


図4-19 遠隔講義サービスの動作シーケンス

でこの区間で固定的な接続を設定している。なお、予約受け付けが完了すると回線設定サーバから講義サーバに対してその予約情報を転送するため、これらサーバ間も固定的な接続を設定しておく。

4. 3. 6 システム構成方法

前節に述べたように、遠隔講義サービスを実現するため講義サーバやATM-SWなどのネットワークノードと通信するための回線設定機能と、講義サービスなどを提供するアプリケーション機能を分けて実現する。ユーザ側の要求条件を考慮して、前者の回線設定サーバには予約受付機能、予約管理機能および回線自動設定機能 [4-20] を設けることとし、後者の講義サーバには講義時間管理、講師および資料映像・音声分配機能、質問受付／終了機能など講義サービスに関連する機能を持たせる [4-21] 。

(1) 回線設定サーバの構成

回線設定サーバの機能としては、単に回線設定するだけでなく予約機能を具備し、設定した時間毎にルート探索機能、リソース管理機能も併せもつ。図4-20に回線設定サー

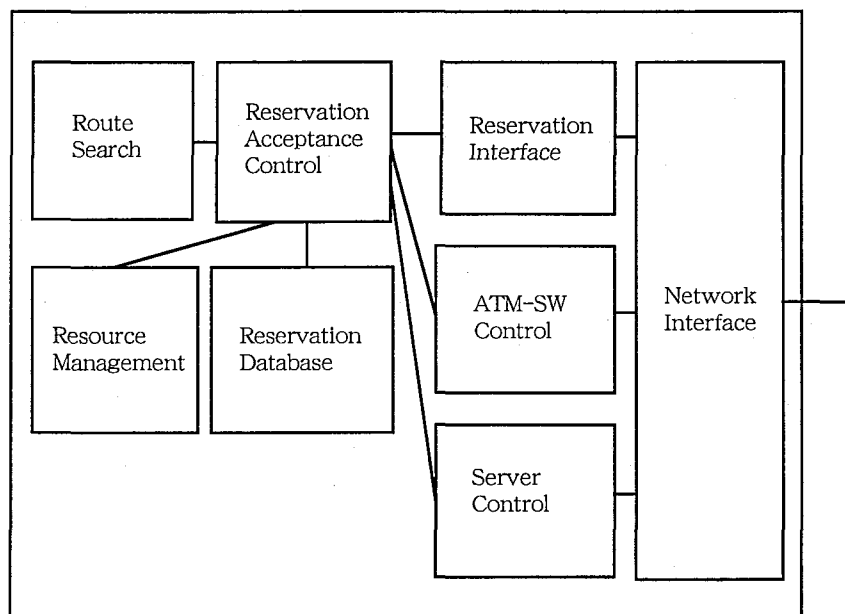


図4-20 回線設定サーバの構成例

バの構成例を示す。具体的には、ユーザが遠隔講義サービスを予約する場合には、講義サーバと講師端末間の接続、講義サーバと受講端末間の接続など必要なリンクのルートを選択し、空回線を探索する。これら各リンクを回線設定サーバで時間毎に管理してリソースの範囲内であれば予約を受け付ける [4-22]。これらのルート選択結果に基づいて、講義サービス開始時刻に回線設定サーバからATM-SW制御マシンに対してメッセージを送出し、VC接続を自動的に回線設定する。また、回線設定サーバは、講義サーバに対してユーザが投入した予約情報をメッセージとして送信し、以降は

講義サーバが自律的にサービス提供する。

(2) 講義サーバの構成

講義サーバの機能としては、上述したように回線設定サーバから予約情報（メッセージ通信）を受け取ったら自律的に講義サービスを提供できるものとし、講師サービス開始時刻から終了時刻まで講師端末と受講端末との間で映像・音声・データのソケット通信を行う。図4-21に講義サーバの構成例を示す。同図に示すように、回線設定サーバからの予約講義情報に基づき講義サーバプログラムが動作し、講義開始時間になればブラウザからの入力情報により講義動作を開始する。

具体的には、講師の映像・音声、資料映像および質問者の映像・音声情報を講師端末、受講端末と講義サーバ間で授受する。ただし、講師の映像として高解像度が必要な場合には講師端末のMPEG2のエンコーダからも同時に高品質映像・音声を送信し、講義サーバで

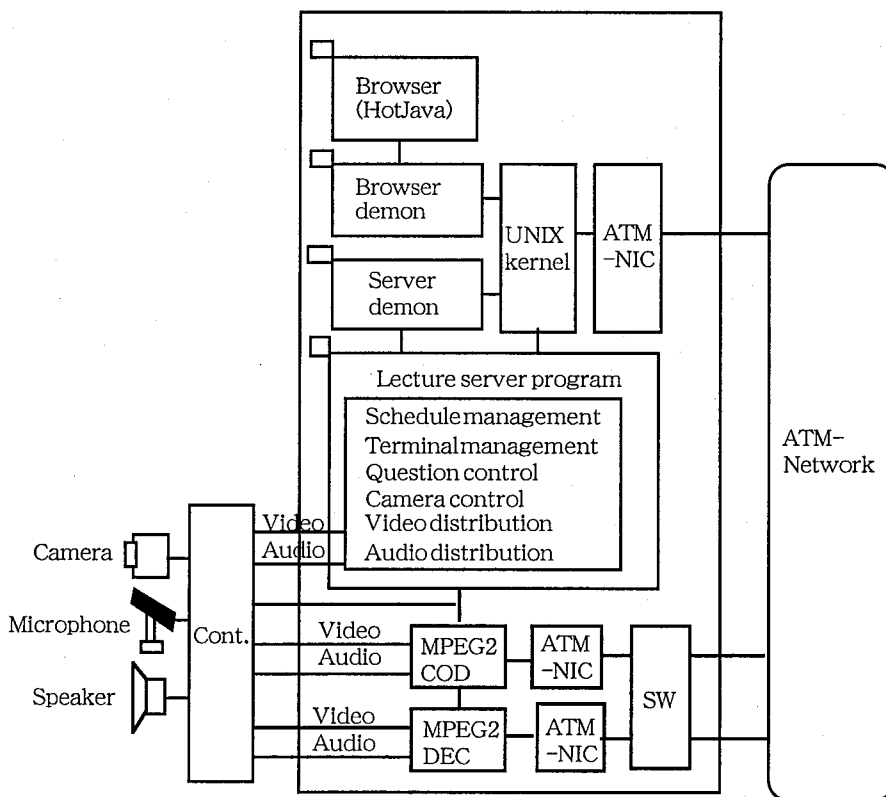


図4-21 講義サーバの構成例

はなにもせずATMネットワークにそのまま折り返して受講端末に分配する。

講義サーバで行う映像・音声などの処理を以下に示す。

<映像処理>

- 1) 講師端末からの講師映像（motion-JPEG形式）を受信し、全受講端末に分配する。

- 2) 講師端末からの資料映像 (motion-JPEG形式) を受信し、全受講端末に分配する。
- 3) 講師端末からの高解像度映像 (MPEG2形式) を受信し、そのまま受講端末側に折り返し送信する。
- 4) 受講端末のうち質問受け付け許可された受講端末から質問映像 (motion-JPEG形式) を受信し、講師端末および全受講端末に分配する。

<音声処理>

講義サーバ内の音声処理としては、聴講者 (質問者以外の受講者) に対しては講師音声と質問者音声の両者を分配する必要があるが、質問者に対しては講師音声のみを分配すればよい。質問者は、任意の受講者が講師から許可されれば質問者になりうるので、質問の度にこれらの音声加算法を変更する必要がある。このため、加算処理の遅延による品質劣化および質問受講者と質問者以外の聴講受講者への分配法の相違による処理の複雑化を避けるため、講義サーバで音声加算を行わず講師音声と質問者音声をそのまま2チャンネル分配し、受講端末側で加算したり選択受信することとする。このため、受講端末 (聴講者) では2チャンネルモードで受信し講師音声と質問音声を受信して2チャンネルを出力し、一方、受講端末 (質問者) では、講師と質問音声を受信し講師音声だけを出力する。

- 1) 講義サーバは講師音声を受信して、全受講者に分配する。
- 2) 講義サーバは質問音声を受信して、講師および全受講者に分配する。
- 3) 講師音声 (MPEG2 CODEC内蔵の音声) を受信し、そのまま受講端末側に折り返し送信する。

<質問処理>

講義サーバの質問処理としては、受講者から受信した質問要求を講師端末に転送し、講師が選択した受講生に質問許可信号を送信し、この受講者から映像および音声を受信する。受信した質問者の映像および音声を講師端末および受講端末に分配する。

- 1) 講義サーバは、質問者からの質問要求を受信する。
- 2) 講義サーバは、質問要求から質問者一覧リストを作成する。
- 3) 講義サーバから講師端末へ、質問要求を通知する。
- 4) 講師端末では、質問が受け付けられれば許可し、講義サーバに通知する。
- 5) 講義サーバから質問者に質問許可信号を送信する。
- 6) 講義サーバは、質問者一覧リストで許可した質問者を色を変えて表示する。
- 7) 質問端末から映像および音声を講義サーバにUDP送信する。
- 8) 講義サーバは、質問者からUDP受信した映像および音声を講師端末および受講端末

に配送する。

9) 質問者の質問が終了すれば、映像および音声の配送を停止するとともに、質問者一覧リストから削除する。図4-22に質問処理シーケンスを示す。

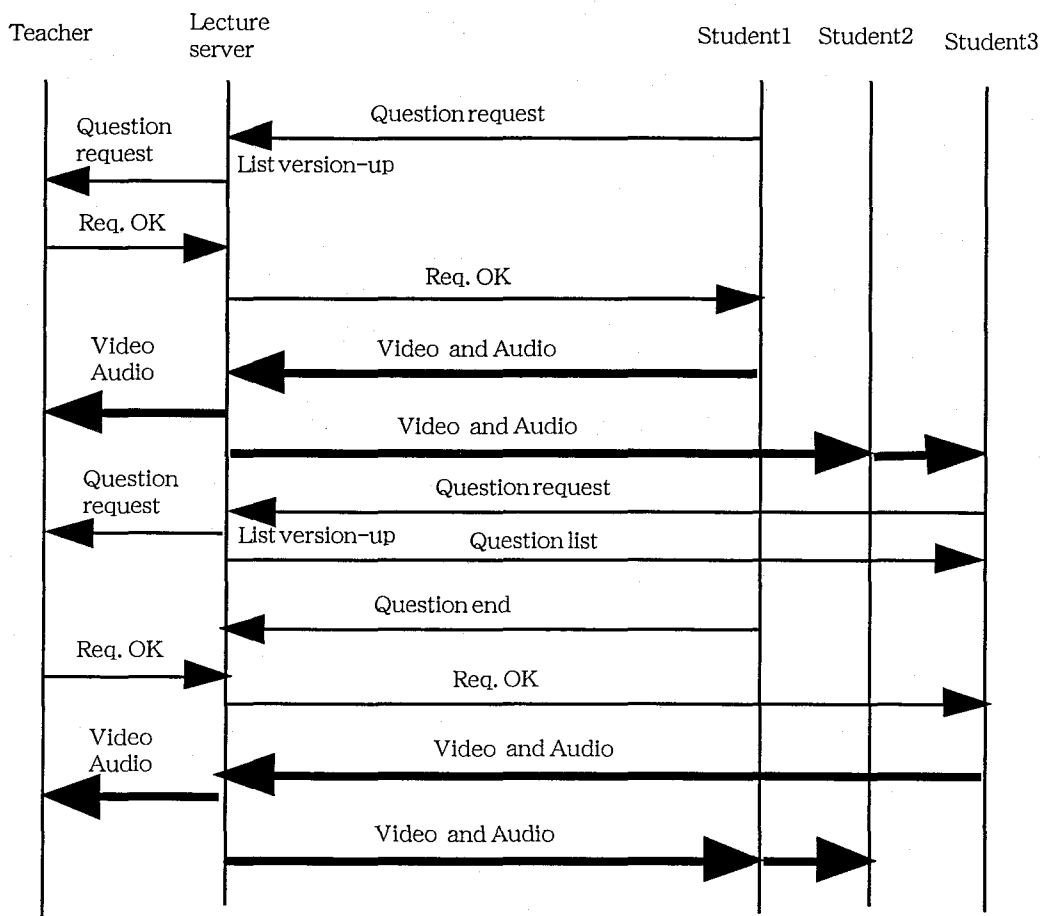


図4-22 質問処理シーケンス

(3) 受講端末の構成

基本的には受講端末はWSをベースに構成することとし、講師端末にはビデオキャプチャカードを2枚（講師映像用、資料映像用）挿入し、講師の映像および書画用カメラから別々に映像を取り込む。また、音声についても講師音声と質問者音声を2チャンネル処理できるSS20（SPARCstation 20でOSはSolaris2.4）などのWSを用いる。講師用の映像は、320X240画素、資料用には640X480画素数のmotion-JPEG方式のものを用い、さらに高解像度を要求する映像にはMPEG2のエンコーダ/デコーダ（CODEC）を用いる。前節で述べたように、受講端末では講義サーバから受信した講師音声と質問者音声のチャンネルの音声情報のうち受講者が質問している場合は、講師音声だけを出力する。図4-23に受講端末の構成例を示す。なお、MPEG2のエンコーダは講師端末および講義

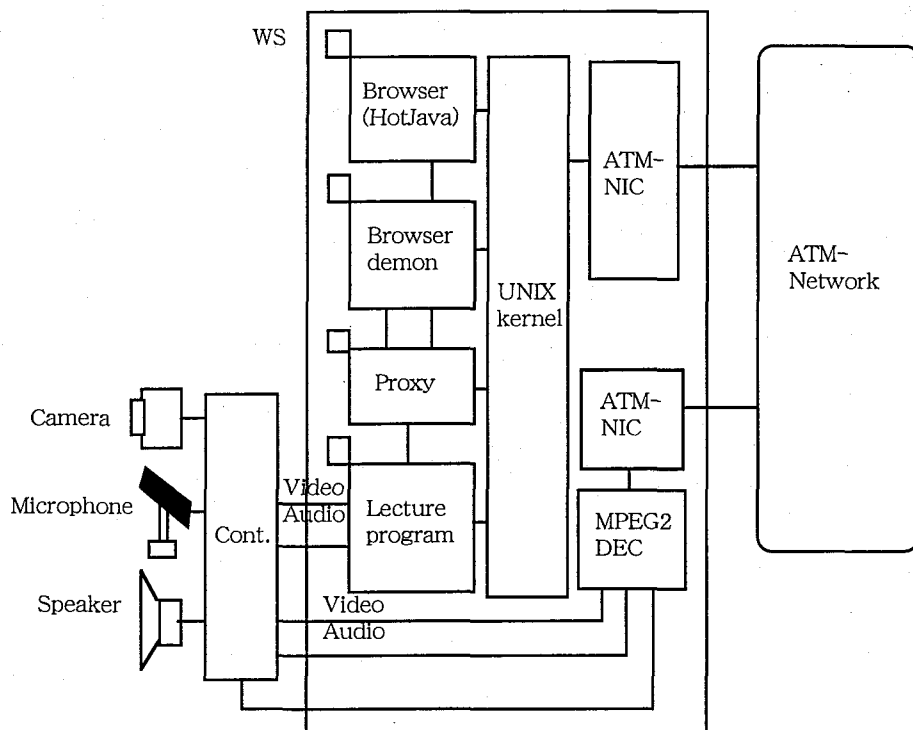


図 4 - 2 3 受講端末の構成例

サーバ（講義サーバにはデコーダも配備される）で用いられ、受講端末ではデコーダが用いられる。なお、端末のブラウザとしては、講師側／受講者側ともHotJavaなどの汎用ブラウザを用いることとし、このブラウザを介して予約の申し込み、講義サービスのパラメータ選択などを行う。

4. 3. 7 システムパラメータの設定

遠隔講義サービスを実現するためのシステム設計法について以下に述べる。前述したように、講義サーバと講義参加端末との間で、制御のための1：1のVCコネクションと映像および音声分配用の1：Nのマルチポイントコネクションを組み合わせることで複数同時に設定する。

(1) 映像・音声系のパラメータ設定

講義サーバなどで動作する映像系のプロセスとしては、講師映像プロセス、資料映像プロセス、質問映像プロセスの3つからなり、それぞれエンコードプロセス（映像取り込み、画面表示、圧縮、UDP/IP送信）、デコードプロセス（UDP/IP受信、復号、画面表示）および配送プロセス（UDP/IP受信、配送、UDP/IP送信）の処理を行う。映像系は、ビデオキャプチャカードを用いてNTSC映像信号を取り込む（講師用にmotion-JPEG：320X240画素の動画および資料用に640X480画素の準動画（たとえば静止画）、

また高品質向けにMPEG2 720X480画素)。

なお、フレーム送信レートの比率を以下のように設定する。

講師映像フレームレート : X

質問映像フレームレート : Y

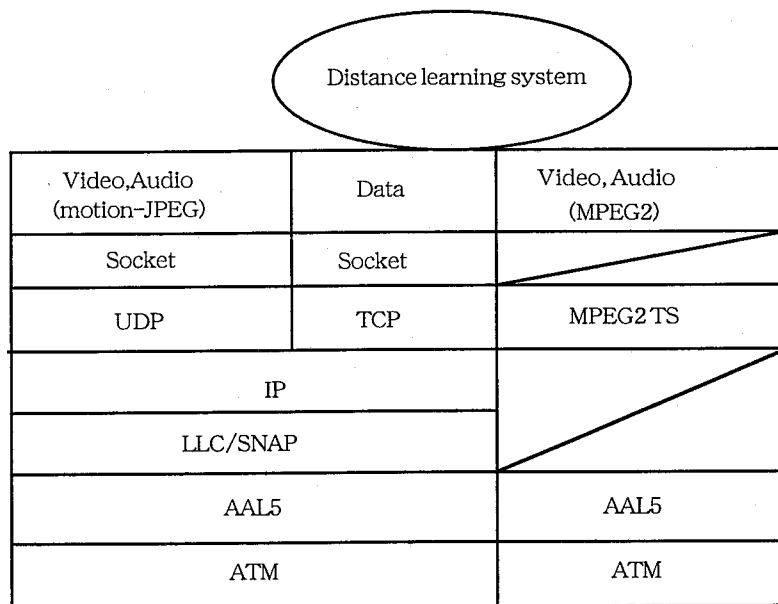
資料映像フレームレート : Z

これらは、必要とする映像の動きに対応して設定する (例えば、XとYを1に、Zを20程度に設定し、資料の送信情報量を削減する)。

また、音声については、16kHzで16ビットのサンプリングを行いリニアPCM (= 256kb/s) で125ms毎にデータグラム型のソケット通信を行う (講師は左チャンネル、質問受講者は右チャンネルの2チャンネル伝送)。

(2) ATMパラメータ設定法

本遠隔講義サービスで扱うプロトコルを図4-24に示す。WS間で映像・音声情報を



MPEG2 TS : MPEG2 Transport Stream
 IP : Internet Protocol
 SNAP : SubNetwork Access Point
 LLC : Logical Link Control
 AAL5 : ATM Adaptation Layer 5

図4-24 遠隔講義サービスのプロトコル構成図

伝送する場合はUDP/IPプロトコルを、制御情報およびデータ情報を伝送する場合はTCP/IPプロトコルを、AAL5の上にLLCカプセル化方式 (Multiprotocol Encapsulation over AAL5)を用いて伝送する [4-23]。一方、高解像度が要求されるMPEG2のプロト

コルは、MPEG2のTS(Transport Stream)をAAL5の上のせるMPEG2多重化方式(MPEG2 TS over ATM)を用いる。

本遠隔講義サービスにおいては、WS系の制御信号などのデータ通信にはソケット(Socket)通信を行い、映像・音声についてはリアルタイム性を考慮して、ソケット(UDP/IP)通信を行う。講師映像、資料映像および質問者の映像など複数の映像・音声情報を同時に伝送する必要があるので、コネクション毎に帯域割り当てを行いソケットレベルで多重化して伝送する。各コネクションの使用帯域としては、講師および質問者とも最大3Mb/s(音声系には256kb/sの2チャンネル分と制御データ分も含む)を、資料には2Mb/sを設定して、最大ピークレートとしては遠隔講師端末には5Mb/sを、各受講端末には3Mb/sのポイント・ポイント回線と8Mb/sのポイント・マルチポイント回線を設定する(表4-6を参照)。また、高品質向けのMPEG2に対しては、映像および音声を含めて6Mb/sとする。また、多重化の優先度としては、音声最も敏感であるので、1:講師音声、2:質問音声、3:講師映像、4:資料映像、5:質問映像の順序で優先制御する。ここで、講師映像、質問映像、資料映像に対して映像系のmotion-JPEGで取り込んだ映像信号を可変長のパケット(最大はMTU:Maximum Transmission Uintの9180バイト)で転送する。なお、音声は送受信の同期の取り易さを考慮し、固定長IPパケット(4kバイト)で伝送する。

4. 3. 8 遠隔講義サービスの実験とその特性

WSをベースに講義サーバおよび回線設定サーバを構成し、さらに複数の受講端末を構成して遠隔講義サービス実験を行った。受講端末で回線設定サーバに対して予約を行い、この回線設定サーバからATM-SWを遠隔制御し、遠隔講義サービスの実験を行った。実験システムの主要諸元を表4-8に示す。

(1) ATMコネクションの設定

回線設定サーバでは予約時に各リンクの使用帯域およびVCI番号の空塞をチェックし、ルート選定を行う。また、これにより求めた映像・音声のポイント・ポイントおよびポイント・マルチポイント回線を遠隔講義の予約時刻に設定し遠隔講義が問題なく開始できることを確認した。なお、講義サーバとしては、受講端末を兼ねることも可能であり、講師はこの講師端末のブラウザを操作しながら講義を進める。また、講義サービス中にMPEG2の使用帯域などを変更(CODEC制御)出来るが、他の予約への影響を考慮し予約のリソース範囲内に限定している。

表 4-8 実験システムの主要諸元

項目	諸元	
サービス形式	遠隔講義サービス： 講師側：講義室（講義サーバ）参加および遠隔からの参加 受講生側：講義室参加およびWS参加 回線設定サービス： 端末間通信（1：1）、サーバを介した会議通信（N：N） 予約サービス： 講義予約および回線予約（開始時間、終了時間の設定：10分単位） 予約変更、取り消し、参照 利用端末機能および品質モード設定	
使用メディア プロトコル	映像：通常品質(motion-JPEG)：8Mb/s 高品質(MPEG2)：6 Mb/s (CBR) 音声：16kHz 16ビットリニア MPEG1オーディオ	UDP/IP, LLC/SNAP (MPEG2 TS)
	データ：質問制御、カメラ制御	TCP/IP, LLC/SNAP
映像制御	カメラ遠隔制御 映像品質（エンコーダ/帯域）制御	
ブラウザ	講師用ブラウザ、受講生用ブラウザHotJavaにより構成 初期設定データ登録 サービス選択 予約データ（登録・変更・取消）	
使用回線構成	ATM 155 Mb/s：マルチモードファイバ接続 AAL5、PVC（固定接続）モード ネットワーク構成：2階層（バックボーン系、キャンパス系） バックボーン系の最大速度：67Mb/s キャンパス系の最大速度：135Mb/s 端末・回線設定サーバ間通信（予約系）ポイント・ポイント 講師端末-講義サーバ間回線：ポイント・ポイント 講義サーバ-受講端末間：ポイント・ポイント およびポイント・マルチポイント	

CBR: Constant Bit Rate

(2) 映像および音声パケット転送特性

講義サーバから分配する映像および音声信号の転送特性を測定し、パケット間隔特性を図4-25と4-26に示す。

映像信号はパケット長が平均7760バイト（7660バイトから7780バイト）の可変長でその間隔は平均66.7ms毎（分散1.1ms）に送出しており、平均930kb/sの転送レートでパケット送信している。一方、音声信号についてはパケット長が4064バイトの固定長で平均126.4msのパケット間隔で送出しており、258.8kb/sの転送レートで送信している。また、質問映像および質問音声については、質問端末から受信した映像および音声信号を一旦バッファで受信し、これをさらにソケット通信し各受講端末に分配する（2回のソケット通信）のでかなりばらつきが見られ、その遅延時間を測ったのが図4-27と図4-2

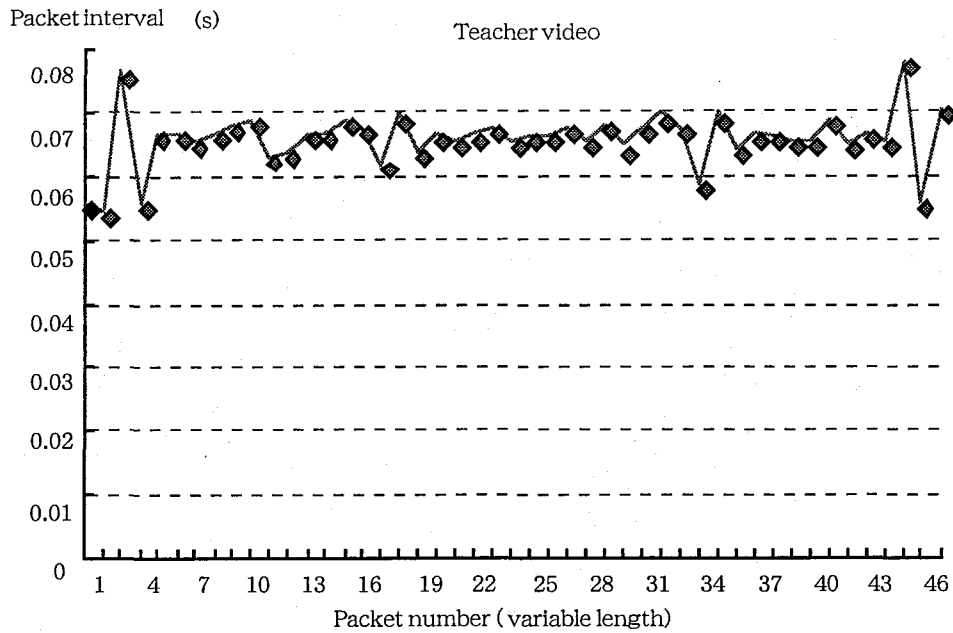


図 4-25 講師映像の packets 転送間隔

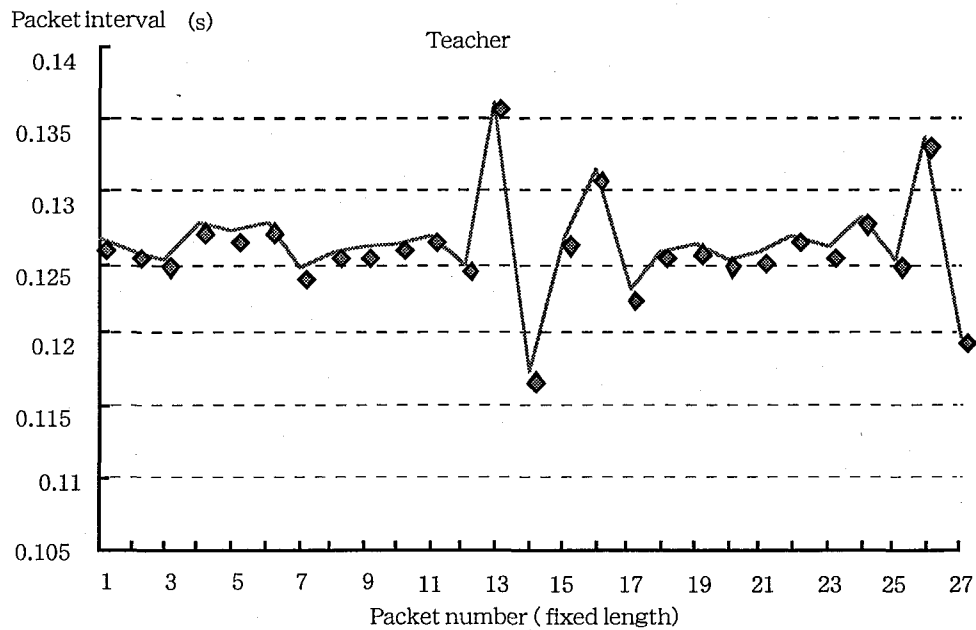


図 4-26 講師音声の packets 転送間隔

8である。

映像信号については約50msから330msとばらついておりこれによる遅延時間が大きい
が、受信側でこの映像を観測すると遅延は多少気になるが画質に対する大きな劣化は見ら
れなかった。一方、音声については、平均126.5msの遅延時間であり、124msから
130ms程度までばらつきが見られた。これは、ATMセルの送信にあたって音声を優先的

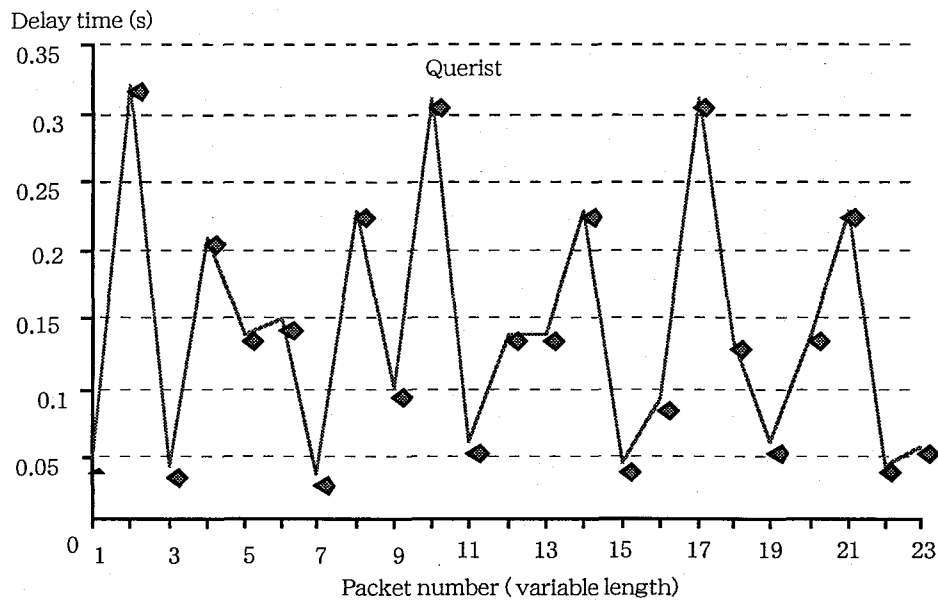


図4-27 質問映像信号の遅延時間（講義サーバ）

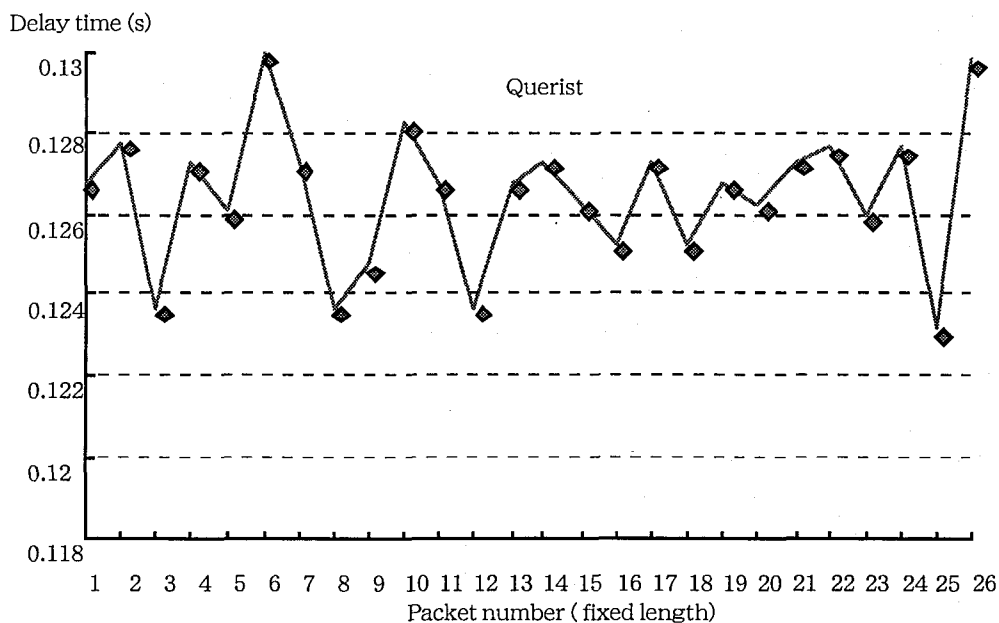


図4-28 質問音声信号の遅延時間（講義サーバ）

送信しているが、講師用の方が優先度が高く、また講義サーバで受信する際にすでに遅延が発生しており、さらに各受講端末にマルチキャスト分配する際のバッファの読み出しに再度ばらつきが重畳され遅延が増加したためである。これにより、受講端末側では、質問者の音声を講師音声と比較すると、切断等の音声ひずみを感じられる時もある。講義サーバでの質問映像および音声情報の遅延特性を表4-9にまとめる。講義サーバ

表 4-9 質問映像・音声信号の遅延特性 (WS系)

情報	暫定目標値	実測値
映像	400ms以内	50-330ms
音声	150ms以内	123-130ms

ビスにおける遅延時間の要求条件は明らかでないので、暫定目標値として映像：400ms、音声：150msを設ける（音声については、ITU-T G.114の遅延時間勧告を参考[4-24]）こととし、この目標値をクリアすることを確認した。

一方、MPEG2の packets (16384バイト：342セル) 転送間隔を図4-29に示す。

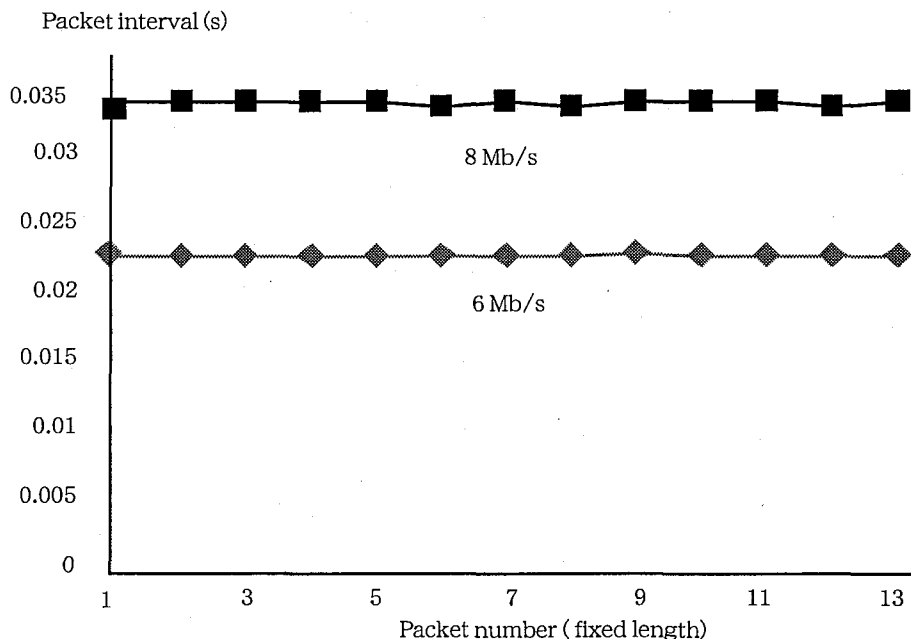


図 4-29 MPEG2 CODECの映像信号 packets 転送間隔

6Mb/s (映像は4.5Mb/s) の転送速度の場合は21.8msであり、問題なく転送でき画品質も非常に良好であった。

遠隔講義サービスとしての評価は、WS系の映像・音声だけでは品質的には遅延などがあり必ずしも十分ではなかったが、MPEG2のエンコーダおよびデコーダを併用することにより品質的にはほぼ満足すべきものと考えられる。

4. 3. 9 あとがき

以上、ATM-PVCネットワーク上の講師端末と複数の受講者端末間で、ポイント・ポイント型の対話型コネクションおよびポイント・マルチポイント型の分配型コネクションによるリアルタイム型の映像および音声を用いて遠隔講義サービスを行う質問者切替型遠隔講義システムを提案した。本システムの特徴は、質問者を一人に限定して講師と質問者のリアルタイム型の映像・音声コミュニケーションを実現するとともに、この情報を他の受講者にマルチキャスト分配することである。さらに、これを実現するATM-SW制御にあたり、予約ベースで遠隔から自動回線設定している。本遠隔講義システムの構成法、ATMコネクションの利用法などを示すとともに、実験を行ってその特性を評価した。得られた結論は以下のようなになる。

1) 広域にまたがるATM-LANを用いて講師端末と受講者端末間でリアルタイム型のTCPおよびUDP/IP通信およびMPEG2通信を行う遠隔講義システムを提案し、ATM-SWの回線設定を予約ベースで自動的に回線設定する回線設定サーバと講義サービスを提供する講義サーバの両者で構成する遠隔講義システムの実現法を示した。この遠隔講義サービスの特徴は、ATMレイヤのVCレベルのマルチポイント通信を利用し、講師映像および音声を分配するだけでなく、質問者の数は限定されるが、講師と質問者の間でインタラクティブな対話も可能である。

2) 遠隔講義に参加する多数の受講端末に対して、講師の映像および音声をATM (UDP/IP over ATMおよびMPEG2 TS over ATM) マルチキャスト伝送を実現し、複数ストリームによる分配通信を行ってもVCレベルのマルチポイント通信で優先制御を行えば、150 ms程度以下の遅延であり、ほぼ良好な結果が得られた。また、高品質向けにMPEG2を同時に使用すれば、講義サービスに十分な品質の映像・音声の伝送が可能であることを確認した。

参考文献

- [4-1] 武川、黒田、大久保、” 6.3 Mb/sフレーム間符号化方式(TRIDEC6.3)”、通研実報第33巻第1号pp.91-102 (1984)
- [4-2] 松浦、藤井、武川、” 画面縮小合成のための色信号処理法の検討”、昭61信学総合全国大会1316 (1986)
- [4-3] 松浦、若原、” 多地点間テレビ会議システム映像系構成の一検討”、テレビジョン

ン学会技術報告 Vol.12 No.24, pp.43-48 (1988)

- [4-4] 若原、松浦、藤井、”多地点間テレビ会議制御装置構成法の一検討”、信学技報 IE87-56 pp.111-117 (1987)
- [4-5] 阪田、前野、渡部、福岡、前原、”グループ通信アーキテクチャ”、信学技報 O S 89-26 (1989)
- [4-6] I T U-T 勧告 T. 1 2 2、” Multipoint Communication Service For Audiographics and Audiovisual Conferencing Service Definition”
- [4-7] 若原俊彦、”広帯域マルチグループ通信システムの構成に関する一検討”、画像電子学会研究会 93-02-02 (1993)
- [4-8] 岸野、若原、中谷、松浦、”テレビ会議技術の高度化”、通研実報、第38巻No.1 (1989)
- [4-9] 若原、中田、”マルチグループ通信システムにおける網アクセス協調処理の検討”、信学技報 OFS94-24 (1994)
- [4-10] 若原、畝本、佐藤、”高速マルチグループ通信における通信制御法の一検討”、93年信学会春季大会 B-625 (1993)
- [4-11] K.Kinoshita, T.Wakahara, K.Haruta and S.Kumon、” Service Aspects of Future Private Networks” (invited paper) IEICE Trans. COMMUN. Vol.E77-B, No.3 pp.306-313 (1994)
- [4-12] T.Wakahara, K.Unemoto, "Panel-Discussion Multimedia Conferencing over ATM Network", IEEE COMSOC Multimedia'94 (1994)
- [4-13] 若原、畝本、”高速マルチグループ通信システム実現法の検討”、NTT R&D Vol.43 No.9 pp.1003-1012 (1994)
- [4-14] 若原俊彦、”マルチグループ通信システムの構成と評価”、電子情報通信学会論文誌B投稿中
- [4-15] 中川、永瀬、橋本、下川、”マルチメディア双方向衛星通信システムのシステム特性の評価”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-B-I, No.6, pp.322-329 (1997)
- [4-16] 前田、相原、川本、寺内、河野、西村、”遠隔講義のためのマルチメディア通信環境”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J80-B-I, No.6, pp.348-354 (1997)
- [4-17] 若原、由比藤、恒川、水澤、池田、美濃、藤川、”ATMネットワークを用いた遠隔講義システム構成法の検討”、信学技報 OFS96-31 pp. 31-36 (1996)

- [4-18] 山内、泉岡、谷中、田代、伊藤、小寺、” MPEG2 パソコンボード”、情報処理学会 AVS8-7 (1995)
- [4-19] 太田正孝、” スイッチ設定プロトコルについて”、第5回JAINコンソーシアム総会研究会資料 (1995)
- [4-20] 若原、恒川、由比藤、水澤、”ATMネットワークの予約回線設定方式”、分散システム運用技術シンポジウム'97 pp.19-24 (1997)
- [4-21] 由比藤、若原、恒川、”ATM網を利用した遠隔講義システム構成法の検討”、1996年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会B-712 (1996)
- [4-22] 恒川、若原、由比藤、” ATM-PVC網自動回線設定における経路探索およびリソース管理法の検討”、信学技報 IN96-83 pp.29-34 (1996)
- [4-23] 富永、石川監修、” 標準ATM教科書”、アスキー出版局 (1995)
- [4-24] 西田訳、” ギガビットネットワーク”、ソフトバンク(1995)

第5章 結 論

本研究で得られた結論をまとめると、以下のようになる。

1) 第2章ではベースバンド系の同期方式について述べた。まず、デジタルデータ網の加入者線伝送方式の概要について述べ、加入者ケーブルを終端して波形変換や符号変換などを行う終端装置類(DSUおよびOCU)は、接続されるネットワークによりパケット交換、回線交換、専用モード毎に準備する必要があったが、機能の見直しを行い共通に利用できるレベルコンバータ(LCV)、コードコンバータ(CCV)、インタフェース(INF)の3部に分割し、CCV部をLSI化することによりコストが約2/3、大きさも約1/2の削減が可能となり、デジタルデータ網の普及に貢献した。また、デジタルデータ加入者線伝送方式では、特定のパターンで構成される網制御コードが保守時や障害時に利用され、このパターンに起因するパターンジッタにより誤り率特性が劣化していたが、受信部のタイミング抽出回路に複数のカウンタを導入して非線形の積分効果を持たせたカウンタ段数切替型DPLLを考案し、解析を行ってパターンジッタを1/3以下に抑圧できることを示し、実験的にも確認した。なお、本DPLLは上記LSI化CCVに採用され、良好な特性を示した。

2) 第3章では、キャリア系の同期方式として、既設のFDM伝送路を用いて長距離のデジタル伝送路を構築するPCM-FDM伝送方式の位相同期系について述べた。このPCM-FDM伝送方式では、FDM伝送路でのフィルタなどに起因する伝送ひずみにより符号間干渉が生ずるが、自動等化器を導入するとともに、この自動等化器が最適に動作するようキャリア位相とタイミング位相を同時に最適値に設定する必要がある。FDM伝送路での伝送ひずみが大きくなると自動等化器のタップ重みを用いた自動位相制御系の引き込み特性が劣化し、特にPCM 2次群のPCM-FDM伝送方式では重要な課題であった。これを解決するため、自動等化器を含めた多値伝送系の解析を行うとともに、自動等化器のタップ重み量を用いた自動位相制御系の動作解析を行い、キャリアおよびタイミングの両者の位相の相互最適関係を明らかにするとともに、制御系が安定に動作するための制御条件を導いた。さらに、伝送ひずみがある場合の制御条件も示し、ひずみが大きい場合には中心タップから離れた5タップ以遠のタップ重みを用いることにより安定に動作することを示すとともに、本方式の伝送ひずみに対する適用限界を示した。

このPCM-FDM伝送方式は、PCM-100Mb/sやPCM-400Mb/sなどの本格的なディジ

タル幹線伝送路が導入される以前に、デジタルデータだけでなくファクシミリ通信網のファクシミリ蓄積ノード間のデジタル伝送路や映像信号を6.3Mb/sに圧縮するフレーム間符号化装置 (TRIDEC)の伝送路としても多数導入され、商用に供された。

3) 第4章では、マルチポイント通信の場合の同期方式とこれを応用したマルチグループ通信および遠隔講義システムについて述べた。まず、第1節でマルチポイント通信における映像同期方式の特徴について述べた。映像符号化方式などで映像信号を色信号と輝度信号に時分割多重して伝送するTDM変換方式を用いる場合、ポイント・ポイント通信ではリンク毎に映像の周波数および位相の同期がとれるので特に問題はないが、複数の端末でマルチポイント通信を行って映像信号を合成する場合には、各映像ソースからの周波数および位相は送信部毎に異なっており、水平同期、フレーム同期の他にカラーサブキャリア信号の位相を同期させる必要がある。これを実現する方法として、多地点間テレビ会議サービスなどで各地点の映像を縮小して合成を行うための色位相変換方式について述べた。さらに、これら映像の同期化方式を応用した多地点間テレビ会議システムとして、多地点間テレビ会議のサービス条件を示すと共に、これの実現に必要な機能とシステム構成例を示した。また多地点間通信処理装置を構成する場合に、符号化・復号化や同期化を個別に行う回線対応部と映像合成・切替処理および音声加算処理等を行う共通部で構成し、この構成法の評価を行った。3～5地点会議までのトラヒックを想定し、各ポートの使用率および会議構成数を評価し、効率的に装置を使用出来る見通しが得られた。また、第2節と第3節でマルチポイント通信の応用システムについて述べた。まず、第2節では、第1節で述べた多地点間テレビ会議サービスが参加するすべてのメンバが同じ機能を有する単一グループから構成されているのに対し、学会のシンポジウムのようにパネルディスカッションの形式でパネラとフロアなどのように異なるグループメンバで構成されるマルチグループ通信システムを提案し、この構成法ならびにその特性を示した。多人数のメンバが参加出来るマルチグループ通信システムを実現するにあたり、参加するメンバの役割を定めると共に、メンバ間のコミュニケーションの強度を方向性、時間性、即時性の3点から定め、これにより強結合、中結合、弱結合などの複数のグループを構成することとした。マルチグループ通信処理サーバではこの結合度に対応したメディア処理を行い、グループ通信処理およびサービス処理を行ってマルチグループ通信を実現できることを示した。さらに、このマルチグループ通信を実現するための通信処理サーバの機能および構成を明らかにするとともに、各端末との動作シーケンスを定め、回線設定法および通信サーバの機能・構成法を明らかにした。実際にATM-LANを用いてパネルディスカッション会議のグ

ループ通信プロトタイプを実現し、機能確認を行った。さらに、メッシュ、スター、ツリー形態などの接続設定形態で接続利用率を比較評価すると共に、メンバーの発言率からメンバー間結合度を状態遷移図を用いて評価し、メンバーがグループを変更する場合の目安を求めた。次に第3節では、ATM-PVC網を用いて予約ベースでマルチポイント通信を行う遠隔講義システムについて述べた。ATM-PVCネットワーク上で遠隔の講師と受講生の間でリアルタイムの講義空間を実現するため、予約ベースでATMのポイント・ポイントおよびポイント・マルチポイントのVC接続を併用する遠隔講義システムを新たに提案した。本システムでは、あらかじめ講師端末、受講端末および講義スケジュールを指定して回線設定サーバに予約し、講義開始時間になるとこの回線設定サーバからATM-SWに対して接続設定コマンドを送出し、講義サーバと講師端末および受講端末間のATM接続を遠隔設定する。講義サーバと端末間は、講師の映像・音声および資料映像のUDP/IP通信およびデータのTCP/IP通信を実現している。また、高品質の映像通信を行う場合には、MPEG2のCODECを併用してMPEG2 over ATM通信を行う。プロトタイプシステムを構築し、NTTのマルチメディア共同利用実験のOLU(On-Line University)プロジェクトのATM伝送路を用いて実験を行い、本方式の有効性を確認するとともに、その伝送特性などを評価した。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、ご指導、ご教示を頂いた東京工業大学工学部酒井善則教授に慎んで感謝の意を表します。また、有益なご討論、ご助言をいただいた東京工業大学工学部藤井信生教授、坂庭好一教授、植松友彦助教授、理工学国際交流センター鈴木博教授、西原明法教授に感謝の意を表します。

本研究は、筆者がNTT電気通信研究所において1974年から1997年にわたって行ったものであり、本研究の機会を与えられまたご指導いただいた大森喬元NTT画像通信研究部長、応用光電研究室(株)大川原忠義顧問、青木利晴NTT取締役副社長、NEL(株)山本啓技師長、湘南工科大学金谷文夫教授、北海道工業大学渡辺一央教授、AT&Tベル研小川謹一郎部長、東京大学安田浩教授、東京電機大学村上伸一教授、NTT-AT(株)HITセンター遠藤隆也所長、長岡技術科学大学島田正治教授、大阪大学岸野文郎教授、木下研作研究開発推進部部長に感謝致します。

また、研究を進めるに当たり以下の方々に多大なご協力いただき、深く感謝致します。

第2章：西山茂主幹研究員、小寺博国際本部部長

第3章：NTT-AT(株)橋本浩平 課長、高野一男課長、原英治法営本システムサービス部課長

第4章：西野正和主任研究員、中電工(株)畝本和夫部長、松浦道明主任研究員、由比藤光宏主任研究員、NTTコムウェア(株)藤井猛 部長、恒川健司研究主任、NTC(株)松沢かほる社員、NTT-AT(株)伊東洋次社員

また、研究を進めるに当たり有益な助言をいただいた水澤純一特別研究室長、井上友二国際本部部長、本論文のとりまとめにあたり激励と励ましをいただいたNTT-AT(株)中田寿部長、山本秀男企画部長、杉田恵三研究開発推進部部長に感謝するとともに、本論文のとりまとめに格別の配慮をしていただいた吉開範章主幹研究員、萱野忠主幹研究員に感謝します。

発表論文

I 学会論文誌

- (1) K.Watanabe, K. Ogawa, T. Endo and T.Wakahara, "PCM-FDM System for Existing Microwave Radio Baseband", IEEE Trans. on COM Vol. COM-24 No.12 pp.1346-1350 (1976)
- (2) 若原、島田、小山、"デジタル処理形位相同期回路のパターンジッタ抑圧に関する検討"、信学論 (B) J64-B No.8 pp.832-838 (1981)
- (3) T. Wakahara, S. Shimada and F. Kanaya, "New LSI Digital Service Units and Office Channel Units used for NTT Digital Data Networks", IEEE Trans. on COM Vol. COM-29, No.3 pp.365-370 (1981)
- (4) 若原、渡辺、"タップ重み量を用いた自動位相制御回路の動作解析", 信学論 (B) J66-B No.12 pp.1510-1517 (1983)
- (5) K.Kinoshita, T.Wakahara, K.Haruta and S.Kumon ; "Service Aspects of Future Private Networks", (invited paper) IEICE Trans. on Communications E77-B No.3 pp.306-313 (1994)
- (6) 若原俊彦、"ATM-PVC網を利用した遠隔講義システムの構成と特性"、電子情報通信学会論文誌B投稿中
- (7) 若原俊彦、"マルチグループ通信システムの構成と評価"、電子情報通信学会論文誌B投稿中

II 国際会議

- (1) Y.Sakai, T.Aoki and T.Wakahara, "Integrated Services Subscriber Loop Network Design", The International Symposium on Subscriber Loops and Services, pp.131-135 (ISSLS'78) (1978)
- (2) T.Wakahara, M.Hiroyama and H.Ogawa, " Facsimile Computer Communication by Center-end Facsimile Communication Network", IFIP World Congress Information Processing 83 pp.687-691(1983)
- (3) T.Wakahara, K.Unemoto and T.Kawamura, "A study on Multipoint Videocnference Service for Multimedia LAN", 3rd IEEE ComSoc International Workshop on Multimedia Communications, pp.1-6 (MULTIMEDIA'90) Bordeaux (1990)
- (4) K.Unemoto and T.Wakahara, " New Multi-group Communication System", 2nd International Conference Dedicated to IMAGE COMMUNICATION, (IMAGE'COM93) Bordeaux (1993)
- (5) T.Wakahara and K.Unemoto, " Panel-Discussion Multimedia Conferencing over ATM

Network", 5th IEEE COMSOC International Workshop on Multimedia Communications pp.4.5.1-4.5.5 (MULTIMEDIA'94) Kyoto (1994)

- (6) K.Tunekawa, T.Wakahara and M.Yuitou, " Connection Setup over ATM-PVC Networks", 1997 Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies pp.4.4.1-4.4.5 (APSITT'97) Hanoi (1997)

Ⅲ 研究会報告

- (1) 山本、渡辺、若原、"PCM-FDM方式における同期抽出の検討"、信学技報 CS73-9 pp.1-11 (1973)
- (2) 渡辺、小川、遠藤、若原、"1.544Mb/s PCM-FDM変換装置の設計と伝送特性"、信学技報 CS74-20 pp. 55-62 (1974)
- (3) 渡辺、若原、"1.544Mb/s PCM-FDM伝送方式同期系の設計"、信学技報 CS74-22 pp. 73-81 (1974)
- (4) 酒井、若原、"PCM-FDM方式の監視系に関する一検討"、信学技報 CS74-61 pp.11-19 (1974)
- (5) 小川、遠藤、若原、橋本、"音声下部帯域用PCM 1次群PCM-FDM伝送方式の現場試験結果"、信学技報 CS74-62 pp.21-28 (1974)
- (6) 小川、若原、遠藤、酒井、"PCM 2次群用PCM-FDM方式"、信学技報 CS75-29 pp.69-76 (1975)
- (7) 若原、遠藤、小川、"多値波形伝送系における位相追尾系の一検討"、信学技報 CS75-172 pp. 63-70 (1976)
- (8) 若原、高野、酒井、"PCM-FDM方式における位相追尾系の実験的検討"、信学技報 CS75-189 pp. 81-88 (1976)
- (9) 橋本、高野、酒井、若原、"C-60Mを用いた高速デジタル伝送の検討"、信学技報 CS76-138 pp. 57-63 (1976)
- (10) 島田、柿野、若原、前島、小林、"デジタルデータ網用加入者系伝送装置類の構成と機能"、信学技報 CS79-89 pp. 91-96 (1979)
- (11) 若原、原、島田、藤田、"デジタルデータ網用加入者線IC化終端装置類の概要"、信学技報 CS79-90 pp. 97-102 (1979)
- (12) 島田、柿野、若原、鷺山、藤田、"デジタルデータ網における自動折り返し方式の提案"、信学技報 CS79-91 pp. 103-108 (1979)
- (13) 西山、若原、島田、鷺山、"デジタルデータ網における伝送交換インタフェースに関する一考察"、信学技報 CS79-92 pp. 109-114 (1979)
- (14) 島田、若原、金谷、"デジタルデータ網用加入者線IC化終端装置類の設計概念"、信学技報 CS79-217 pp. 5-8 (1980)

- (15) 若原、原、小山、日高、” デジタルデータ加入者伝送方式用D P L Lのジッタ抑圧に関する検討”、信学技報 CS79-218 pp. 9-12 (1980)
- (16) 島田、金谷、若原、西山、” ISDNを指向したDSUに関する一考察”、信学技報 CS80-14 pp. 49-54 (1980)
- (17) 若原、島田、明石、山口、小山、” ブリッジドタップつき加入者線における高速ベースバンドデータの等化について”、信学技報 CS80-34 pp.73-78 (1980)
- (18) 長山、足達、小菅、若原、” 多地点間通信における最適ルーチングアルゴリズムの検討”、信学技報 CS85-68 pp.61-66 (1985)
- (19) 若原、松浦、藤井、” 多地点間テレビ会議制御装置構成法の一検討”、信学技報 IE87-56 pp.111-117 (1987)
- (20) 松浦、若原、” 多地点間テレビ会議システム映像系構成の一検討”、テレビジョン学会技術報告 Vol.12 No.24 pp.43-48 (1988)
- (21) 若原、畝本、木下、” 構内通信システム用映像伝送方式の一検討”、テレビジョン学会技術報告 Vol.15 No.25 pp.1-6 (1991)
- (22) 若原俊彦、” 広帯域マルチグループ通信システムの構成に関する一検討”、画像電子学会研究会 93-02-02, pp.5-8 (1993)
- (23) 若原、中田、” マルチグループ通信システムにおける網アクセス協調処理の検討”、信学技報 OFS94-24 pp. 1-6 (1994)
- (24) 若原俊彦、” マルチメディア通信サービスの一検討”、信学技報 CS94-79 pp.35-40 (1994)
- (25) 若原、水澤、” マルチメディア通信サービス高度化の一検討”、信学技報 CS94-199 pp.17-22 (1995)
- (26) 若原、籠、由比藤、恒川、村岡、” ATMネットワークを用いたマルチメディア情報転送特性の実験的検討”、信学技報 CQ96-7 pp. 45-50 (1996)
- (27) 籠、若原、由比藤、村岡、” ATM上に構築したインターネットにおける高速通信に関する課題について”、情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会 74-20 pp.115-120 (1996)
- (28) 若原、由比藤、恒川、水澤、池田、美濃、藤川、”ATMネットワークを用いた遠隔講義システム構成法の検討”、信学技報 OFS96-31 pp. 31-36 (1996)
- (29) 恒川、若原、由比藤、” ATM-PVC網自動回線設定における経路探索およびリソース管理法の検討”、信学技報 IN96-83 pp. 29-34 (1996)
- (30) 若原、恒川、由比藤、水澤、” A T Mネットワークの予約回線設定方式”、情報処理学会分散システム運用技術シンポジウム'97 pp.19-24 (1997)
- (31) 関、若原、” コミュニケーション・ナビゲータの提案”、信学技報 OFS97-37 pp.25-30 (1997)

- (32) 吉開、萱野、若原、西野、”分散オブジェクト環境におけるネットワークライブラリの検討”、情報処理学会マルチメディア通信と分散処理研究会 85-38 pp.219-224 (1997)

IV 全国大会報告

- (1) 若原、渡辺、”トランスバーサル形遅延等化器の一設計法”、昭48信学全大1857(1973)
- (2) 小川、若原、遠藤、”PCM-FDM変換装置の雑音設計について”、昭50信学全大1684 (1975)
- (3) 若原、小川、青木、”PCM-FDM伝送方式の伝送品質に関する一検討”、昭51信学総合全大1532(1976)
- (4) 若原、高野、橋本、”PCM 2次群用PCM-FDM変換装置の伝送特性”、昭51信学総合全大1533(1976)
- (5) 若原、青木、森川、佐多、”PCM-FDMにおけるAPC方式の検討”、昭51信学総合全大1538(1976)
- (6) 若原、高野、”PCM-FDM方式の位相制御に関する一検討”、昭51信学通信部門全大149 (1976)
- (7) 酒井、若原、青木、”新サービス加入者系の基本構成”、昭52信学総合全大1581(1976)
- (8) 若原、酒井、”加入者系高速デジタル伝送方式の一考察”、昭53信学総合全大1630 (1978)
- (9) 原、若原、島田、”デジタルデータ網用加入者線自動線路等化器の一検討”、昭53信学通信部門全大214(1978)
- (10) 藤田、若原、島田、”デジタルデータ網用加入者線自動ループ設定確認回路の一考察”、昭53信学通信部門全大228(1978)
- (11) 若原、小寺、山澤、津田、小木曾、”加入者線2線化伝送の検討”、昭55信学総合全大1974(1980)
- (12) 若原、原、小倉、大山、”加入者線データ伝送用自動等化方式の検討”、昭55信学総合全大1975(1980)
- (13) 平野、若原、”FDICにおけるパケット送受信の一手法”、昭56信学情報・システム部門全大130(1981)
- (14) 若原、中山、下田、平野、”センタエンド形ファクシミリ通信用ファクシミリ・データ変換接続装置構成法の検討”、昭56信学総合全大1237(1981)
- (15) 若原、沢田、藤本、永井、”FDICにおける対情報センタインタフェース装置構成の検討”、昭56信学情報・システム部門全大144(1981)
- (16) 沢田、若原、永井、”FDICにおける共通線信号装置構成の検討”、昭57信学総合全大1148(1982)

- (17) 若原、藤井、松浦、”多地点間テレビ会議におけるサービス提供形態の一検討”、昭61信学通信部門全国大会573(1986)
- (18) 若原、松浦、高呂、”多地点間テレビ会議装置の構成”、昭62信学会情報・システム部門全国大会180(1987)
- (19) 松浦、若原、藤井、”多地点間テレビ会議装置の試験法の検討”、昭62信学会情報・システム部門全国大会181(1987)
- (20) 若原、畝本、由比藤、”マルチメディアLANによる会議サービス構成法の一検討”、情報処理学会第39回(平成元年後期)全国大会1U-1(1989)
- (21) 由比藤、日上、若原、”音声パケット通信におけるホス雑音挿入方式の一検討”、90年信学会春季大会B-563(1990)
- (22) 若原、由比藤、田辺、畝本、”マルチメディアLANにおけるコネクション機能実現方式の一検討”、90年信学会春季大会B-656(1990)
- (23) 川村、由比藤、若原、”マルチメディアLANにおける呼受付制御方式の基本検討”、90年信学会春季大会B-661(1990)
- (24) 若原、畝本、日上、”多地点間テレビ会議通信制御法の一検討”、90年信学会秋季大会B-640(1990)
- (25) 畝本、若原、”映像通信における遠隔協調制御の一検討”、91年信学会秋季大会B-467(1991)
- (26) 若原、木下、”高速・広帯域網の構内系サービスシステムに関する一検討”、92年信学会春季大会SB-7-1(1992)
- (27) 畝本、若原、”マルチポイント通信における協調処理法の一検討”、92年信学会春季大会SB-7-3(1992)
- (28) 若原、畝本、”高速系通信網におけるマルチパーティ通信方式の検討”、92年信学会秋季大会B-490(1992)
- (29) 若原、畝本、佐藤、”高速マルチグループ通信における通信制御法の一検討”、93年信学会春季大会B-625(1993)
- (30) 畝本、若原、”階層型グループ通信の実現法に関する検討”、93年信学会秋季大会B-553(1993)
- (31) 若原、岡部、”高速マルチグループ通信におけるメンバ間ネゴシエーション法の一検討”、94年信学会春季大会B-792(1994)
- (32) 若原俊彦、”マルチメディア通信サービスアーキテクチャに関する一検討”、94年信学会秋季大会B-669(1994)
- (33) 若原俊彦、”マルチメディア通信サービス構造化に関する一検討”、95年信学会通信ソサイエティ大会B-427(1995)
- (34) 若原俊彦、”マルチグループ通信サービスの高度化に関する一検討”、95年電子情報通信

学会総合大会B-837 (1995)

- (35) 若原、森松、"マルチメディア通信サービスナビゲーション手法に関する一検討"、96年電子情報通信学会総合大会B-861 (1996)
- (36) 恒川、若原、籠、"ATMネットワークにおけるTCP/IP利用法の一検討"、96年電子情報通信学会総合大会B-729 (1996)
- (37) 恒川、若原、由比藤、"ATM-PVC網における自動回線設定システム"、96年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会B-858 (1996)
- (38) 由比藤、若原、恒川、"ATM網を利用した遠隔講義システム構成法の検討"、96年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会B-712 (1996)
- (39) 籠、若原、由比藤、村岡、"ATMネットワーク上でのTCP/IPプロトコルの振舞"、情報処理学会第52回全国大会1Bb-6 (1996)
- (40) 恒川、若原、"自動回線設定システムにおける回線経路探索法の検討"、97年電子情報通信学会総合大会B-8-33 (1997)
- (41) 若原、由比藤、吉井、"MPEG2パラメータ制御法の検討"、97年電子情報通信学会総合大会B-7-253 (1997)

V 機関誌

- (1) 青木、山本、渡辺、小川、遠藤、若原、橋本、"1.544Mb/s PCM-FDM変換装置の設計と伝送特性"、通研実報第23巻第6号、pp.1081-1113 (1974)
- (2) 渡辺、若原；"1.544Mb/s PCM-FDM伝送方式同期系の設計"、通研実報第23巻第6号、pp.1151-1182 (1974)
- (3) K.Ogawa, T.Wakahara, T.Endo and K.Watanabe, "Design and Transmission Characteristics of 1.544 Mb/s PCM-FDM Converter", Review of the ECL Vol.22 Nos.11-12 pp.963-970 (1974)
- (4) K.Watanabe and T.Wakahara, "Synchronization System Design Consideration for 1.544 Mb/s PCM-FDM Transmission", Review of the ECL Vol.22 Nos.11-12 pp.981-990 (1974)
- (5) 青木、渡辺、小川、遠藤、若原、橋本、"音声下部帯域用1.544Mb/s PCM-FDM変換装置の設計"、通研実報第25巻第4号、pp.671-708 (1976)
- (6) 渡辺、小川、遠藤、若原、橋本、"音声下部帯域用1.544Mb/s PCM-FDM変換装置の現場試験結果"、通研実報第25巻第4号、pp.709-725 (1976)
- (7) T.Aoki, K.Watanabe, T.Endo and T.Wakahara, "1.544Mb/s PCM-FDM System for Existing Microwave Radio Baseband", Review of the ECL Vol.25 Nos. 5-6, pp.390-402 (1977)
- (8) 青木、小川、遠藤、若原、"6.312Mb/s PCM-FDM伝送方式の概要"、通研実報第26巻第

- 3号、pp.973-983 (1977)
- (9) 小川、酒井、若原、"6.312Mb/s PCM-FDM変換装置の設計"、通研実報第26巻第3号、pp.985-1010 (1977)
 - (10) 遠藤、酒井、若原、"6.312Mb/s PCM-FDM伝送方式の伝送実験"、通研実報第26巻第3号、pp.1011-1026 (1977)
 - (11) K.Ogawa, T.Endo, T.Wakahara and Y.Sakai," 6.312Mb/s PCM-FDM Transmission System", Review of the ECL Vol.26 Nos.3-4, pp.526-538 (1978)
 - (12) 島田、金谷、若原、"デジタルデータ網用新回線終端装置の実用化"、通研実報第30巻第12号、pp.2991-2999 (1981)
 - (13) 広山、小杉、若原、小川、" FICS-2ファクシミリデータ変換接続装置(FDIC)構成"、通研実報第32巻第1号、pp.127-137 (1983)
 - (14) 沢田、小杉、下田、若原、" FICS-2 FDIC信号転送系装置"、通研実報第32巻第1号、pp.153-166 (1983)
 - (15) 岸野、若原、中谷、松浦、" テレビ会議技術の高度化"、通研実報第38巻第1号 pp.67-79 (1989)
 - (16) 若原、畝本、" 高速マルチグループ通信システム実現法の検討"、NTT R&D Vol.43 No.9 pp.1003-1012 (1994)
 - (17) 中田、若原、萱野、杉田、山上、" 高機能ネットワークインテグレーション"、NTT R&D Vol.43 No.12 pp.1381-1390 (1994)
 - (18) H.Nakata, T.Wakahara, T.Kayano, K.Sugita and T.Yamakami,"Network Integration Consultation Environment(NICE)", NTT REVIEW Vol.7 No.2 pp.82-89 (1995)