

## ATM/IHE で構成した広帯域ネットワークの 構築と検証実験

齋藤梅朗<sup>†</sup>, 荒川克憲<sup>†</sup>, 小山義人<sup>†</sup>, 中村太一<sup>†</sup>

服部征一<sup>††</sup>, 森 卓郎<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>会津大学コンピュータ理工学研究科

<sup>††</sup>日本サン・マイクロシステムズ(株) <sup>†††</sup>INSエンジニアリング(株)

バックボーンネットワークとアクセスネットワークで構成する大規模ネットワークの構築は、そこで実現される情報サービスと提供形態、地理的条件と情報流通量、ネットワーク技術などさまざまなレベルでの総合的検討が必要である。その具体的試みとして CrossoverNet アーキテクチャーにもとづき、通信系広域ネットワークと放送系地域ネットワークを相互接続した実験ネットワークの設計、構築及び検証実験を行った。この実験ネットワークは広帯域データ伝送をともなう通信・放送サービスを目的とすることから、帯域スイッチIHE(知能型ヘッドエンド)とATMスイッチで構成し、これに適合する新しいプロトコルスタックを開発した。このプロトコルサービスが提供する AV コネクションを利用した高品質動画サービスの検証する応用実験を行い、その有効性を確認した。

## A Construction and Verification Experiment in the Broadband Network Composed of IHE/ATM

Senro Saito<sup>†</sup>, Katsunori Arakawa<sup>†</sup>, Yoshihito Koyama<sup>†</sup>, Taichi Nakamura<sup>†</sup>

Seiichi Hattori<sup>††</sup>, Takuro Mori<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>The University of Aizu

<sup>††</sup>Nihon Sun Microsystems K.K. <sup>†††</sup>INS Engineering Corporation

An overall examination at various levels like achieved information services, offer types, geographical conditions, amount of the information circulation, and network technologies, etc. is necessary for the problem of the construction of a large scale network which composes of a backbone network and the access networks. As the concrete try, the experimental network based on the CrossoverNet architecture was designed and construction and the verification experiment were done. They composes the network with which wide area communication systems and the regional broadcasting systems had been connected mutually. To achieve the communications and the broadcasting services which is accompanied by the broadband data transmission, the switching system of this experimental network adopted the frequency band switch IHE and the ATM cell switch. And, we developed a new protocol stack which suited this network. The application experiment concerning the communication and the broadcasting services was done by using transmit function of high-quality video of the AV connection which this protocol offered and We confirmed the effectiveness of the broadband network composed of IHE/ATM.

## 1 はじめに

最初に本研究のネットワーク構築の特徴を述べる。CrossoverNet[1][2]はメディアシームレスな帯域伝送を実現するため、QoSを考慮した独自のプロトコルスタックを備え、広域系のバックボーンネットワークにATM、地域系のアクセスネットワークにIHEを採用したセルスイッチング/帯域スイッチング・ネットワークである。プロトコルスタックは帯域データを伝送するコネクショントラフィック型サービスに対応する7層プロトコルとコプロトコル・サービスで構成した。コプロトコル・サービスは既存のネットワークのトランスポート・サービスを同位エンティティ間通信に応用する汎用性の高い新しいプロトコルスタック実装法である。さらにQoSを考慮したコネクショントラフィック制御アルゴリズムを考案し評価した。

ネットワークサービスの有効性を確認するため二つのモデルで検証実験を行った。対話型教育モデルは教授者-学習者間の実時間動画サービスの実験でATM→IHEマルチキャスト機能を検証した。番組案内モデルはWWWブラウザからの番組配信の利用実験によってプロトコルスタック・プリミティブとJAVAアプレットを介した連携動作の検証を行った。最後に、これまでの研究で議論された話題及び今後の研究の課題について言及する。

## 2 広帯域ネットワークのアーキテクチャー

### 2.1 アーキテクチャー研究の目的

ネットワーク・アーキテクチャーに関する最近の議論は極めて少ない。一時期は百花繚乱の気配があったこの種の議論は、ISO/OSIに収束して以来、マルチメディア、

モバイル通信などの個々のプロトコルの提案と標準化動向に話題が集中している感がある。しかし、最近のビジネス分野における情報通信ニーズの多様化、広がり、深まりを見るとISO/OSIの7層モデルに収まりきれない多様な発展の必要性を感じずにはいられない。しかし、現時点ではそれがどのようになるかを具体的に示すことができない。そこで、これを明らかにするため、ISO/OSIでモデル化されていない放送システムを取り上げ、ネットワーク・システムとしてモデル化するプロセスを通して具体的に検証する研究を始めた。

“通信と放送の融合”は次世代ネットワークを考える重要なキーワードである。通信ネットワークにおける放送サービスの先駆的実験にMBone[3]、WIDE[4]があり、これらはIPパケットをルータで分岐・中継することで、特定多数への放送サービスを実現している。また、放送システムにおいても、ネットワークと連携したオン・デマンド・サービスがある。何れも既存のネットワーク・アーキテクチャーの枠組みを利用することによって接続性を確保した代償として通信品質に関し課題が残る。

この種の研究は、通信ネットワークの枠組みの中で放送サービスを実現すると言う意味で通信的放送と呼べる。逆に放送ネットワークが構築できると仮定すれば放送的通信サービスがあり得る。“通信と放送の融合”が、現実に通信システムと放送システムが存在する状況のもとでどのように進展するかを予測することは困難であるが、この問題を解く一つの試みとして、放送システムのISO/OSIモデリングを行った。そのねらいは以下の通りである。

- (1) 放送システムの7層モデルの提示
- (2) 通信システムとの整合性の検証
- (3) これらが相互動作する機構の考案

次にこれらのねらいが達成された場合に構築できる大規模な“通信と放送の融合”ネットワークを実証的に構築するための条件に関する三つの問題を考察する。

(P1) 地理的問題: 放送システムは少数のキー局と多くの地方局で構成された単方向・星状ネットワークである。ネットワーク化する場合、キー局、地方局とそのサービスエリアをサブネット、それらを相互接続するバックボーン・ネットワークで構成すると考えられる。

(P2) 時間的問題: 情報伝達における通信の即時性、随時性及び放送の同時性、等時性を兼ね備えたネットワークを構築する。特に映像放送サービスにおける高品質動画伝送に適合するQoSに配慮する。

(P3) 媒体的問題: 現行の標準TV放送はインターネットにおけるさまざまな映像サービスに比べ十分に美しい映像品質であり、ハイビジョンはこれをさらに上回る。情報メディアのデジタル化動向の中で、既存の媒体及びそれに依存した配送システムとの整合を図る。

本論文では、上記P1,P2,P3を考慮した新しいネットワーク・アーキテクチャーに次の機能目標G1,G2,G3を設定した。

(G1) 地域をサービスエリアとする地上波放送システム,CATV及び広帯域LANを含む地域系ネットワークと地域間を結合する広帯域・バックボーン・ネットワークが相互接続できる。

(G2) 放送システムをOSI 7層プロトコルモデルに位置づけることによって双方向性を付与し、さらにQoSをともなうマルチメディア、マルチキャスト・プロトコルサービスを通信・放送システムに拡張する。

(G3) 情報メディア統合に加え通信・放送シス

テム統合による情報メディア・シームレスなストリーム配送サービスを実現する。この目的の達成と既存ネットワークの接続を整合するゲートウェイ機能を内在する。

ここで述べた三つの機能目標は、放送サービスにおける情報メディアの広帯域性を広帯域デジタル・ネットワークで実現することを求めるだけではなく、放送システムを広帯域ネットワークモデル化することを想定して考えられた目標である。

方式	最新技術動向	CrossoverNet
伝送方式	広帯域伝送	広帯域伝送
信号方式	波長変調	周波数変調
多重化方式	セル多重 チャンネル多重	セル多重 チャンネル多重
交換方式	空間スイッチ セルスイッチ	空間スイッチ セルスイッチ

表1 基盤技術の比較

## 2.2 通信・放送システム・アーキテクチャー

三つの機能目標を満たす通信・放送ネットワーク・システムを具体的に実現するために明らかにする必要がある技術的課題とその解決方法及び評価を考える。

### (1) 基盤技術

現行の本アーキテクチャーと次世代広帯域デジタル・ネットワークで採用される基盤技術を表1に示す。これによれば両者は当面、信号方式が異なるだけでほぼ同じ基盤技術をベースにすることで連続性と発展性を共有している。

### (2) 広帯域交換方式

放送システムを帯域ネットワークに再構築する現実的な取り組みとしてCATV技術、ブロードバンドLAN技術と帯域スイッチング技術を組み合わせた帯域交換機IHE[5]を開発した。周波数(波長)変調では、空間分割方式、帯域割り当てによっては相互干渉による通信品質劣化が予想される。IHEはチャンネルを動的に最

適割り当てする QoS 機能を備えている。

### (3) ネットワークモデル

ネットワークは地域系サブネットとそれらを相互接続する広域系サブネットとで構成する。それらは、何れも最小単位が一つのネットワークノード(NN)と複数のステーションノード(SN)から構成される。NN はネットワーク制御装置(NC)と ATM スイッチまたは IHE で構成し、サブネット管理及びサブネット間のデータ転送と経路管理を行う。

### (4) 映像伝送と通信品質

映像情報の形式は、NTSC と MPEG2(MP@ML)である。両者の映像情報を扱う地域系サブネットワークを相互接続するため、プレゼンテーション層に NTSC-MPEG2 実時間符号化/復号化機能を備えた網接続装置クロスウェイ(CW)がある。映像情報を伝送する経路は、中継経路の通信品質を探索・評価して得られた経路をソース・ルーティングで管理するため、伝送する情報メディアに適合する通信品質を保証できる。

### (5) 自己不完結型モデル

OSI 参照モデルを含めネットワークモデルは、自己完結型である。N 層のエンティティは N-1 層プリミティブによってのみ N-1 サービスを利用できる。N 機能を実現するために必要なサービスは、すべて下位層の N-m(m $\geq$ 0)サービスとして実装すると言う意味で自己完結型である。CrossoverNet は、AV 情報を通信・放送するために必要なサービスの中で、各層のプロトコル制御に関する PDU を下位層のサービスとは独立したコプロトコルサービス(CPS)によって終端システムの同位エンティティと通信する。CPS は終端システム間に設定できるトランスポート・サービス、例えば TCP, SPX をベースに実装する。つまり、CrossoverNet は AV コネクションによる AV 情報伝送に特化した機能のみを定義し、必要に応じて他のプロトコル系を利用すると言う意味で自己不完結型である。

## 2.3 放送システムのネットワークモデル

現状の放送システムは、伝送路(地上波、衛星波)をチャンネル多重、単方向、ブロードキャスト伝送する映像・音声及び文字複合情報ネットワークである。これにチャンネル帯域を N 対 N 交換できる IHE を付加し、ATM スイッチと整合する OSI モデリングを行った。ここで放送システム固有の課題に対応する要点を述べる。

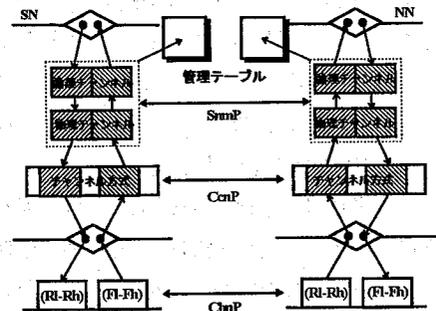


図1 周波数空間分割の方式

図1は下位層のプロトコルの関係を示す。帯域調整プロトコル(CbnP): 同一セグメント(ケーブル)上の NN と SN 間の使用可能帯域を SN ごとに調整  
チャンネル方式調整プロトコル(CcnP): NN, SN それぞれが採用している各国チャンネル方式の管理と調整  
SN 管理プロトコル(SnmP): 使用帯域とチャンネル方式によって決まる物理チャンネルを論理チャンネルとして管理

このモデリングによって各国 TV チャンネル方式に適用できる帯域調整、論理チャンネル割り当てをデータリンク層以下に定義できた。さらに、映像アプリケーションは、高速・高密度、広帯域・高品質、長時間伝送と言う特性に対応するネットワーク層の SN-NN, NN-NN 経路制御プロトコルを定義した。セッション層、プレゼンテーション層は標準 TV, 高品位 TV, VTR 等の AV 規格に準拠する。

### 3 高品質動画伝送のプロトコル検証

#### 3.1 AV コネクションサービス

高品質な動画像情報の伝送目的として設計された通信・放送システムの OSI 7 層プロトコルモデルは定義したプロトコル、サービス及びプロトコル動作を論理レベルで検証する必要がある。図2はトランスポート層における AV コネクション・サービスを AV コネクション制御のサービス・プリミティブ、コマンド/レスポンスで記述したシミュレーションモデルを示す。モデルは資源ノードとフロー・アークをトランザクションが流れるプロセス指向で記述した。このモデルを実行した結果は、プロトコル設計の正当性検証及び実装試験における動作検証に有効であった。

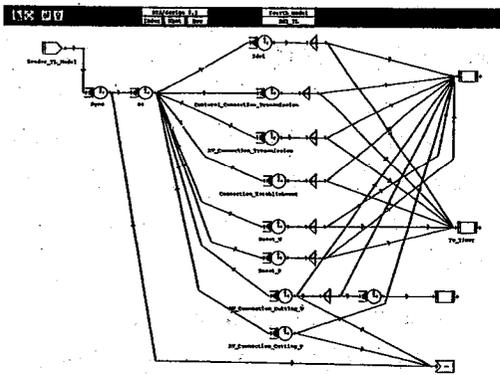


図2 プロトコル検証モデル

#### 3.2 AV コネクションの経路

AV コネクションは MPEG2 ストリームあるいは NTSC フレームデータを終端システム間に連続伝送するために設定され、所要帯域、遅延時間、遅延時間のゆらぎなど QoS に関する管理が十分に行われることが不可欠である。また、AV コネクションを利用するアプリケーションは比較的サービス時間が長いことが予想される。これらの条件を考慮して経路設定は、経路探索機能付きのソース・ルーティングで行った。これは発信 SN に隣接する NN から経路探索(RD)パケットをすべての経路に送出し、途中の NN がそれ

を中継する。中継 NN は経路探索パケットの経路情報に自アドレスを加えて別の経路へ再送する。着信 SN の隣接 NN は受信した RD パケットを発信 SN に隣接する NN に直接返送する。以上の基本アルゴリズムにトポロジー、QoS、生存時間などの制約を加えて RD パケットの爆発的増加を抑制する。

図3は 4x4 メッシュ状に NN を配置したモデルにおいて、発信ノード A から他の着信ノードへの経路探索をシミュレーションした結果を示し、実線はノード距離、ノードの経路数と総 RD パケット数の関係を示す。これによれば、総 RD パケット数はノード距離より着信 NN の持つ経路数(CR)の影響が大きいことがわかる。点線(角印)は最短探索時間、点線(丸印)はノードあたりの平均探索時間を示し中継ノード数の 1.0 - 1.4 倍程度の時間で求まることがわかる。これらの基礎データから適用範囲を拡大するためのアルゴリズム拡張を行っている。

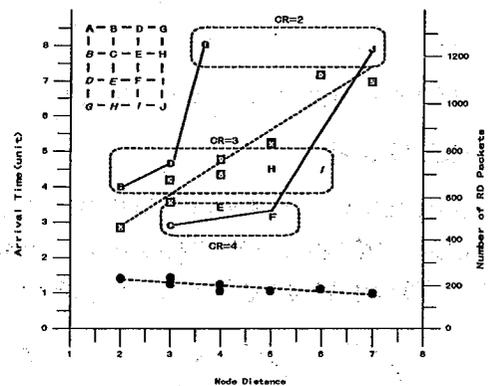


図3 経路探索シミュレーション結果

#### 3.3 動画伝送の QoS

NTSC フレームストリームを直接帯域スイッチする場合の QoS はチャンネル間干渉ひずみを最小化するアルゴリズム[1]によって制御する。可変レートの MPEG2 ストリームを伝送する ATM/AAL5 の QoS は最悪条件を求めため

固定レート=6Mbps で VBR における SCR, BT と転送レート(TR)の関係を測定した。図4は転送レートより低いレートで SCR を設定しても適切な BT を設定すればセル損失無しで伝送できることを示している。しかし、PCR=TR=6Mbps では SCR=BT=6Mbps にしても統計的多重の効果効が効かず最悪 10%程度のセル損失が発生する。また、BT の範囲内では BT に関係なくセル損失しない条件は SCR+1Mbps 程度であった。よって、可変レート MPEG2 ストリームではこれ以上の効果が期待できることが確認された。

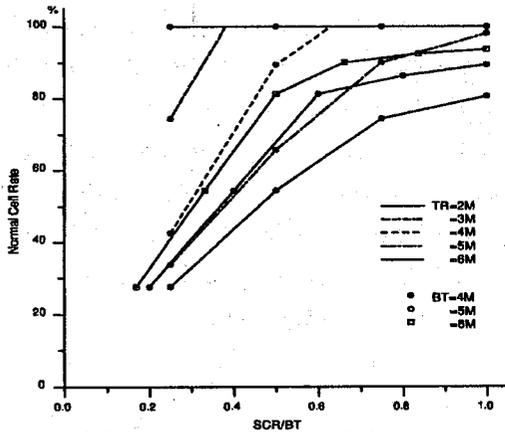


図4 セル損失とQoSパラメータの関係

#### 4 検証実験と検討

開発したプロトコルスタックの機能の有効性を実証的に検証するためアプリケーションと連携した試験と検証実験を行った。この実験では

高品質動画情報の放送・通信サービスを目的に開発された次の主たる機能を検証する。

- ・地域系, 交叉系, 広域系にまたがる通信・放送サービスの検証
- ・アナログ・デジタル映像の実時間伝送
- ・既存 AP と連携したオンデマンド映像配信

検証実験は図5のプロトタイプ・システムで行ったが、各検証実験は機器構成を組み替えて個別に行った。

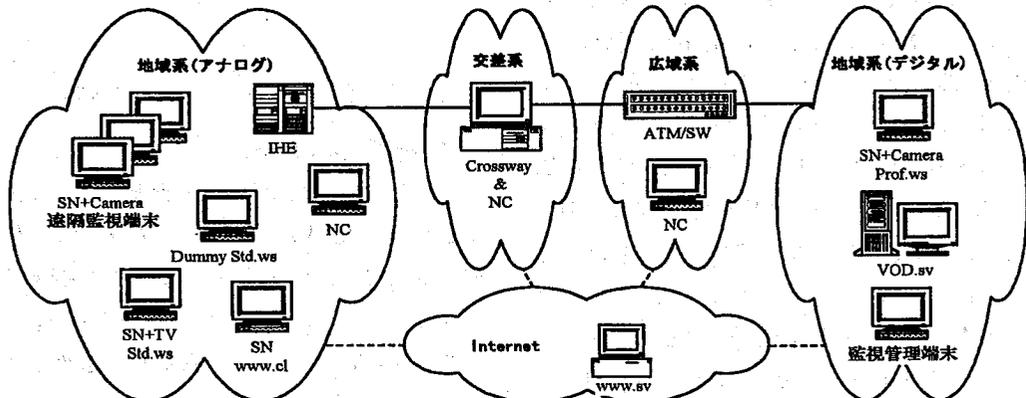
##### 4.1 検証実験1: 対話型教育モデル

対話型教育モデルは、教授者(Prof. ws)と学習者(Std. ws)の1:N 通信環境において、教授者から学習者に対し VOD サービスで取り出した映像情報を学習者に配信する。AP 起動時、AV コネクションは Prof. ws とダミーStd. ws に設定する。学習者は必要に応じてこのコネクションに参加出来るため 1:N 放送が実現される。これは IHE/NN が Std. ws のチャンネル割り当て状況を判断して、AVコネクション・チャンネルの受信許可あるいはチャンネル・コピーの制御を行った。

##### 4.2 検証実験2: 番組案内モデル

番組案内モデルは、WWW サーバ(www.sv), VOD サーバ(vod. sv)が連携して WWW ブラウザ(www.cl)から対話的に映像配信するAP連携実験である。最初、WWWサーバはVODサー

図5 検証実験システムの構成



バにある番組情報を参照して番組表を作成する。ブラウザから番組を指示されると WWW サーバは該当する VOD サーバとの AV コネクション設定情報を応答する。www.cl はこの情報から VOD サーバ間に AV コネクションを設定してブラウザで指示した番組映像を受信する。

#### 4. 3 検証実験結果の検討

検証実験の結果、映像品質は期待どおりであった。どの実験においても地域系/交叉系—広域系—地域系を通した映像要求から表示までに25秒、表示停止に1秒を要した。ここで映像表示時間に次の処理時間が含まれる。

- (1) 制御コネクション処理時間
- (2) AVコネクション処理時間
- (3) MPEG2エンコード遅延時間
- (4) MPEG2デコード遅延時間
- (5) AV機器制御時間

また、対話型教育モデルの学習者参加及び番組案内モデルのTV放送選択の応答時間は5秒である。

実験1,2のAVコネクション設定後の結果から(1)+(5)=5秒とする。また、実測によれば(3)+(4)=3秒であることから(2)=17秒と推定する。これらの実験ではAVコネクションは三つのサブネットを中継するので1サブネット内におけるAVコネクションの映像表示の応答時間は平均5.7秒となる。この値とサブネット内AVコネクションの映像表示の応答時間と比較するとサブネット間AVコネクション設定のオーバーヘッドが0.7秒と推定できる。

#### 5 まとめ

通信・放送システムあるいはアナログ・デジタルメディアが複合した情報サービスを目的とした広帯域ネットワークの構築において、本論文では放送システムのOSIモデリングによる通信・放送サービスのためのネットワーク・アーキ

テクチャーにもとづくプロトコルスタックの開発と有効性を応用システムの検証実験で行った。その結果、CPSで実装した制御コネクションとIHE/ATMで実装したAVコネクションが連携して動作するプロトコルスタックが設計どおりに機能することが確認された。QoSが帯域6MhzのチャンネルとVBRでセル廃棄率=0で設定されたAVコネクションにおけるリアルタイム/オンデマンド伝送の映像品質はNTSC, MPEG2の仕様どおりと確認出来た。実験1の同報配信では一つのAVコネクションをNN/IHEのチャンネル・コピーで実現した。しかし、遠隔監視のような情報収集ではエンドーエンド間の個々のAVコネクションを切り替えたが、複数の監視端末のあるサブネット内でAVコネクションを共有する工夫が必要と思われる。

この実験ではAV機器をネットワーク構成要素として機能させるSNMP代理サーバを利用して実現した。今後さまざまなAV機器がネットワーク接続されることが考えられると、これらを含む分散システムノ運用技術の確立が望まれる。  
謝辞 本研究の推進をご支援いただいた前会津大学学長国井利泰先生に深く感謝します。なお、本研究で使用したプログラムスタック開発は、情報処理振興事業協会「創造的ソフトウェア育成事業」で行ったものである。

#### 文献

- [1]S.Saito, H.Yoshida and T.L.Kunii, "The CrossoverNet LAN System Using an Intelligent Head-End, IEEE Trans. on Computer, Vol.38, pp.1076-1085, 1989.
- [2]S.Saito, K.Yamauchi and T.L.Kunii, "A Real-time Coordinated Interactive Multimedia Network Architecture, Proc. of MmNet'95, PP.200-207, Aizu Japan, 26-29 Sep, 1995, IEEE Press.
- [3]Vinay K. "Mbone Interactive Multimedia on the Internet, New Riders, 1996.
- [4]楠本博之:WIDE インターネットにおけるマルチキャスト通信, In IP Meeting'92, JEPG/IP, Nov. 1992.
- [5]S.Saito and T.L.Kunii, "A Broadband Local Area Network using the Intelligent Head-End, in the IEEE Proceedings of the workshop on the future trends of distributed computer system, HongKong, pp.1-8, 1989.