

4C-9

マルチキャスト通信プロトコルにおける 中間ノードによる資源の有効利用法

木村 範彦 丹 康雄
北陸先端科学技術大学院大学

1 はじめに

画像や音声により情報を伝達するシステムの利用形態としては、単方向のデータ送信タイプであるニュースや天気予報のようなブロードキャスト型のシステムや、双方向性を持つテレビ会議やテレビ電話のようなシステムがある。

しかし、現状のこれらのシステムの多くは画像の解像度が低かったり、動きがスムーズでないなどユーザの要求を満たしているとはいえない。また特別な機器の設置や専用線での利用など、利用条件も限定されているものもある。

一方、学校や特別な施設ではFC(Fiber Channel)、GbE(Giga bit Ether)、ATM(Asynchronous Transfer Mode)のような広帯域の確保や、QoS(Quality of Service)の保証が可能となるネットワークが敷設されており、画像や音声といったマルチメディアデータが比較的扱い易い。

また、画像入出力装置にビデオカメラやテレビのような家電機器を利用することで、安価で操作に特別な訓練を必要としないシステムが構築可能となる。

このような条件を前提にしたビデオデータ配信システム JAIST VideoLAN [1] を本学で開発中である。従来の本システムではデータの配信はユニキャストで行なっていたが、これをマルチキャストで行なうことで、より効率よく大規模なデータ配信をすることができるようになる。マルチキャストでの配信では、みなが同じレベルのサービスを要求し、それを満たすことができなければ、その受信グループには参加できない。しかし、スケー

ラビリティを考慮した場合、より柔軟にユーザの要求に対応する必要がある。そこで、その機能を中間ノードという特別なノードに委譲することにより解決する。

本論文では、この JAIST VideoLAN システムにマルチキャスト機能を拡張させた構成について検討し、実際のシステム実装例について示す。

2 JAIST VideoLAN システム

2.1 システム構成

JAIST VideoLAN システムの構成は図1のようになっている。送信者がビデオカメラにより映した映像を受信者がテレビで受信して視聴することができる。

基幹に ATM ネットワークを用いており、これとテレビカメラやテレビのような IEEE1394 コネクタを持つ端末とを TS(Terminal System) を利用して接続する。

本システムの特徴はユーザ側には TS 及び、ビデオカメラあるいはテレビのような家電機器しか必要としないで、容易にテレビ会議やテレビ電話のようなシステムが構築可能となることである。TS の接続状況などの情報は管理マシンである RMA(Resource Management Agent) が集中管理する。また、ビデオカメラで撮った映像を DV データとしてそのままネットワークに流すことが可能で、より家電機器と親和性の高いシステムになっている。

操作はブラウザあるいは専用のアプリケーションによる GUI が用意されている。図2にその画面の構成例を示す。画面には各機器と番号の組のウィンドウとそれに対する番号のマトリックスが表示されており、オペレータはこのマトリックスの交点を指定することで任意の送信者、受信者を選択

[†]A resource utilization method using an intermediate node on multicast communication protocol
Norihiro Kimura, Tan Yasuo
{norihiro,ytan}@jaist.ac.jp
Japan Advanced Institute of Science and Technology
1-1 Asahidai, Tatsunokuchi, Nomi, Ishikawa, Japan

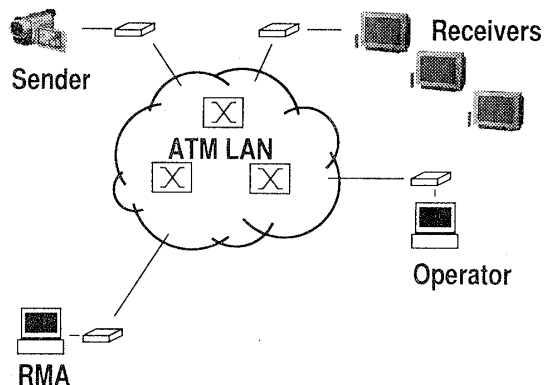


図 1: JAIST VideoLAN System

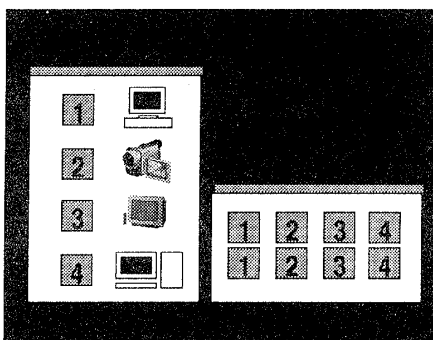


図 2: 画面構成の一例

することが可能となる。このように一般的なマトリックススイッチの形式を採用することで、小さなウィンドウスペースでも分かりやすく、操作が容易な画面構成をとる。

本研究ではこれにデータ圧縮やメディアのコンバートなどを行なう中間ノードを加えることにより、より多様なサービスや問題に対して対処する処理を付加する。また中間ノードは他 TS と同様に RMA により管理される。さらに従来のユニキャストでのデータ送信を ATM のマルチキャスト機能を用いることにより、より効率的でスケーラビリティを持ったシステム構築が可能となる。

2.2 マルチキャスト

本研究では、従来の JAIST VideoLAN システムにマルチキャスト処理を加えた場合の中間ノードの実装を示す。マルチキャストとは途中のルータやスイッチで適切にデータを複製し、受信者の

まとまりであるマルチキャストグループに届ける技術である [6]。

図 3 にマルチキャストの例を示す。データを複数の人に配布する場合、ユニキャスト方式では送信者と受信者は 1 対 1 の関係にあるため、送信者が受信者の数だけ同じデータを複製して送信する。そのため図 3(a) のように同じデータが重複して流れてしまう。特に動画像や音声といった大きなデータのトラヒックは帯域という資源を無駄にすることになり、ボトルネックなどの原因となってしまう。一方、マルチキャスト方式では図 3(b) のように受信者に一番近いスイッチによりデータを複製することで、受信者が増加しても重複したデータが流れないで資源は有効に使われる。

マルチキャストではマルチキャストグループに対して同じデータを配信するが、新規グループ参加希望者が他グループが確保している帯域と同じだけのものを確保できなければ、エンド間でデータ量を削減や圧縮により小さくしてユニキャストコネクションを確立するか、配信を諦めるしかない。

前者は、エンド両間で圧縮されたデータを伸張する機構を組み込んだり、データ削減によってまでデータの配信を希望するかどうかの指定など、要求のサーバとクライアントで、ある種の取り決めを決めなければならない。しかし、送信者が家電機器である本システムでは、送信機構の変更もすることは大変困難である。そこで、中間ノードをマルチキャストグループに参加させ、ネットワークの途中からユニキャスト、あるいはマルチキャストでの配信を行なう。これにより、クライアントの利用できる資源の程度によってサービスの質や量を変更でき、より多くのユーザが本システムを利用可能となる。また、この柔軟な対応により配信を諦めることなくサービスを享受できるユーザを増やすことができ、スケーラビリティも確保することができる。

しかし、ATM(UNI3.1)[7]におけるマルチキャストにおいて、1つのコネクションあたりに割り当てられている識別子空間(リーフ ID)を大規模な範囲で運用する場合、指定できる数が十分でないという問題も発生する。ATM の上位レイヤでこれを拡張することで対処可能であるが、その手法としてエンド端末に処理機構を組み込むのではなく、コネクションをもう 1 つ確立して、それらのコネクションを中間ノードで管理することとする。

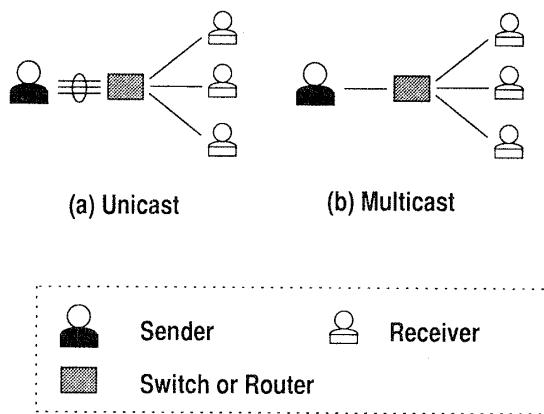


図 3: Unicast and Multicast

3 中間ノード

本システムは、中間ノードによりマルチキャストを行う際の問題点を吸収したり、ユーザの必要とする任意の要求に対し柔軟に対処する種々のサービスの提供をする。TS やクライアントにそれらの機能を実行する機構を付加することも考えられるが、TS には現在も多くの実行を必要とし、これからの拡張性といった場合、集中型のサービス提供ノードを用意することのほうが望ましい。またクライアント組み込みの仕様にした場合もクライアント同士の互換性や設定の曖昧さがシステムの強化を妨げる結果となってしまうため、本手法が最も効果的である。

3.1 中間ノードを利用する場合のデータの流れ

中間ノードのサービスを受けるには、中間ノードを介した接続を確立する必要がある。ここで、その確立プロセスを示す。最初にオペレータが GUI を操作して目的とする入力と出力先を指定する。(図 4)

次に GUI により送信者と受信者を指定する。その要求は RMA に渡され、中間ノードが必要かどうかの判断を行なう。中間ノードが必要あるいはオペレータにより使用が指定されたなら、RMA から中間ノードへ接続依頼が発生する。(図 5)

中間ノードは処理を依頼されたなら、目的の TS 間同士が自分を経由するような接続を確立する。(図 6)

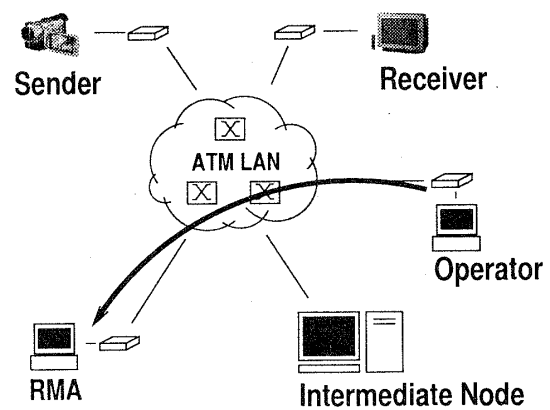


図 4: 中間ノードを介した接続確立 (1)

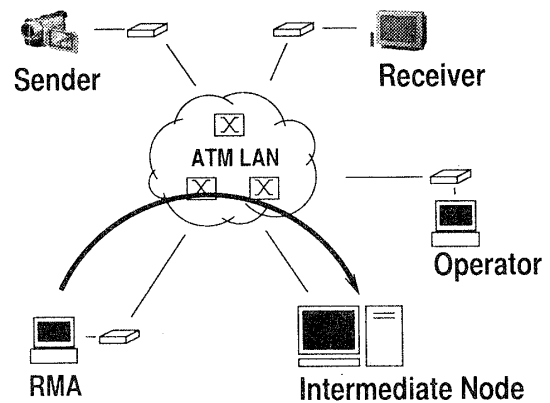


図 5: 中間ノードを介した接続確立 (2)

それが完了すると RMA へ終了の報告を行う。また、転送が終了したことがオペレータから RMA を介して通知されたなら、接続解放プロセスに移行し、完了したなら、また RMA へ通知する。このようにして中間ノードの提供するサービスを享受できるようになる。

3.2 中間ノードの機能

中間ノードには、スケーラビリティを確保するために限りある資源を活用するための機構が重要である。例えば、そのような資源には帯域がある。音声や動画のような大きな帯域を必要とするデータを扱う本システムにおいては、特に重要である。

従来の仕様では帯域以上の接続が張られようとする、その確立プロセスは拒否されてしまう。しかし中間ノードによりデータの圧縮や

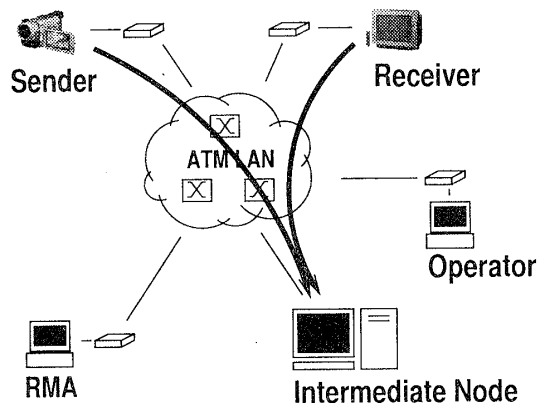


図 6: 中間ノードを介した接続確立 (3)

間引といった処理を加えることで、より多くの接続を確立することができる。

また、本システムは基本的に DV データをそのまま ATM ネットワーク上に流すという特徴を持つが、受信者が PC で MPEG のみを理解できるクライアントアプリケーションを用いている場合は MPEG に変換して送信しなすなど、別のファイルタイプのコンバートも必要である。特に MPEG では圧縮タイプも様々でより小さな帯域でも接続が確立可能になることもある。このように中間ノードでメディアのコンバートを行なうことで、ユーザの要求に対してより柔軟に対処することができる。

さらに、中間ノードを介して流れる画像には特別な枠やマークを挿入や背景の変更といった画像の加工もでき、多対一あるいは多対多の通信の場合、複数のカメラ画像の入力を中間ノードで 1 つに集約することにして受信側で表示することにより、同様の処理を受信者側で行う場合に比べ負担などを軽減することもできる。また、共通の仮想オブジェクトを提供し、VR との連携による仮想空間での会議などを実現できる。

従来のシステムにマルチキャスト機能を加えることにより複数のクライアントへの一斉同報送信は可能となったが、ある一部のユーザだけ受信を一時的に停止したいといった要求の場合、そのユーザは自分用の記憶スプールを用意する必要がある。しかし、動画像データはかなりのメモリを消費するため、各ユーザ全てにこれを要求することは難しい。中間ノードを用いれば大きな共有メモリを持つことも可能で、これにより受信グループ内の

任意のメンバが画像受信のポーズを実行できるようになる。中間ノードは停止中のデータの保存をしており、ポーズ解除により新規に接続を確立してデータを送信する。ただし、クライアントが一時停止解除ではなく、リアルタイム画像の再度受信を希望する場合もあるので接続自体は切断せずに残しておく必要がある。

現在の ATM(UNI3.1) の仕様では 1 コネクションあたりの端末へ付する識別子空間が限定されている。より大規模な運用を考えた場合にこれを拡張する必要がある。ここでは複数の接続を中間ノードで 1 つのものとして接続し、みかけの識別子空間を拡張することができる。

4 実装

本論文では以下の 2 点について実装を行い、中間ノードの機能の効果や問題点を検証する。1 つは新規クライアントが帯域を十分に確保できないために接続確立を拒否される点を中間ノードにより柔軟に対処する処理(データ量の削減、圧縮機能)に関する機構であり、その際に MPEG にコンバートするメディア変換機能についての実装を行う。もう 1 つはスケーラビリティを確保する手段の 1 つとして制限されている識別子空間の拡張法について考え、実装を行う。

4.1 データ削減手法

データ量を減らすには様々な手法が考えられるが、最も単純なやり方は全体のデータの間引を行うことである。例えば、中間ノードで交互にデータのフォワードと破棄をしていくことでデータ量を半分に減らすことができる。情報量の欠如により画像の劣化などの欠点は否めないが、このようなハーフレート処理はソフトウェア処理も容易で比較的実現し易い。(図 7)

また、圧縮率の高いフォーマットにコンバートするという手法も考えられる。今回扱うフォーマットは MPEG である。中間ノードへ流入する変換要求のある DV データは ATM ネットワーク上を流れ、TS により 1394 バス上へ展開されメディアコンバータにより NTSC に変換される。そして、PC に接続された MPEG エンコーダボードにより MPEG に変換され、出力は MPEG となり、MPEG データが ATM ネットワーク上に出て

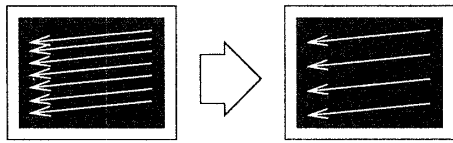


図 7: ハーフレート処理

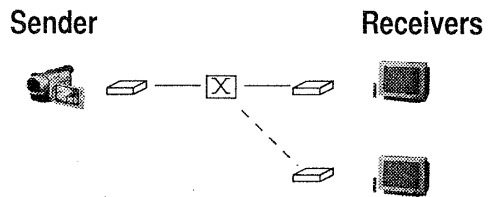


図 9: 新規ユーザの追加に伴う識別子空間の枯渇問題

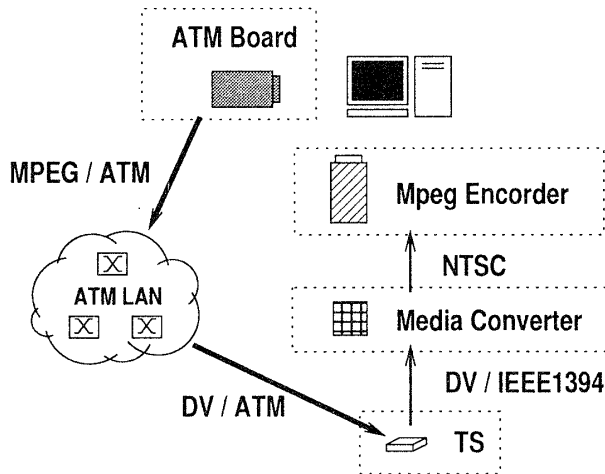


図 8: MPEG フォーマットへのコンバート

いくことになる。その際、MPEG の圧縮形式を変更したり、入ってくる NTSC データを上記のように間引いた後、MPEG にエンコーディングするなどデータ削減法は様々である。(図 8)

DV データを MPEG に変換してしまうために受信側は MPEG デコーダが必要となるなどの制約もあるが、将来的に PC に MPEG のエンコード/デコードボードが標準搭載されたり、TS にその機能を付加するなどにより実現できる。

4.2 識別子空間の拡張

ATM(UNI3.1) の仕様では 1 コネクションあたりの端末へ付する識別子空間が限定されているがスケーラビリティを考慮した場合、これは十分であるとはいえない。このような空間を拡張するには ATM より上位レイヤでこの空間に対応する空間を設けることで拡張する手法や UNI の仕様自体を変更する必要がある。しかし、上位プロトコルの設計やましてや UNI の仕様変更要求にかかるコストを考慮すると、より単純で効果的なアプローチが望まれる。そこで、あるコネクションの

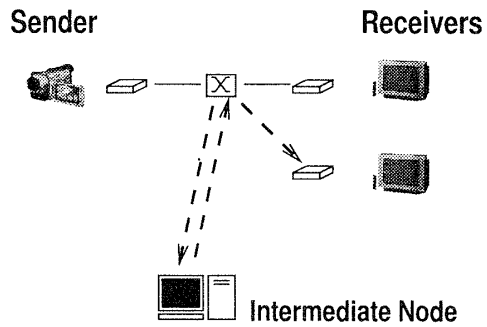


図 10: 中間ノードによるコネクションのつなぎあわせ

識別子空間があふれると、別のコネクションを確立する。この新たに確立されるコネクションを中間ノードにより管理することにより、みかけの識別子空間を拡張することができる。

以下の図を例のとして説明すると、図 9 では既にあるコネクションの識別子空間が飽和しかけ、新たな受信者を追加すると完全に飽和してしまう状態にある。つまり、次からの新規受信希望者に対してコネクションを確立できない状態にある。

中間ノードも識別子の付けられるノードなので、完全に飽和する 1 つ手前で中間ノードへの回線を確保し、それにより新たなメンバを受け入れることができるようになる。中間ノードは、グループメンバの一員としてデータを受信し、同時に中間ノードは新規受信要求者に対して新たなコネクションを確立する。複数のコネクションを中間ノードによりつなぎあわせ、これを管理することにより、みかけの識別子空間を拡張可能となる。(図 10)

5 考察

本実装では DV データを MPEG に変換することにより、データの削減処理が比較的容易にできるようになった。さらに、MPEG は一般的に使われるフォーマットであるために、より多くのクライアントが扱うことができるようになった。また、限定された識別子空間を解放することによりスケラビリティを持った拡張を行なうことができた。

このように、帯域や識別子といった資源を有効利用する手段として中間ノードという特別なノードを用意し、そこで様々な処理を行うことで複数の要求を実現することができた。しかし、様々な機能を集中して処理する機構のため、CPU パワーやメモリなどの計算機的資源を大量に消費し、また中間ノードへ流入するデータが集中してしまう恐れがあるという問題もある。さらにリアルタイム性を要求する JAIST VideoLAN のようなシステムでは、ATM のような高速回線によりネットワーク中を流れるデータ速度が向上しても、ソフトウェアで処理を行うことで、そこがボトルネックになる可能性がある。

データの集中化による帯域の不足に関しては、ATM OC-12,48 などの広帯域回線を用いることでも解決可能であるが、複数の中間ノードを分散配置することにより負荷分散を行ない、処理の軽減を計るほうが効果的である。一方、分散化ではそれぞれの中間ノードがある程度の能力を持っていればよく、また RMA により効果的に機能分散させることにより全体的な処理の軽減に継がる。この時、RMA により複数の中間ノードが管理されているので、ユーザから見れば中間ノードは1つに見える。

また、要求を処理する機能を中間ノード内部に持つ場合には、RMA への変更を必要とせずシステムの拡張ができる。その場合、RMA からの要求を受ける外部命令の処理機構が1つなので、RMA から見れば中間ノードは1つに見える。

また、中間ノードを用いる場合の本実装形態では RMA が中間ノードを必要と判断すると、それ以降の処理を中間ノードに委譲する。このとき、中間ノードを十分に信頼できるノードであるとし、中間ノード使用依頼の拒否や完了などの必要な状態情報のみをやりとりしている。これでは RMA と中間ノードで管理すべき情報が分散してしまう

という問題もある。

情報の分散化に対しては RMA と定期的に通信することにより、使用している際のコネクションの帯域や伝送量などの情報をやりとりし、それと同時に中間ノードが予定外にコネクションを切断した場合に知ることができるといった処理も必要となる。

6 おわりに

本論文では JAIST VideoLAN システムにマルチキャスト機能を付加し、中間ノードを用いてユーザの要求に柔軟に対処し、また資源を有効に利用する機構を実装した。これにより、よりスケラビリティを持ったシステム構築ができ、帯域や識別子といった資源不足、枯渇問題も解決することもできた。

今後の課題として、中間ノードが提供するサービスの追加や中間ノードの分散配置化における管理法の検討などが挙げられる。

参考文献

- [1] 丹 康雄, "JAIST Video LAN - 実世界指向マルチメディアネットワーク", 人工知能学会 FAI 研究会, SIG-FAI-9802, 1999
- [2] 丹 康雄, 野村 隆, 田守 寛文, "家電的ユーザーインタフェースを有する大規模マルチメディア LAN システム", 情報処理学会 Interaction'99, 1999.
- [3] Yasuo Tan, "Scaling up IEEE 1394 DV Network to an Enterprise Video LAN with ATM Technology", IEEE International Conference on Consumer Electronics '98, 1998.
- [4] Takashi Nomura, Tetsuaki Kiriya, Hiroshi Yamamoto, Atsushi Maruyama, Hiroshi Takizuka, "New Protocol Architecture ASEL", IEEE International Conference on Consumer Electronics '98, 1998.
- [5] H. Tamori, "The AV Controller on PC Using AV Plug", IEEE International Conference on Consumer Electronics '98, 1998.

-
- [6] S.Deering, Host Extensions for IP Multicasting. Internet RFC1112, Aug. 1989
 - [7] The ATM Forum, User-Network Interface(UNI) Specifications Version 3.1, Prentice Hall PTR, 1995.
 - [8] Yasutaka Miwa, "A Study for Multicast Communications on ATM Network", master thesis, Faculty of Science and Technology, KEIO UNIVERSITY, 1995.