

ATM 網を用いた広帯域通信処理アーキテクチャの検討

江崎 浩 齋藤 健

E-mail : hiroshi@csl.rdc.toshiba.co.jp

株式会社 東芝 研究開発センター

〒210 川崎市 幸区 小向東芝町1番地

あらまし

ATM 網における広帯域マルチメディア通信の実現方法について議論している。ATM 技術は、高速な通信パイプをエンドユーザーに提供する通信プラットフォームとして、BISDN のみならず LAN 環境においても実現解とされている通信技術である。ATM 技術により、いわゆる通信プラットフォームでは十分高速な通信パイプを提供できる。しかし、アプリケーションレベルから見ると、現状のアーキテクチャでは十分なスループットを実現することができない。ATM 網の高速通信能力を十分に利用するためには、計算機のアーキテクチャ(OS を含む) および高速転送プロトコルの検討を行う必要がある。

本報告では、広帯域マルチメディア通信を実現するための問題点およびその課題を明らかにしている。

A Study on Broadband Communication Architecture
in ATM Networks

Hiroshi ESAKI, Takeshi SAITO

hiroshi@csl.rdc.toshiba.co.jp

Research & Development Center, TOSHIBA Corporation

1 Komukai-Toshiba-cho, Saiwai-ku, Kawasaki, 210, JAPAN

Abstract

This paper discusses about a high speed multi-media communications in ATM networks. ATM can be the rational solution for high speed communication platform as LAN environment, as well as BISDN. The ATM network can provide fairly high speed connections for user interface point. On the other hand, the conventional Operating System and data processing architecture in workstations can not provide sufficient throughput compared to the throughput of ATM networks. In order to provide high speed data communications for the higher layer entities, the data processing architecture and the protocol architecture must be discussed.

This paper realizes and focuses on the protocol architecture, especially on the transport protocol, and on computer architecture which provides high speed multi-media communications to the application level.

1 はじめに

グループウェアにより実現される一つの作業形態として、遠隔地にいる、あるいは物理的に離れた場所にいる人達が、通信ネットワークおよびコンピュータにより協調作業を行なうというものが考えられる。遠隔地の人達が情報や意思を共有するためには、動画像や音声などのいわゆる広帯域マルチメディア情報の交換共有は必要となってくる。また、離れたところにあるコンピュータが協調してタスクを処理するためには、高速で広帯域の通信能力が必要となる。特に、リアルタイムでグループ作業を行なう場合には、動画像などによる作業間でのコミュニケーションのための通信のみならず、計算機間での高速な情報の交換が必要となってくるのが考えられる。

高速な通信プラットフォームを効率良くしかもユーザーにとって柔軟性の高い通信を提供する解として、ATM が近年特に注目されている [1][2]。従来のデータネットワークであるパケット通信網では、データはデータグラムとよばれるパケット単位に転送され、その転送制御はソフトウェアによって実現されるので、高速な通信をアプリケーション間に提供することができない(データグラムの転送に関するレイテンシーの保証がまったくない)。一方、ATM 網では、ユーザー情報はセル(固定長の短いパケットとみることができる)ごとに伝送/交換されるが、ATM 網内のデータ転送はすべてコネクションオリエンティッドであり、かつセルの転送処理がハードウェア的に実行されるので、高速でかつ小さなセル配送レイテンシーの通信パイプを端末-端末間(ホスト-ホスト間)に提供することができる。ユーザーに提供されるインターフェイス速度は、最大で、150Mbps あるいは 600Mbps であり、リアルタイムの動画像通信などを含む、いわゆる広帯域マルチメディア通信を提供するには十分な通信帯域を提供することができる。

ATM 網では、従来の物理レイヤに対応するフィジカル(PHY)レイヤ、ATM レイヤおよび AAL レイヤの速度は上に述べたように十分高速な情報転送を実現することができるが、アプリケーションレベルから見ると、現状のアーキテクチャでは十分に高速なスループットが実現できず、ATM 網の高速性を十分に利用することができないのが現状である。ATM 網の特質である、コネクションオリエンティッドを利用した高速通信の能力を十分に利用するためには、上位レイヤのデータ処理アーキテクチャおよびワークステーションのアーキテクチャまで含めた検討を行う必要がある。

本報告では、広帯域マルチメディア通信を実現するための問題点および、プロトコルアーキテクチャ(特に、転送プロトコルアーキテクチャ)の課題を明らかにしている。

2 広帯域マルチメディア通信

本セクションでは、広帯域マルチメディア通信実現のための、通信システムへの要求条件と課題を明らかにする。以下に、広帯域マルチメディア通信の実現のための通信システムへの要求条件を列挙した。

- システムの高速(高速通信)

表 1 に、通信システムの代表的なネットワークの構成要素の動作速度を示す [3]。1990 年代の後半をむかえ、通信プラットフォームの速度が他のシステム構成要素の動作速度と同じレベルになってきており、システムのボトルネックが、通信プラットフォームの動作速度(低位レイヤの動作速度)から、高位レイヤ動作速度に移りつつある。広帯域マルチメディアサービスの実現には、高位レイヤ機能の高速化が必要である。

- 広域(通信)システム

従来のローカルエリアでのみ扱われていたデータ通信が急速に広域化しつつある。特に、私設網では、物理的に離れた私設網を、高速ネットワークを介して有機的に結合(インターネットワーキング)した広域私設網に対する要求が大きくなってきている。例えば、従来の LAN では、ファイル資源の共有は、LAN レベルの極めて狭い領域でのみ行われていたが、現在広域接続された Inter-LAN 環境でファイル資源の共有を行いたいという要求は大きい。このような広域分散共有ファイルシステムの実現には、高速(広帯域)広域通信プラットフォームの構築が必須である。

- メディア統合と構造化データの通信

多種多様なメディアの通信をどのように統合するかが問題である。これは、ネットワーク(通信プラットフォーム)の問題だけではなく、ホストの情報処理アーキテクチャにとっての問題でもある。現状の計算機は、基本的にデータグラム情報の処理のみを行うアーキテクチャになっており、動画像のようないわゆるコンティニューアスメディアの処理には向いていない。

表1. システム能力

	CPU 能力	ディスク能力	通信網能力 (bps)	
			公衆網	私設網
1982年	1 MIPS	5 Mbps	64 K	10 M
1992年	30 MIPS	40 Mbps	64 K	100 M
1995年	? MIPS	? Mbps	156 M	150 M

• 分散処理アーキテクチャ

システムが集中処理型から分散処理型へと変化しており(計算機のアーキテクチャではスタンドアロンからネットワークングへの変化と見ることができよう)、分散OS、分散データベース/ファイル、分散サーバーなどの分散処理技術が必要となる。このような、分散処理アーキテクチャに適合した通信プラットフォームの構築が必要である。特に、CSCW(Computer Supported Co-operative Work)に代表される、コンピュータ支援による遠隔協調作業などは、分散処理アプリケーションの一つである。

• オープンストラクチャ

マルチベンダー環境の実現の対する要求である。従来は、通信パイプを提供する能力である Inter-connectivity が重要であったが、今後は、上位レイヤレベルでの相互接続性(Inter-operativity)の実現が必要である。

• インターネットワークング

ネットワークの広域化に伴い、LAN/DAN などのもとと閉じていたネットワークをインターネットワークングする必要が出てきた。従来のデータ通信網では、データグラムの配送をゲートウェイを介した LAN インターコネクション技術を用いて実現していた。データ通信網は ATM 網とは異なり、すべての通信がコネクションレス(OSI のレイヤのモデルで第3層レベル)で実現されていた。ATM 網の特徴であるコネクションオリエンテッド通信を実現するためには、従来のゲートウェイとは異なる機能を実現する必要がある。すなわち、LAN/DAN にまたがって、ATM コネクションを設定してデータ転送を行う場合には、データグラム配送(ATM コネクションの終端をいったん行い、レイヤ3のネットワークアドレスを解析してデータグラムのリレーイングを行う)ではなく、ATM レイヤでのセルのリレーイングを行う必要がある。

• 移動性

ホストおよびユーザーが自由に移動可能な環境を提供する必要がある。電話網に代表される通信は、基本的に網が大きな領域すべてをサービスしているので、ユーザーの移動性が提供されている(このとき、端末は統一化された仕様環境を基本的に備えている)。一方、データ通信では、ユーザーの移動性は自分のホームネットワーク(LAN/DAN)に遠隔ログインすることで実現することができるが、ホストの移動性は実現していない。これは、基本的にはデータ通信網は LAN/DAN で閉じたネットワークを形成していることによる。将来の、ATM 網では、このような制限を克服し、ユーザーおよびホストの移動性を実現する必要がある。

このように、広帯域マルチメディア通信の実現のための要求条件としては、さまざまな課題を解決する必要がある。以下では、広帯域マルチメディア通信を実現するために必要な技術課題のうち、広帯域マルチメディア通信処理について議論する。

3 マルチメディア通信処理

本セクションでは、マルチメディア通信を実現するための問題点を明らかにする。

3.1 コネクションと転送プロトコル

エンド-エンドのホスト間に(アプリケーションレベルに)レイテンシーが小さく、信頼性のある(エラーフリーな通信)通信を実現するための手法について議論する。ただし、ここでは、パケットあるいはセルといったブロック単位での情報の誤りあるいは廃棄に対する誤り訂正を扱い、ビットレベルの誤り訂正は議論しない。

小レイテンシーの通信を実現するための手法として、(1)転送SDUの小形化、(2)通信網の高速化、(3)通信のコネクションオリエンテッド化、(4)Forward Error Correction (FEC) による誤り訂正制御、(5)高速プロトコル処理アーキテクチャ、の5つが挙げられる。

エラーフリーな通信を提供するためには、データの誤り/紛失に対して誤り検出/訂正を行う必要がある。従来のデータ通信網での転送プロトコルでは通常再送制御によるデータ誤り訂正を行っている。ところが、高速通信では(特に広域網環境)、ホスト-ホスト間の伝播遅延のために大きなスループットを実現することが困難である(エンド-エンド間での情報転送のレイ

テンシーを小さくできない)。そこで、エンド-エンドでのレイテンシーを小さくするために、FEC(Foward Error Correction)を用いる必要がある [4]。

ネットワークをコネクションオリエンディッド化することは、ATM レイヤ処理の高速化のみならず、ホストで転送プロトコルをパイプライン処理することができる可能性を持っており(セルの転送順番が保存される)、高速なプロトコル処理にも寄与することができると思われる。

表2に、コネクションの種類とアプリケーション例および現在のネットワークでサービスしているコネクションを示した。コネクションを分類するパラメータとしては、(1) 網の物理的な広がり、(2) 要求通信速度、(3) レイテンシー、(4) データの誤りの4つを取り上げた。それぞれの要求品質は、アプリケーションがレイヤ4レベルの通信に要求する通信品質であり、必ずしもアプリケーションが網(通信プラットフォーム)に要求する通信品質ではない。

表に示したような通信品質をアプリケーションレベルに提供するために、ホスト(端末)は、ホスト-ホスト間で転送プロトコル(OSI レイヤ4プロトコル)

を実行する [5]。広帯域マルチメディア通信を実現するために、ホスト間でのような通信プロトコルを用いるかは、通信網がどのような通信品質を提供しているかによっても異なるが、一つの転送プロトコルですべてのコネクションをサービスすることは非常に困難である。つまり、コネクションのプロファイル/特徴に合った転送プロトコルを選択して用いることが必要となる。通信速度が低速のコネクションあるいは大きなレイテンシーを許容するコネクションについては、従来のプロトコル(例えばTCP/IPなど)で支障はないと思われるが、高速のコネクションあるいは小さなレイテンシーを要求するコネクションに対しては、新しいプロトコルが必要である。また、以下で示すように、従来のホスト(WS)のアーキテクチャは、高速コネクションおよびコンティニューアスメディアコネクションの処理には適していないので、高速なプロトコル処理が可能なWSのアーキテクチャの開発も必要である。

3.2 プロトコル処理アーキテクチャ

本節では、複数の転送プロトコルを提供する手法の例を2つ提案する。

表2. 通信属性の分類と転送プロトコル

領域	Latency	エラー	帯域	TCP	電話	誤り制御	アプリケーション例
LAN	Small	なし	大	—	—	FEC/再送	広帯域トランズアクション
			小	—	—	FEC/再送	狭帯域トランズアクション
		許容	大	—	—	Null	リアルタイム動画
			小	—	YES	Null	音声/狭帯域動画
	Large	なし	大	might	—	再送	大容量ファイル転送(?)
			小	YES	—	再送	既存データ通信
		許容	大	might	—	Null	なし
			小	YES	—	Null	なし (Voice-mail?)
WAN	Small	なし	大	—	—	FEC	広域 高速トランズアクション
			小	—	—	FEC	広域 低速トランズアクション
		許容	大	—	—	Null	リアルタイム動画
			小	—	YES	Null	音声/狭帯域動画
	Large	なし	大	—	—	再送	大容量ファイル転送(?)
			小	YES	—	再送	既存データ通信
		許容	大	—	—	Null	なし
			小	YES	—	Null	なし (Voice-mail?)

セクション 3.1 で議論したように、マルチメディア通信の環境では各メディアに対応した転送プロトコルを提供する必要がある。以下に、実現可能な2つの方法を述べる。

1. コードのダウンロード

ネットワーク内に転送プロトコルのコードのサーバーが存在しており、通信を開始する前に、通信相手のホストとのネゴシエーション手続きを通じて決められた転送プロトコルを、ホストが持っていないときには、ネットワーク内の転送プロトコルサーバーから必要なコードをダウンロードする。

2. クライアント-サーバー モデルの利用

負荷の大きい転送プロトコル(特に外部のネットワークを通信する場合)を用いて通信を行う場合に、ホストの CPU 処理能力が不足の場合あるいは、ネットワーク内にプロトコルの処理サーバーが存在するときには、プロトコルの処理をサーバーに任せることができる。例えば、高速プロトコルサーバー間は複雑で高速動作を必要とするコネクションおよびプロトコルを用い、高速プロトコルサーバーとクライアントホストの間では、高速だが非常にライトウエイトなプロトコルを用いるなどである(広域での高速なデータ通信ではこのような場合が考えられる)。

各ホストの CPU 能力はネットワーク内に存在するホストによってさまざまであるので、方式 1 および方式 2 を混在させて運用するべきである。

3.3 ソフトウェア処理

現状のホスト(計算機)では、すべての転送プロトコル処理(通信処理)は OS(Operating System) で処理しており、本質的にソフトウェア処理である [8]。また、当然通常アプリケーションは、処理の柔軟性を向上するためにソフトウェアで処理される。以下に示すように、通信プラットフォームが提供するコネクションの速度がこれまでのような低速の場合(せいぜい数 MBPS まで)には、問題が発生しなかったが、高速なコネクションが提供される環境では、転送プロトコルの処理速度およびアプリケーションの処理速度が、システムの動作速度(アプリケーションに見せる速度)の律速条件となる。例えば、転送プロトコル(e.g. TCP/IP 処理)においては、データのメモリおよびバッファ間での転送/コピーが、プロトコル処理のほとんどの時

間を占めており、ソフトウェア処理(CPU)を行うと、現状の UNIX マシンでは、数 Mbps のスループットが限界とされている [9][4]。

本節では、TCP/IP の処理速度および簡単な動画像通信のアプリケーションの処理を現状のワークステーションにおけるデータ処理アーキテクチャを用いて行なった場合の処理速度の評価を行っている。

まず、TCP/IP の処理を取り上げ、これを CPU 処理によって行なったときの処理速度の評価を行なった。評価結果を表 3 に示した。なお、ワークステーション内部のデータベースのビット幅ならびに、メモリのアクセス速度は、CPU の動作速度に合わせて高速化されていると仮定している。CPU の動作速度 25MHz はほぼ現状の技術と考えることができ、30MIPS 程度の処理速度に対応する。なお、100MHz の CPU(100MIPS) は 1995 年くらいに、500MHz の CPU(500-1000MIPS) は 2000 年くらいに登場するとされている [10]。表に示したように、現状のワークステーションでは、CPU を TCP/IP の処理に専念させても 10Mbps のオーダーのスループットしか期待できない。2000 年のワークステーションを使って、300Mbps 程度のスループットが期待される。つまり、現状のアーキテクチャでは、2000 年くらいにならないと、データ通信という見地から見ると、ATM 網で提供される高速な通信パイプを十分に利用することができないことがわかる。また、TCP/IP の処理に際して、データのコピーのためのオーバーヘッドが非常に大きいことが分かる。

表 3. TCP/IP の処理能力 (CPU 処理)

CPU	処理速度	コピー処理	処理時間
25MHz	12.3Mbps	69%	65cycle
100MHz	38.6Mbps	70%	83cycle
500MHz	333.3Mbps	74%	963cycle

次に、アプリケーションとして動画像通信を取り上げ、CPU 処理によって (TCP/IP プラットフォーム上で動作) 動画像を処理/表示させることを考える。なお、TCP/IP 処理で問題となっていた、データの転送/コピーの問題は、動画像処理の時のデータ転送/コピーに含まれてくるので、本考察は TCP/IP 処理を含めた動画像処理速度の評価を行っていることになっている。

表 4 に、CPU の動作速度をパラメータにしたときの、データ処理速度および処理中のデータ転送/コピーの割合を示した。さらに、代表的な動画像符号化に換

算したときの処理可能な画面数を示した。ただし、画面は、30 フレーム/秒の表示を行うものとしている。表からも明らかのように、現状のデータ処理アーキテクチャを用いて動画のようなデータを処理しようとすると、500MHz の CPU をフルタイムで動画の表示に用いても NTSC 画像のハンドリングを行うことが困難であることがわかる。また、データの処理のうち、メモリアクセスやデータコピーなどのオーバーヘッドが処理時間の 4 割以上を占めていることが分かる。

図 1 に、CPU の処理能力の変化と、通信プラットフォームの動作速度 (アプリケーションに提供可能な通信速度にほぼ等しい) および動画処理と TCP/IP の処理速度の変化を示した。このように、すべての通信情報を統一的に CPU を介して処理することを考えると、現状の計算機のアーキテクチャでは、高速な通信プラットフォームの能力を十分に利用することができないということが分かる。

これを解決する手法とでは、以下の 2 つの方法があるであろう。

- 動画のような高速データの処理や高速で動作する必要のあるデータ処理 (例えば高速動作が要求される転送プロトコルなど) は、CPU 処理を行わず、専用のハードウェアを用いる。これは、現在、ワークステーション上で動画を表示させたり高速の転送プロトコルを実現させている手法である。
- 計算機のアーキテクチャを変更する。このときには、メモリ/バッファ管理に変更を加える必要があり、OS の構成から見直す必要がある可能性が高い。

今後、動画通信のみならず、高速データ通信を必要とする分散アプリケーションが登場してくることが予想されるので、専用のハードウェアを用いて高速処理を行う手法はアプリケーションの多様化に柔軟に対応することが難しいと考えられる。したがって、柔軟性の高い高速データ通信の実現のためには、計算機のアーキテクチャに踏み込んだ検討を行う必要があると考えられる。

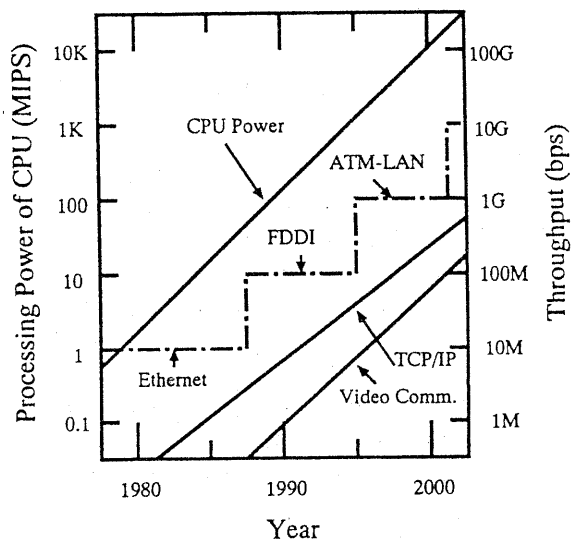


図 1. CPU 能力、通信速度およびデータ処理速度の変化

表 4. 動画の処理能力 (CPU 処理)

CPU 速度	コピー	処理速度	処理画面数 (1 画面=30 frame/sec)				
			MPEG 1	MPEG 2	小画像	NTSC(原画)	NTSC(放送)
25 MHz	54 %	1.94 Mbps	1.29	0.32	0.42	0.0156	0.031
100 MHz	54 %	7.13 Mbps	4.75	1.19	1.55	0.0575	0.115
500 MHz	45 %	75.50 Mbps	50.33	12.58	16.41	0.6089	1.218

データ通信速度

MPEG 1 の速度 : 1.5Mbps

MPEG 2 の速度 : 6.0Mbps

小画像 (Digital) の速度 : 4.6Mbps (=160 x 120 x 8bits x 30frame)

NTSC(原画) の速度 : 124Mbps (=720 x 480 x 8bits x 1.5 x 30frame)

NTSC(放送) の速度 : 62Mbps (=360 x 480 x 8bits x 1.5 x 30frame)

4 むすび

広帯域マルチメディア通信を実現するための問題点および課題を明らかにした。解決すべき問題点として以下の3点が上げられる。

- 高速/小レイテンシの転送プロトコル
- 高速処理/コンティニュアス情報処理が可能な計算機アーキテクチャおよびオペレーティングシステム
- マルチ(転送)プロトコルのサポート

謝辞

本報告書の作成にあたり、非常に有意義なディスカッションおよびコメントを頂いた当社 研究開発センター 情報通信システム研究所の関係諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] CCITT BISDN recommendation I.150 ; "B-ISDN Asynchronous Transfer Mode", 1990
- [2] ATM Forum : "ATM User-Network Interface Specification". May, 1992.
- [3] 江崎 ; "広帯域マルチメディア端末の課題", A-3-4, 電気学会電子情報システム部門大会, 平成4年8月
- [4] A.McAuley: "Reliable Broadband Communication Using a Burst Erasure Correcting Code", Proc. of SIGCOMM90. pp.297-306, Sept., 1990
- [5] D.E.Comer : "Internetworking with TCP/IP", Prentice Hall
- [6] T.Kodama ; "Future Customer Premises Network", Second B-ISDN Workshop, April, 1992
- [7] CCITT BISDN Recommendation I.364 (Draft) ; "Support of Broadband Connectionless Data Service on B-ISDN", June, 1992
- [8] A.S.Tanenbaum ; "Modern Operating Systems", Prentice Hall
- [9] Harry Rudin : "Protocols for High-Speed Networks - Transport Level Protocols", Tutorial of SIGCOMM90. Sept., 1990
- [10] 日経エレクトロニクス ; "性能向上続くマイクロプロセッサ", 1989年9月