

## マルチメディア統合環境におけるリアルタイム通信プロトコルへの課題\*

南部 明<sup>1</sup> 木原 誠司<sup>1</sup> 徳田 英幸<sup>2,3</sup> 塩野崎 敦<sup>2</sup> 福島英洋<sup>4</sup><sup>1</sup>NTT情報通信網研究所、<sup>2</sup>慶応義塾大学、<sup>3</sup>カーネギーメロン大学計算機科学部、<sup>4</sup>日立製作所システム開発研究所

あらまし 本稿では、マルチメディア統合環境プロジェクトにおいて研究開発している分散マルチメディアを実現する基盤技術の中でリアルタイム通信プロトコルについて述べる。リアルタイム通信プロトコルの必要な背景を示すとともに、連続メディアオブジェクト転送への適合性についてリアルタイム性能の観点から評価する。また、分散マルチメディア環境用のリアルタイム通信プロトコルとして備えるべき条件について検討し、予測可能性や高速性に加え、遅延時間等の性能品質の分散が一定時間内で収束可能とすることが連続メディアオブジェクトの時間制約を守るために必要であることを示す。

## Issues in Real-time Communication Protocols for Integrated Multimedia Computing Environment

Akira Nambu<sup>1</sup> Seiji Kihara<sup>1</sup> Hideyuki Tokuda<sup>2,3</sup> Atsushi Shionozaki<sup>4</sup>  
Hidehiro Fukushima<sup>5</sup>

<sup>1</sup>nambu@nttbss.ntt.jp, kihara@nttbss.ntt.jp, NTT Network Information Systems Laboratories,  
Yokosuka-shi, Kanagawa, Japan

<sup>2</sup>hxt@sfc.keio.ac.jp, Keio University, Fujisawa-shi, Kanagawa, Japan

<sup>3</sup>School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, USA

<sup>4</sup>shio@mt.cs.keio.ac.jp, Keio University, Yokohama-shi, Kanagawa, Japan

<sup>5</sup>fukushima@sd1.hitachi.co.jp, System Development Laboratory, Hitachi Ltd., Kawasaki-shi, Japan

**Abstract.** In this paper, we describe real-time communication protocols which has been developed for building an integrated multimedia environment. We also show the needs for realtime communication protocols, and the result of performance evaluation of ST-II and TCP/IP. The future issues of our real-time protocols for integrated multimedia computing are discussed.

\*この研究は、情報処理振興事業協会 (IPA) が実施している開放型基盤ソフトウェア研究開発事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトのもとに行われた。本稿に含まれている見解や結論は著者自身のものであり、IPAの見解や結論を表すものではない。

## 1.はじめに

専門家向けの高価な専用機器を使ったマルチメディアシステムと同様のアプリケーションが実現可能となる高性能CPUや大容量ディスクを備えたワークステーションやパソコンが登場してきている。加えて、FDDIやATMの様に大容量の情報を高速に転送できるネットワークの利用が可能となってきており、分散処理環境でマルチメディアを扱う分散マルチメディアを実現する基盤技術が求められている。

そこで、筆者らは分散マルチメディア環境のソフトウェア基盤に関する基盤技術を確立することを狙いに、分散リアルタイムOS、リアルタイム通信プロトコル、マルチメディアサーバ、ツールキット、マルチメディアオブジェクトベースなどを研究テーマとし、それらの資源管理などを協調制御した統合環境を実現できるプラットフォームの研究開発を行っている[1]。この中で本稿ではリアルタイム通信プロトコルについて取り上げ、必要な背景について述べ、さらにリアルタイム通信プロトコルの一例としてST-IIを取り上げ、既存プロトコルであるTCP/IPとリアルタイム性能の評価実験を行い、今後のリアルタイム通信プロトコルに対する研究課題について考察する。

## 2.背景

リアルタイムネットワークを実現するには物理ネットワークの高速広帯域化に加え、ネットワークプロトコルのリアルタイム性の向上が必要であり、リアルタイム通信プロトコルが望まれている。このリアルタイム性には二つの側面がある。一つはプロセス制御など、通常のデータオブジェクトを扱うリアルタイム処理と同様、処理時間を一定の枠内に収めなければならないタイミングの正当性を保証することである。もう一つはマルチメディアを扱う場合の特徴となる画像や音声などの連続メディアオブジェクト[2]の時間制約を保証することである。

### 2.1. タイミングの正当性保証の必要性

従来より非リアルタイムシステムでは論理的な正当性が保証されれば充分であるが、リアルタイムシステムではタイミングの正当性が保証されなければならないとされてきた。加えて分散リアル

タイム環境においては回線待ち時間と伝送遅延時間を一定のデッドライン内に収めることが必要となる。例えば、あるノード上のタスクスケジューリングで優先度制御されていても、ネットワークプロトコルスタック上でシーケンシャルとなると、優先度が活かされないため、分散システム上でリアルタイム性が保証できなくなることもありえる。このため、分散環境でのタイミングの正当性保証を実現することが必要となる。

### 2.2. 時間的制約保証の必要性

画像や音声などの連続メディアオブジェクトの時間制約を分散環境において保証するには、高スループットかつ低遅延時間を保証する必要がある。つまり、連続メディアオブジェクトの場合、情報量が膨大であり、即時性が要求される使われ方が多いため、大容量の伝送路を高スループットかつ低遅延時間で使用可能とする転送効率に優れ、低遅延時間の実装が可能なプロトコルが必要となる。

さらに連続メディアオブジェクトには情報に時間軸の特性がある。これは分割した転送単位毎の情報にタイムスタンプが貼られていると見なすことができ、そのタイムスタンプをいかに忠実に一定の遅延でエンド-エンドで再現できるかが課題となる。また、マルチメディア環境では音声や映像などの連続メディアは処理回路が異なり、転送時の品質要求も異なるため、物理的な伝送路も異なるルートを通すことが多い。この場合、各メディア間の情報に同期がとれていないとマルチメディアの情報として価値がなくなるケースがある。例えば映画の映像と音声やカラオケの歌詞と伴奏の様なリップシンクである。

### 2.3. リアルタイムプロトコルの研究動向

既存の通信プロトコル、例えばOSIプロトコルやTCP/IPプロトコルは、キャラクタストリームやアトミックなデータユニットの転送向きであり、リアルタイム機能については不十分である。

近年、リアルタイム指向のプロトコルの研究が活発である。これらは高速広帯域回線においても高スループットと低遅延時間を維持できる様に工夫された高速リアルタイム通信プロトコルと、連続メディアの転送が可能な様に転送に必要な帯域を保証した帯域保証リアルタイム通信プロトコル

がある。

前者の高速プロトコルでは、スタンフォード大学が開発したV-kernel用に作られたVMTP(Versatile Message Transaction Protocol)[3]とプロトコルエンジン社が開発したXTP(Express Transport Protocol)[4]などが代表的な例である。

VMTPはV-kernelのプロセス間通信用のプロトコルであり、高スループットと低遅延時間の双方を実現可能な仕様となっている。また、分散制御や協調分散処理等の制御情報の転送用に便利な機能を備えたプロトコルであり、クライアントサーバモデルにおける要求と応答を一つの単位としたメッセージトランザクション機構をベースにマルチキャスト機能、選択的再送機能、パケット毎の優先度設定機能、トランザクション識別およびパケット識別のために各々の順序制御番号機能を持つ。

XTPはOSI参照モデルのネットワーク層とトランスポート層とを一体化し、プロトコル仕様の簡略化とレート制御機構によるフロー制御により高速回線上のスループット向上を図ったプロトコルであり、プロトコルエンジンのLSI化を狙っている。

後者の連続メディアオブジェクト向きの帯域保証型のリアルタイム通信プロトコルの例として、BBN社が開発したST-II(Stream Protocol II)[5]、カリフォルニア大学バークレー校が開発したSRP(Session Reservation Protocol)[6]、カーネギーメロン大学が開発したCBSRP(Capacity-Based Session Reservation Protocol)[7]がある。

ST-IIはコネクション型のプロトコルで連続メディアオブジェクトの巨大なデータを一定時間内に転送可能とする帯域を予め保証したコネクションを実現する。また、ビデオや音声などの他に共有ワークスペースなどの通常のデータもマルチキャストが可能である。ST-IIを利用するアプリケーションは情報転送に先だってコネクション設定を行うが、コネクション設定時に品質要求(QOS)を指定することが可能であり、この品質を満足できない場合コネクションの設定が拒否される。この品質要求のパラメータには、優先度、最大遅延時間、エラー率、最小帯域幅、パケットサイズ、パケット速度がある。

SRPはST-IIと同様コネクション型のプロトコルであるが、IPネットワークを前提としてマルチメ

ディアデータ転送を目指している点異なる。

CBSRPはデジタルビデオやオーディオのパケットのリアルタイム分配を保証するため、システムが必要とするプロセッサとネットワーク資源を予め確保することによって通信の遅延を最小にする機構を有するとともに、この資源の配分を動的に制御できるようにしたコネクション型のプロトコルである。

### 3. 既存プロトコルの評価実験

TCP/IPおよびST-IIを対象に連続メディアオブジェクト転送への適合性について評価するため、リアルタイム性能を測定する。なお、ST-IIはanonymous-ftpにてSun SPARCstation用のオブジェクトコードであるsics.se:pub/st-2/st.tar.Zを入手し、使用した。

評価項目としてスループット、遅延時間、遅延時間の平均値との偏差を取り上げた。これらをリアルタイム性能の観点から整理すると、

- ・高速性：高スループット、低遅延時間
- ・予測性：最悪スループット保証、最悪遅延時間保証
- ・安定性：遅延時間の安定性

特に連続メディアオブジェクトの転送では情報の持つ時間制約を保証する必要があり、ネットワークの遅延時間の安定性が要求される。これは遅延時間の平均値との偏差を測定することにより推測できる。

#### 3.1. 測定環境と測定法

測定環境としては図3-1に示す様にSun SPARCstation1+を測定マシンとし、イーサネットおよびFDDIに接続した。また、同一のイーサネットにDECstation 5000/125を2台接続し、この2台を外乱発生用とした。

評価項目の測定方法について以下に示す。

##### (1) スループット

試験用に作成したプロトコルソフトをドライブするプログラムから一定の送出間隔で同じ長さのメッセージを送出する。ここでオーバーフローを起こさない最小間隔で送出したときの転送データ量を測定し、定常値を示したときの実験時間により割った値をスループットとする。実際の測定では

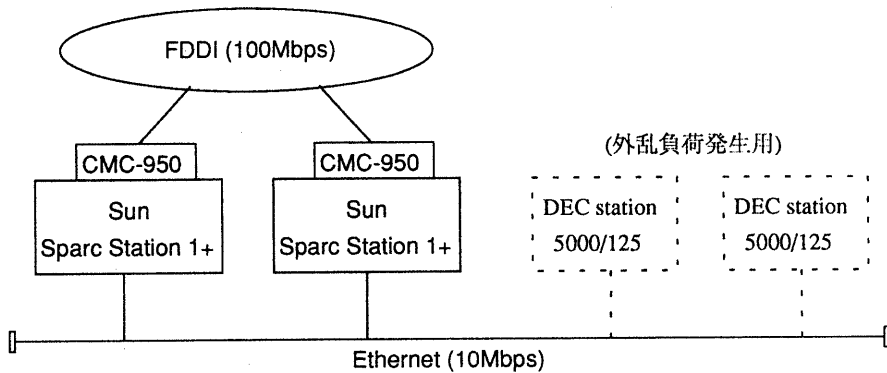


図 3-1: 測定環境のハードウェア構成

受信側で、受け取る準備ができてから最後のパケットを受け取り終わるまでの時間を測定し、通信バイト数をそれで割ったものをスループットとした。

(2)遅延時間

同様に試験用プログラムから一定の送出間隔で同じ長さのメッセージをイーサネット経由で送出し、受信側で受取確認メッセージをUDPを用いてFDDI経由で送出する。送信側でこの確認メッセージ受信までの時間を測定する。得られた結果からUDPパケットによる確認メッセージの遅延時間を引くことにより測定対象の遅延時間を求める。実際の測定では、16バイトから1024バイトの大きさのパケットを200ミリ秒の間隔を置いて送出した。

(3)遅延時間の分布

(2)で測定した結果の中で1024バイトのパケットについて遅延時間の分布を求める。まずワークス

テーション対向で外乱トラフィックのない環境において測定し、続いてワークステーション対向で一定の外乱トラフィックをかけた環境において、遅延時間を測定した。

なお、プロトコルソフトをドライブするプログラムとして、socket を用いて記述したアプリケーションプログラムを使った。したがって、送り側のアプリケーションから受け側のアプリケーションまで到達するまでの振る舞いについて測定したことになる。また、時間の測定には特別なハード、ソフトを用いず、SPARCstation 1+ の内部時計をgettimeofdayシステムコールにより取得したものをを使った。

3.2. 評価実験の結果

(1)スループット

最大スループットを表3-1、パケットサイズとス

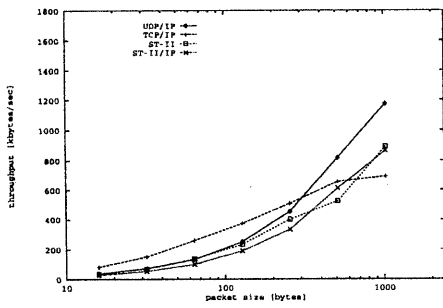
プロトコル	ネットワーク	送出パケット	総時間	スループット
ST-II	イーサネット	1496 バイト、 15 個	25.4 ms	884 kB/s
	FDDI	4064 バイト、 15 個	37.8 ms	1610 kB/s
ST-II/IP	イーサネット	1496 バイト、 30 個	46.6 ms	962 kB/s
	FDDI	4064 バイト、 50 個	103.5 ms	1960 kB/s
UDP/IP	イーサネット	1468 バイト、 20 個	24.5 ms	1200 kB/s
	FDDI	4320 バイト、 2000 個	3.93 s	2200 kB/s
TCP/IP	イーサネット	1460 バイト、 2000 個	7.79 s	749 kB/s
	FDDI	2048 バイト、 2000 個	6.58 s	1245 kB/s

表 3-1: 最大スループット

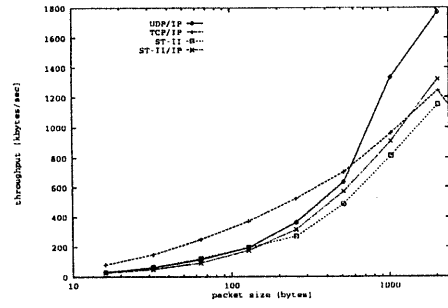
プロトコル	平均遅延時間
UDP	1.97 ミリ秒
TCP	2.23 ミリ秒
ST-II	1.86 ミリ秒
ST-II/IP	2.04 ミリ秒

(データの大きさ 1024 バイト、イーサネット)

表 3-2: 各プロトコルの平均遅延時間

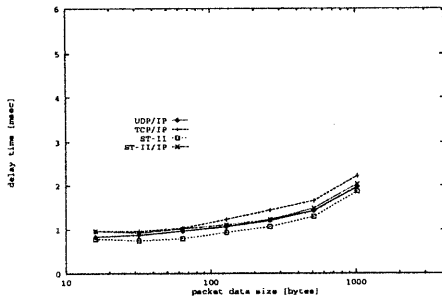


(a) イーサネット

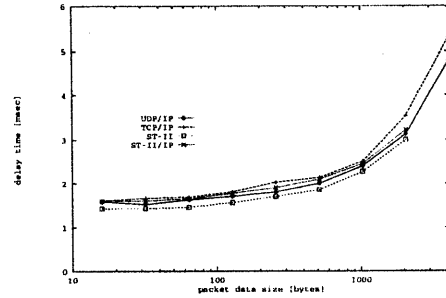


(b) FDDI

図 3-2: パケットサイズとスループット



(a) イーサネット



(b) FDDI

図 3-3: 送出パケットのデータサイズと遅延時間

ループットの関係を図3-2に示す。なお、図中でST-II/IPとはST-IIパケットをIPでカプセル化したもの、ST-IIとはIPを使わないST-IIを表わす。

### (2) 平均遅延時間

データの大きさを1024バイトとしたときの平均遅延時間を表3-2に示す。パケットサイズと遅延時間の関係を図3-3に示す。

### (3) 遅延時間の分布

実験で得られた遅延時間のデータのうち、1024バイトの場合についての測定対象パケットの分布を図3-4～図3-7に示す。横軸は測定開始からの経過時間である。パケットを200ミリ秒ごとに送信したため、データは0.2秒ごとのものである。なお、外乱は4000バイト、8000バイトのUDPパケットを10ミリ秒ごとに送信し、各々約400kB/s、約800kB/sの平均スループットとなっており、イーサネットの負荷はそれぞれ40%と80%程度の妨害トラヒックが発生していたことになる。

### 3.2. 評価実験の考察

TCP、UDP、ST-IIのいずれのプロトコルもイーサネットを専有して使用する場合、スループットおよび遅延時間も10Mbpsイーサネットの能力を使いきった結果が出ている。得られたデータから音声や圧縮した動画像の転送は可能であると推定できる。

しかし、外乱トラヒックを与えた場合、いずれのプロトコル場合も遅延時間の分布が50%程度広がる。この結果から分かるようにネットワークを複数ユーザで多重に使用する場合はTCPとUDPと同様、連続メディア向きのストリームプロトコルとして設計されたST-IIのいずれのプロトコルも同様の傾向を示した。

これは測定に使用したST-IIパッケージが $\alpha$ バージョンであり、帯域予約機能やFlow Specが実装されていないため、外乱トラヒックに対する変動が通常のプロトコルと同様の結果となったのであろう。

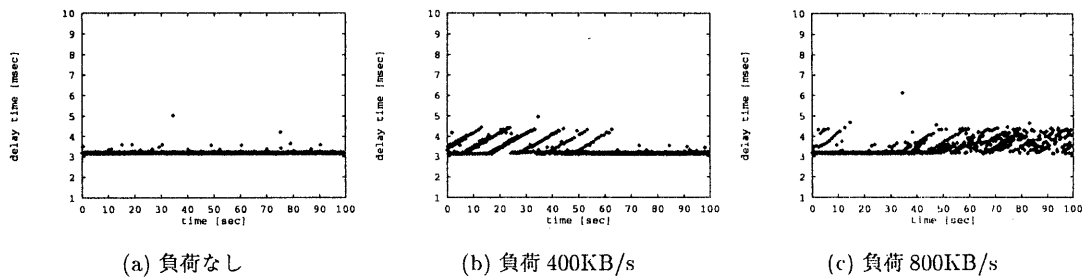


図 3-4: TCP での遅延時間の分布

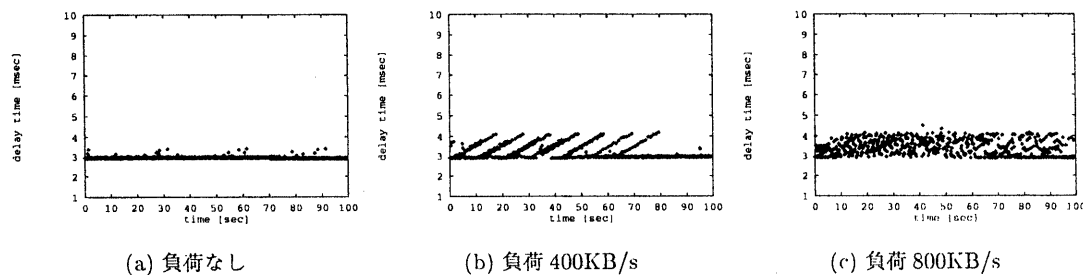


図 3-5: UDP での遅延時間の分布

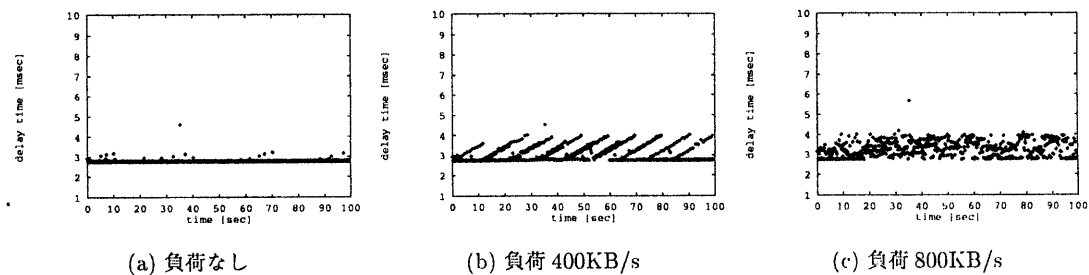


図 3-6: ST-II での遅延時間の分布

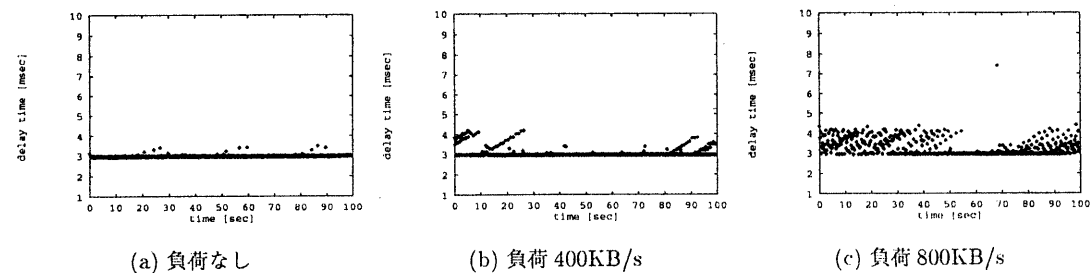


図 3-7: ST-II/IP での遅延時間の分布

また、今回のST-IIパッケージではレート制御が実現されていないため、大量のデータを待ちなしで送出すると、受信側ノードがパケットを受け取れなくなり、そのパケットはカーネル内バッファに残り、続けていくとカーネル内バッファが確保できなくなってシステムが停止してしまう現象が見られた。

最大スループットの比較ではUDPが最大であり、イーサネットに関してはほぼ理論限界まで使い切っている。一方、平均遅延時間でUDPより小さい値を出しているST-IIIはUDPの75%までしかスループット性能が出ていない。これはレート制御が実現されていないため大量のパケットを待ちなしで送出することができず、実験誤差が大きくなったためと考えられる。なお、データ送出依頼時に待ちを入れて調節することは可能であるが、測定マシンのSPARCstation 1+では内部タイマの粒度が10ミリ秒になるため、パケット送出待時間の最小値がプロトコルの性能に対して大きすぎるため、最大スループットの測定は不可能となる。

また、ST-IIの遅延時間が小さいのは、パケットヘッダが小さく、チェックサムの計算が不要であることが大きな理由であろう。

今回の実験ではST-IIがマルチメディア統合基盤用のリアルタイム通信プロトコルとして適しているという結果は得られていない。しかし、リアルタイムプロトコルとして重要な遅延時間がUDPやTCPと比較して優れることから、連続メディアオブジェクト用プロトコルとして注目すべきプロトコルである。今後、帯域予約やFlow Specを全て実現したパッケージの出現が望まれる。

#### 4.リアルタイム通信プロトコルへの課題

今回の様な単純な外乱発生の実験においても、遅延時間の安定性は保証されない。現状のプロトコルではネットワークを多重に利用すると、連続メディアオブジェクトの転送品質を維持できず、分散マルチメディア処理の実現に支障が生じると考えられる。

そこで、連続メディアオブジェクトを転送可能なプロトコルとして備えるべき条件と課題について示す。

・転送品質が予測可能であること

遅延時間やスループットなどの性能、および誤

り率などの信頼度が予測可能であり、エンドーエンドのタイミング解析や品質評価などが実現できる。

・リアルタイムスケジューリングとの協調制御が可能であること

プライオリティやプリエンブションなどのリアルタイムスケジューリングの操作がネットワークを介して有効となる様に、プロトコル仕様上プライオリティおよびプリエンブション制御を可能とし、さらにプロトコルレイヤ間でプライオリティおよびプリエンブションの継承が実現できる。

・高速大容量転送が可能であること

映像やグラフィックス情報に加え音声やデータも同時に転送でき、しかも複数利用者が同時に利用できる様に、数10MbpsからGbpsのギガネットワーククラスのネットワークも効率良く利用可能となる。

・遅延時間のゆらぎが一定時間内で収束可能なこと

メディアの品質条件に合わせてネットワーク上で転送単位毎の遅延時間を一定のゆらぎの範囲内で伝送路のジッタも考慮しながら確定することが可能となる。

・ネットワークの負荷状態に応じたサービス品質 [QOS] を動的に制御可能なこと

コネクションやセッションなどユーザ毎の仮想的な伝送路に品質の保証レベルの優先度を設定でき、ネットワークの負荷が増大すると優先度の低いコネクションやセッションから徐々に品質を落していく、ユーザが不満を持たない範囲で互いに譲り合っていく動的な品質制御を実現することが可能となる。

・連続メディアを対象としたマルチキャストやブロードキャストが可能なこと

連続メディアの巨大な情報を対象としてもネットワークの輻輳を引き起こさず、宛先対応の品質の差が生じない様にマルチキャストやブロードキャストすることが可能となる。

以上のリアルタイム性に関する条件に加え、既存のプロトコルとの互換性や移行性、さらにはInternetとの接続性、実装の容易性なども考慮する必要がある。

また、帯域制御などの品質保証制御を実現するにはネットワークドライバなどノード内の下位レイヤのサポートが必要となるが、ノード内だけで

なくネットワーク全体に関わることであるから、大域的な処理も必要になる。

## 5. おわりに

本稿ではリアルタイム通信プロトコルの必要性について述べ、さらにTCP/IPおよびST-IIを対象に連続メディアオブジェクト転送への適合性についてリアルタイム性能を測定し、評価した。今回の実験では入手したST-IIが機能的に不十分な実装であったため、マルチメディア統合基盤用のリアルタイム通信プロトコルとして適しているという結果は得られていないが、UDPやTCPと比較して高速であり、プロトコル仕様にある帯域予約機能やFlow Specを実装することにより連続メディアオブジェクトを転送向きプロトコルとして注目すべきであると考えられる。

また、連続メディアオブジェクトを転送可能なプロトコルとして備えるべき条件について、予測可能性や高速性に加え、遅延時間等の性能品質の分散が一定時間内で収束可能とすることが連続メディアオブジェクトの時間制約を守るには必要であることを示した。

分散マルチメディア環境を実用的に容易に構築するためにはこれらの条件を備えたリアルタイム通信プロトコル（仕様と実装）の登場が望まれる。

## 6. 謝辞

本研究を行うにあたり協力して頂いた慶応義塾大学の開放型基盤ソフトウェア研究開発事業「マルチメディア統合環境基盤ソフトウェア」プロジェクトの皆様へ感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 斎藤、徳田 et al.: "マルチメディア統合環境のテストベットとその評価", 信学論, CPSY92-75, pp17-24 (1993)
- [2] 徳田、斎藤: "マルチメディア統合環境プロジェクトにおけるリアルタイム処理技術", 信学論, CPSY92-75, pp.9-16 (1993)
- [3] D.R.Cherton: "VMTP: A Transport Protocol for the Next Generation of Communication Systems", In Proceeding of the SIGCOMM '86 Symposium, pp.406-415 (1986)
- [4] Protocol Engines Inc.: "XTP Protocol Definition, Rev. 3.5", PEI-90-120 (1990)
- [5] C.Topolcic: "ST-II", In Proceeding of 1st International Workshop for Digital and Audio and Video", UCB-ICSI TR-

90-062 (1990)

[6] D.Anderson, R.Heritwich, C.Schaefer: "SRP: A Resource Reservation Protocol for Guaranteed-Performance Communication in the Internet", TR-90-006, ICSI, Berkley (1987)

[7] H.Tokuda, Y.Tobe, S.T.C.Chou and J.M.F.Moura: "Continuous Media Communication with Dynamic QOS Control Using ARTS with an FDDI Network", In Proceeding of the SIGCOMM '92 Symposium, pp.88-98 (1992)