

アプリケーション指向ネットワークの実現に向けて

2F-2

—超々高速高機能通信網（スープラネット）プロジェクトの概要—

青木 輝勝 安田 浩
 東京大学先端科学技術研究センター

1. はじめに

近年のインターネットの急速な普及に伴い、その利用者数は増加の一途をたどっている。これに伴い、WWW (World Wide Web)、電子メール等のインターネットアプリケーションはすでにビジネス、ホーム両面で私達の生活に欠かせないツールとなっていることは周知の通りである。しかしその反面、現在のインターネットが抱える問題点は決して少なくなく、今後予想される様々なネットワークアプリケーション、例えば、電子商取引、デスクトップ行政、SOHO (Small Office Home Office)、超臨場感システム、電子投票等を想定すると、技術的に解決しなければならない研究課題は山積している。

本稿では、このような背景を見据え、アプリケーション指向ネットワークの実現を目的とした通産省／情報処理振興事業協会（IPA）支援プロジェクト「超々高速高機能通信網（スープラネット）プロジェクト」について、その目標、実施体制、研究開発内容について概説する。

2. スープラネットプロジェクトの概要

2.1 本プロジェクトの目標

本プロジェクトでは、研究開発を行うにあたって、特に以下の3点を具体的目標として掲げている。

- ・高速性（テラビット級の超々高速ネットワークの実現）
- ・高品質、高機能性（高品質高機能マルチメディアネットワークの実現）
- ・アプリケーション指向（テラビットアプリケーションに関する研究開発、およびアプリケーションを出発点とする通信技術の検討）

2.2 本プロジェクトの実施体制

本プロジェクトの実施体制を図1に示す。

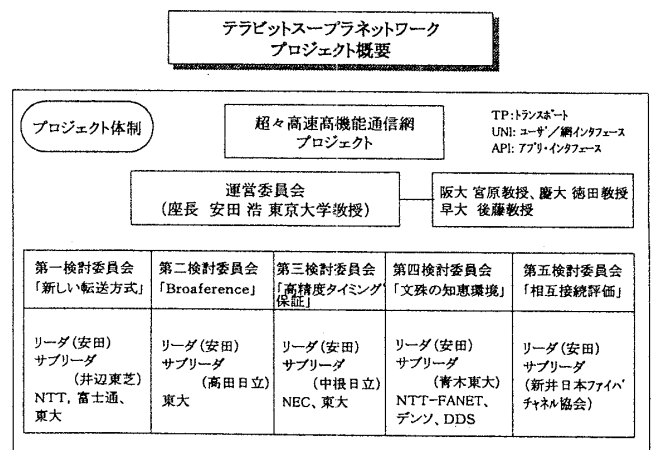


図1 実施体制

3. 第一検討委員会

3.1 第一検討委員会の概要

第一検討委員会では、ネットワークの高速化（テラビット化）を目的に波長スイッチングを用いたテラビットルーティング方式について研究開発を行っている。

波長多重技術は光ファイバの伝送効率を飛躍的に向上するだけでなく、同時にスイッチ機能を有する利点がある。本検討委員会では、波長スイッチング機能を持つノードをリング状に結合することにより、約 1/100 のノード規模で、ネットワークとしてのデータ転送能力がテラビットとなる新しい転送方式について検討中である。

3.2 IP over WDM ネットワークと波長バーチャルパス

本検討委員会では、図 2 に示す WDM リング環境で、

- ・ 10Gbps リンク（1 波長あたり）
 - ・ 100 波長
 - ・ 総容量 4Tbps（4 ファイバリング）
- の実現を目標に研究開発を行っている。

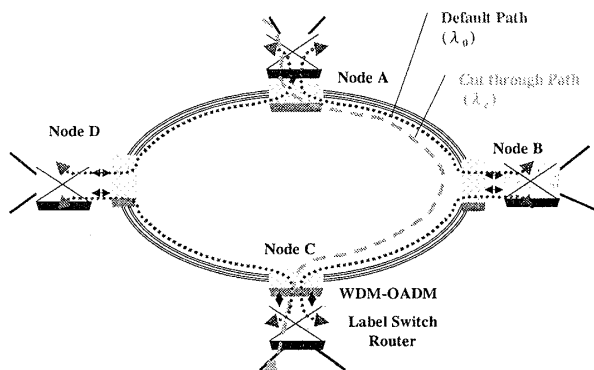


図 2 4 ファイバリング

技術的には、

- (1) Label Switch Router による低遅延ノードカットスルー
 - (2) WDM-OADM (Optical Add Drop Multiplexer) による波長を用いたノードカットスルー
- を行うことにより、上記目的を実現する。

図 3 に波長フルメッシュパスと波長バーチャルパスの概念図を示す。

波長フルメッシュパスの場合、ノード数を N とした場合、

$$N(N+2)/8$$

となるのに対し、波長バーチャルパスの場合には、必要な波長数はわずか N にすることができ、大幅な性能改善が期待できる。このため、本検討委員会では、波長バーチャルパスを想定し、そのメディアアクセス制御方式について検討している。

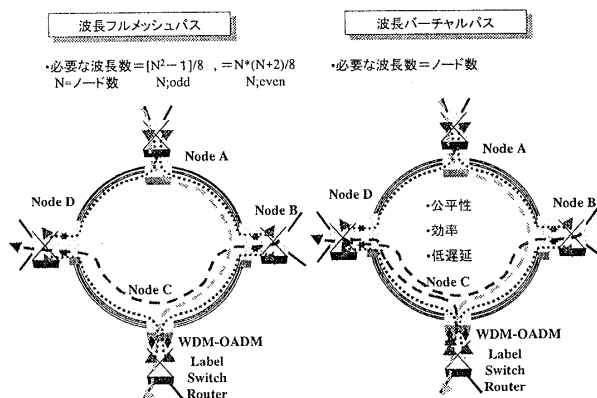


図 3 波長フルメッシュパスと波長バーチャルパス

3.3 Token セルを用いたメディアアクセス制御方式

波長パーチャルパスを想定した場合、最も大きな技術課題は波長クラッシュが生じないように必要十分なメディアアクセス制御を行うことである。本検討委員会では、このため、Tokenセルを用いたメディアアクセス制御方式を検討している。その概要は下記の通りである。

- ・ネットワークを構成するノードに独立に波長 λ_n ($n=a, b, c, d$) を割り振る。
- ・波長セルはバースト光信号、行き先ノード位に波長を変える。
- ・波長セルの送信権は、デフォルトパスでTokenセルを受信した時に行う。
- ・Tokenセルは、波長セル受信ノードからデフォルトパスで送信する。
- ・Tokenセルには、送信する波長セル長が書かれるため、同一波長セルを送信する次のノードで波長クラッシュが生じない（図4参照）。
- ・Tokenセルには、同一波長セルを送信する待ちセル長の合計が記載されるため、受信ノードから送出するTokenセルの周期を調整できる。

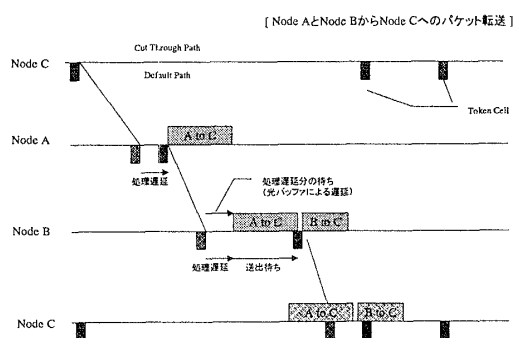


図4 Tokenセルと波長セルのタイミング

また、Tokenセルのフォーマットを図5に示す。

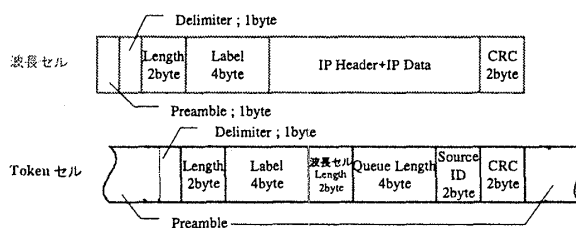


図5 波長セルおよびTokenセルのセルフォーマット

4. 第二検討委員会

4.1 第二検討委員会の概要

第二検討委員会では、新しい接続方式として「放送会議型接続方式」を提案し、その実現方式について研究開発している。

本検討委員会では、新しい接続方式として、本検討委員会では、父母・故郷在住祖父母のネットワーク参観付きネットワーク授業/グループ討議や、最良チーム応援団参加型ゲーム観戦サービス等の具体例を基に放送会議接続技術について議論している。

4.2 Broafarenceとは

放送会議型接続 (Broafarence) とは、本検討委員会の造語であり、放送型接続 (Broadcast) と会議型接続 (Conference) を統合した接続方式のことを指す。

放送会議型接続の概念図を図6に示す。この放送会議型接続を用いることにより、例えば、遠隔授業を想定した場合、従来のマルチキャスト型、すなわち、先生から生徒への一方方向授業に加え、

- (1)生徒から先生へリアルタイムの質問ができる
双方方向性マルチキャスト通信

(2)生徒同士が会話できる会議型通信

を同時に実現できることになる。これにより、従来の遠隔「授業」と全く異なる遠隔「教室」が実現できることになる。

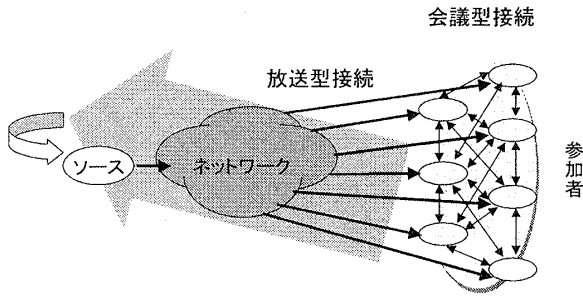


図6 放送会議型接続

放送会議型接続方式は、この他にもコンサートやスポーツの中継に応用でき、「遠隔コンサートホール」「遠隔スタジアム」が実現できる。さらに、「観客付き対戦型ゲーム」等への応用も考えられるであろう。

4.3 Broaference セッション制御機能

本検討委員会では、Broaference 実現のためのセッション制御機能を中心に研究開発を進めている。Broaference セッション管理機能の概要を以下に示す。

(1)メンバ管理

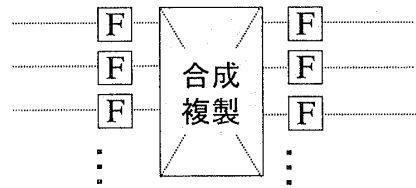
メンバ情報（ネットワークアドレス等）、メンバグループ管理等を行う。

(2)ポリシー管理

セッション設定権限の管理を行う。ここでは、あるユーザ、あるいはあるグループに属するユーザがある指定されたセッションに参加できるかどうかを管理する。

(3)パス管理

セッションを構成するパスの管理を行う。セッションの論理モデルを図7に示す。この論理モデルを用いた場合、例えば、ユニキャスト、マルチキャスト(1:2)はそれぞれ図8に示す接続形態となる。



F: Filter
転送データの品質指定、加工指定

図7 パス管理の論理モデル

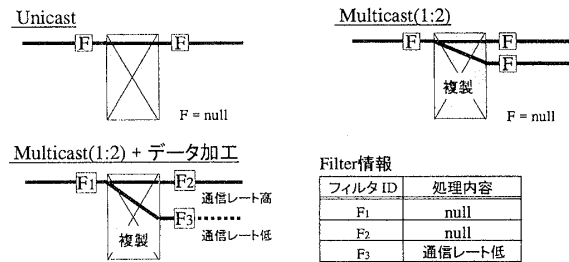


図8 パス管理の具体例

5. 第三検討委員会

5.1 第三検討委員会の概要

第三検討委員会では、これからの E-Commerce 時代に極めて重要な基幹技術となることが予想される高精度タイミング保証技術について研究開発を行っている。

ネットワークの高速化が進むと、マルチメディア情報は瞬時に受信することが可能となるが、その反面、ネットワーク上でタイミングを保証して、多数の端末に一斉に情報を表示させる、

あるいは端末からの入力時刻を正確に記録し、安全に受信するといった技術は現在のところ未開拓である。本検討委員会では、ネットワーク上でのオークション、株売買、投票といった時刻を重視するアプリケーション普及のために必要なタイミング保証技術について研究開発を行っている。

5.2 タイミング保証の必要性および技術的課題

現在、高精度なタイミング保証は非常に困難であるが、その要因としては以下の理由が挙げられる。

- (1)送信方法の差異（OS あるいはアプリケーション依存）
- (2)ネットワークの混雑度による遅延ゆらぎ（ネットワーク依存）
- (3)伝送距離による伝播遅延の差（距離依存）
- (4)受信端末の性能差（端末ハードウェア、OS、アプリケーション依存）

したがって、高精度なタイミング保証を行うにあたっては、これらの要因を含め、下記課題を解決する必要がある。

- (1)表示ガードタイムの正確な推定
- (2)全クライアント端末での時刻同期
- (3)目標表示時刻までの表示情報の保持（復号化防止）
- (4)入力時刻（タイプスタンプ）の保証（認証、改竄の防止）

5.3 高精度タイミング保証技術

本検討委員会では、5.2 で述べた技術を融合する形で研究開発を進めている。

現在の具体的な検討課題は主に下記 2 点である。

(1)双方向通過遅延時間推定機能

NTP（Network Time Protocol）技術の応用として、双方向での通過遅延時間推定を行う。遅延推定マネージャ間で周期的にパケット通過遅延時間を往路、復路それぞれについて測定し、測定結果からネットワーク通過時間を推定することにより、高精度なタイミング保証を実現する（図 9 参照）。

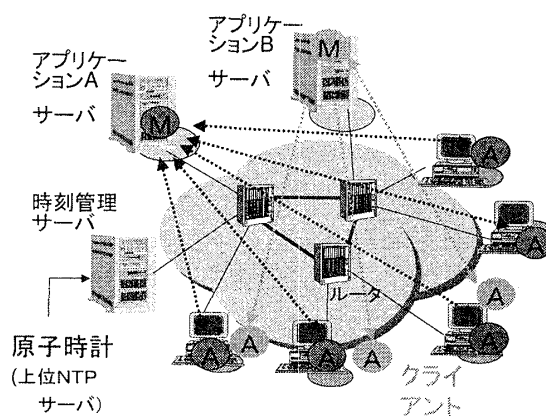


図 9 双方向通過遅延時間推定機能

(2)同時刻情報表示のための暗号鍵制御機能

同期時刻の改竄耐性について、暗号鍵制御を用いた手法を検討中である。電子商取引のように非常に高度なセキュリティを要するアプリケーション、対戦型ゲーム等のようにセキュリティよりもむしろリアルタイム性が重視されるアプリケーションが存在するため、これら両タイプに対応し得るシステムアーキテクチャを検討中である。

6. 第四検討委員会

6.1 第四検討委員会の概要

第四検討委員会では、スーパネットワーク上で動作するネットワークアプリケーションとして「文殊の知恵環境」と呼ぶ超臨場感コラボレーションシステムを構築している。

6.2 文殊の知恵システムの原理

高臨場感型ビデオ会議システムを実現するにあたっては、一般に

- (1)視線一致
- (2)実物大映像

が重要である。本検討委員会ではさらに、

- (3)接近感

の実現を目標とし研究開発を進めている。ここで「接近感」とは、ビデオ会議システムのユーザがディスプレイに近づく、あるいは離れる様子が直感的に感じられる環境を表現している。

しかし、上記(1)~(3)をすべて満足するシステムは一般に実現が困難であり、本システムは3条件を満足したはじめてのシステムである。

文殊の知恵システムで用いる端末の概要図を図10に示す。この端末は、文殊端末用特殊ディスプレイ、ビデオカメラ、液晶プロジェクタ、台形歪み補正回路から構成されており、ビデオカメラはディスプレイ中央の法線方向の位置に、液晶プロジェクタはディスプレイの法線方向と角度 θ の位置にそれぞれ設置させる。

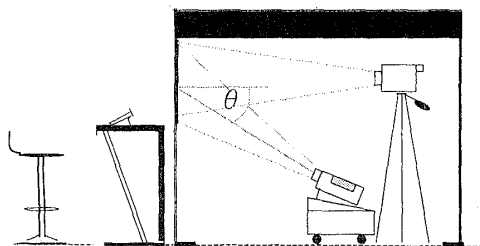


図10 端末の概要図

本端末では、ホログラム技術を応用した特殊なディスプレイを用いている。

この特殊ディスプレイは、図10の左から右への方向は通常ガラス同様光を通過させるが、右から左への方向は角度 θ からの入射光のみを通過させる働きも持つ。

したがって、この特殊ディスプレイを用いて図10の端末を構成した場合、ビデオカメラでは表側にいるユーザの正面映像をガラス越しに撮影することができ、逆にユーザからは液晶プロジェクタから投射される相手映像を見ることができる。このように、本システムは原理的にユーザとディスプレイとの距離に制限がないため、視線一致、実物大映像はもちろんのこと、ディスプレイに対する接近感を支援することが可能となる。

6.3 文殊の知恵システムの試作

図11に文殊の知恵システムを用いた視線一致実現の様子を示す。図11では、文殊の知恵システムが「視線一致」および「実物大映像」を支援していることがわかる。

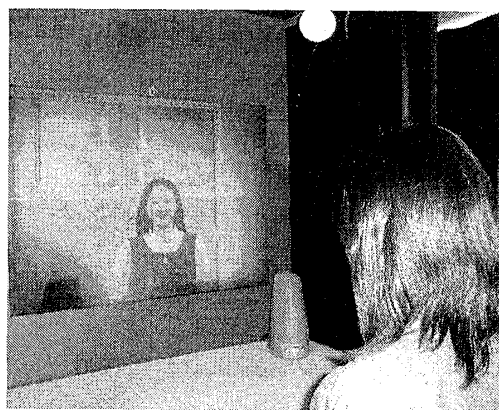


図11 文殊の知恵システムを用いた視線一致の例

また、図12にETタッチ実現の様子を示す。

ここで、「ET タッチ」とは、実際にユーザ同士の指をディスプレイに接触させると、お互いの指が完全に一致する現象を指している。

これにより、あたかもガラス越しに相手が実在するかのような高臨場感が得られていることがわかる。



図 12 文殊の知恵システムを用いた ET タッチの例

7. 第五検討委員会

7.1 第五検討委員会の概要

第五検討委員会では、既存のギガビットネットワーク機器を対象に、相互接続運用性評価実験を行っている。本検討委員会では特に、近年 SAN (Storage Area Network) の基幹方式として注目を集めているファイバチャネル機器に焦点をあて、各種ファイバチャネル機器の相互接続運用性を SAN 実現の観点から評価している。

7.2 相互接続運用性評価の対象機器

図 13 に本検討委員会で扱う相互接続運用性評価の対象機器を示す。このように、1 つのネットワークを形成するネットワーク機器（一部

ソフトウェアも含む)は非常に多岐に渡るため、効率的な実験計画が不可欠である。

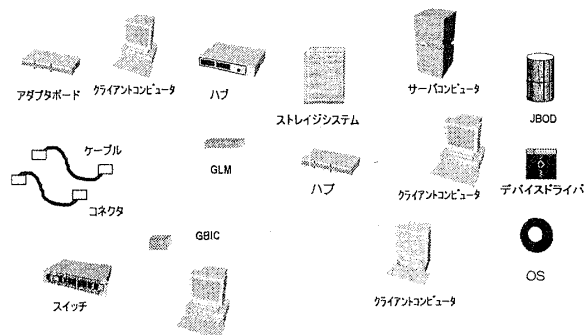


図 13 対象機器一覧

7.3 相互接続運用性評価実験手順および評価結果概要

本検討委員会で行っている相互接続運用性評価実験の手順を図 14 に示す。原理的には、まず相互接続運用性上全く問題を生じない「完全な」システムを構築し、1 つずつ機器を交換することにより評価を行う。

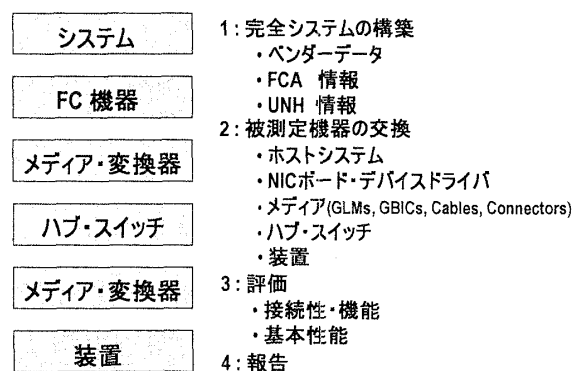


図 14 評価手順

評価実験については現在進行中であり、現時点で詳細な結論を出す段階ではないが、これまでのところ、

- ・ デバイスドライバの不整合
- ・ 接続方式（プライベートループ、パブリック

ループ、ファブリック接続) のミスマッチと
プロトコル制御方式の若干の差異
等の問題が一部で発見されている。

8. まとめと今後の課題

本稿では、通産省／情報処理振興事業協会プロジェクト「超々高速高機能通信網（スープレネット）プロジェクト」について、その目的、実施体制、研究内容について概説した。

21 世紀を迎えるにあたって今後様々なネットワークアプリケーションが出現し、ネットワークに対する要求条件は今後ますます厳しいものになってゆくことが予想される。このため、私達ネットワーク研究者は、アプリケーション指向の立場から常に将来のネットワークのあり方を考える姿勢が今後一層重要になるであろう。

謝辞

本稿をまとめるにあたって、様々なご指導を頂いた第一検討委員会副主査・井辺博之氏（東芝）、第二検討委員会副主査・高田治氏（日立）、第三検討委員会副主査・中根啓一氏（日立）、第五検討委員会副主査・新井悠一氏（ネットマークス）、並びに本プロジェクト全体に渡って日頃より様々な助言を頂く早稲田大学・後藤滋樹教授、慶応大学・徳田英幸教授、大阪大学・宮原秀夫教授に深謝致します。また、本プロジェクトの立ち上げ段階から多大なご支援を頂く通産省並びに情報処理振興事業協会（IPA）の関係者の方々にも深謝致します。最後に本稿をまとめるにあたって校正作業にご協力頂いた東京大学先端科学技術研究センター粕谷牧子氏に感謝致します。