

# WISH ネットワークにおける動的トポロジ 制御システムの構築

登坂 章弘 西田 佳史 楠本 博之 村井 純  
慶應義塾大学

衛星通信ネットワークと地上専用線ネットワークを統合化したインターネット実験 WISH (WIDE Internet with Satellite Harmonization) を行っている。WISH では、地理的普遍性や同報性を持つ衛星通信の特徴を活かし、インターネットにおける新しい放送型の情報伝達システムの構築を目的としている。

WISH の衛星ネットワークは日本全国 6 地点により構成され、それぞれ地上専用線により WIDE インターネットに接続されている。衛星通信は、1 対 1 型あるいは 1 対多型の通信形態を形成することができ、また動的にその通信相手を設定することが可能である。

本論文では、各地の衛星通信局を計算機側から操作することにより通信要求に応じた通信形態やネットワークトポロジを管理・制御するシステムの設計構築について述べる。

## Development of control system of dynamic topology in WISH network

Akihiro Tosaka Yoshifumi Nishida  
Hiroyuki Kusumoto Jun Murai  
Keio University

We are doing experimental Internet WISH (WIDE Internet with Satellite Harmonization), that integrates satellite communication network with terrestrial cable network. The purpose of WISH is constructing the new broadcasting communication system, with the satellite characteristics of geographic impartiality and broadcasting ability.

The satellite network of the WISH connects six places within Japan, each of which is connected to the WIDE Internet through terrestrial network. In satellite communication, both of unicast and multicast communication are possible, and communication objects may be dynamically selected.

We have constructed a system that manages and controls the communication style and network topology. This system accepts requests for communications, and control satellite communication station from a computer.

## 1 背景

インターネットの発展と共に、知識や情報の交換、共有への要求は著しく増加している。例えば、WWW に代表される分散型のデータ共有、NetNews 等の電子掲示板システム、NV(Network Video)やVAT(Visual Audio Tool)等の映像・音声による会議システムが挙げられる。このようなシステムにおける情報の交換、共有では、一対一型の通信媒体を用いるよりも放送型の通信媒体を利用する方がより効率的となる。

そこで衛星通信の持つ地理的普遍性や同報性などの特徴を活かし、ケーブルなどによる従来のインターネットメディアと併用することによってこれらの新しい課題の解決を目的とする実験 WIDE Internet with Satellite Harmonization (WISH) を開始した [1][2][3]。

## 2 衛星通信の仕組み

衛星通信を行う地球局設備としては超小型地球局 VSAT(Very Small Aperture Terminal)を用いており、パラボラアンテナ、屋外装置 ODU (Out-Door Unit)、屋内装置 IDU (In-Door Unit) から構成されている。データの送受信のための計算機との接続は、双方のシリアルインターフェースを通じて IDU と接続する。データの通信速度は最大 2Mbps である。

VSAT における通信は、送信局の送信チャネルと受信局の受信チャネルを合致させて行う。ここでいうチャネルとは、衛星へ送信するアップリンク周波数と衛星から受信するダウンリンク周波数の組を意味する。

複数の送信局で、同時に同一の送信周波数を用いて送信することは出来ないため、1対1型の双方向通信を行う場合には2つの周波数帯域が必要となる。

## 3 通信の利用形態とインターネットにおける現状

通信一般について、その利用形態により次の3つに分類することが出来る。

- 通信相手を1つの対象に特定した1対1型(ユニキャスト通信)での利用

- 通信相手を1つのグループに特定した1対多型(マルチキャスト通信)での利用
- 通信相手を特定しない1対全型、同報型(ブロードキャスト通信)での利用

現状のインターネットにおけるその利用の形態を見ると、1対1型の利用にはメールや talk、write といったものがある。

1対多型の利用では、NetNews やメーリングリストの配送、IRC(Internet Relay Chat)等アプリケーションによる応用によって実装されているものと、NV や VAT に代表される最近注目を受けている IP マルチキャストの技術を用いたものが存在する。

同報型の利用についてはイーサネットなどのローカルエリアネットワークに限定されるが、X 端末ホストの起動時における BOOTP や移動計算機のための DHCP 等が挙げられる。

## 4 衛星ネットワークにおけるトポロジ

我々は目的や用途に応じて先に述べたように利用形態を使い分けている。しかし、地上ネットワークではあらかじめ任意の地点間の回線を用意しておくことは物理的に、また経済的に容易ではないため、利用形態に応じてトポロジを変更することは出来ない。また、広域ネットワークにおける1対多型通信となると、近年 IP マルチキャストと呼ばれる技術が注目されているが、これは基本的に1対1型の通信メディアであるケーブルによって接続された広域ネットワークにおいて効率よく1対多型の通信を行うための技術である。

そこで、同報性を有し通信相手の自由な選択が行える衛星通信において、利用形態に合わせたネットワークトポロジを構成することを可能とし、地上インターネット網との共存がはかれるならば、より効率的な通信が行えるものと考えられる。また、複数の衛星通信局と周波数帯域を使用することで同時に並行して複数の衛星ネットワークを形成することも可能となる。

以下に衛星ネットワークにおいて考え得るネットワークトポロジと、そのトポロジへの切替えに対する要求を分類する。

### 1. 1対1型トポロジ

2つの衛星通信局を結んだトポロジで、双方向の通信が行える(図1)。

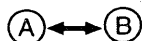


図1: 1対1型トポロジ

地上ネットワークの切断時のバックアップやトラフィックに応じた負荷分散など、地上のネットワークの代替手段が必要な場合にトポロジ形成の要求が生じる

## 2. 1対多型トポロジ

(1+N)局の衛星通信局を接続するトポロジで、送信局1に対し受信局は複数(N)あっても構わない。ただし、単方向性の通信であり(図2)、受信局ホストが送信局ホストへ応答を返す必要がある場合には地上ネットワークとの併用で行う。

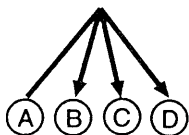


図2: 1対多型トポロジ

NetNewsの配送やFTPサイトによるミラーリング等、同報性の高い通信が必要な場合に要求されるトポロジである。

## 3. 疑似多対多型ネットワークトポロジ

1対多型トポロジを応用したもので、送信局1、受信局Nの単方向性の通信であることは同じである。ただし、要求に応じて送信局が入れ替わることで疑似的に多対多型の通信が可能となる(図3)。

NVやVAT等による会議中継の場合に送信者が交替するといった要求へ対応することが出来る。

## 5 設計

本研究では、次のような方針に従い衛星ネットワークにおける疑似多対多型通信のトポロジ制御機構の設計を行った。

- 形成する衛星ネットワークは一つに限定する

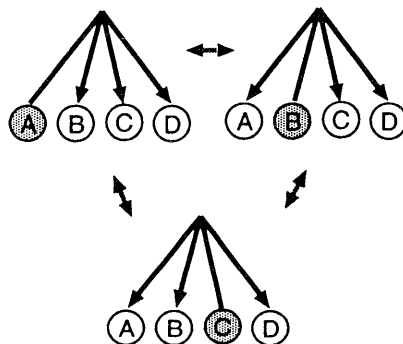


図3: 疑似多対多型トポロジ

- 疑似多対多型での通信トポロジの制御に限定する
- 送信者の切替えは、オペレータの判断によるものとする
- 送信チャンネル、データの通信速度は一定とする
- トポロジの制御は1台の計算機で集中して行う
- 送受信局数の規模性について考慮する
- 地上ネットワークと可能な限り接続性を高める

1対多型の衛星ネットワークにおいて送信者が入れ替わる場合、そのネットワークへの経路情報の扱いが複雑になる。送信者が切り替わる毎に経路情報に変化が生ずるからである。特に広域なネットワークへの接続性を必要とする場合、1度の経路情報の変化で数多くのネットワークノードへ影響を与える。

この問題には次のような対処を考える。衛星ネットワークへの仮想的なネットワークを作り仮想ゲートウェイ(VGW)から送信局計算機へパケットをトンネリングさせる。受信局計算機から送信局計算機、受信局計算機間の通信についても仮想ゲートウェイマシンへのトンネリングを通して行うことも可能である。これを図4に示す。受信ホストはR1と同じものが複数存在してよい。

また、VGWが経路情報をどのように持つかについては、トポロジ切替えにいくらかの時間が費されること、トポロジの制御を行う計算機は誰が送信出来るのかを把握できることから、トポロジ制御計算機がVGWへ知らせてVGWが静的に経路情報を設定する。

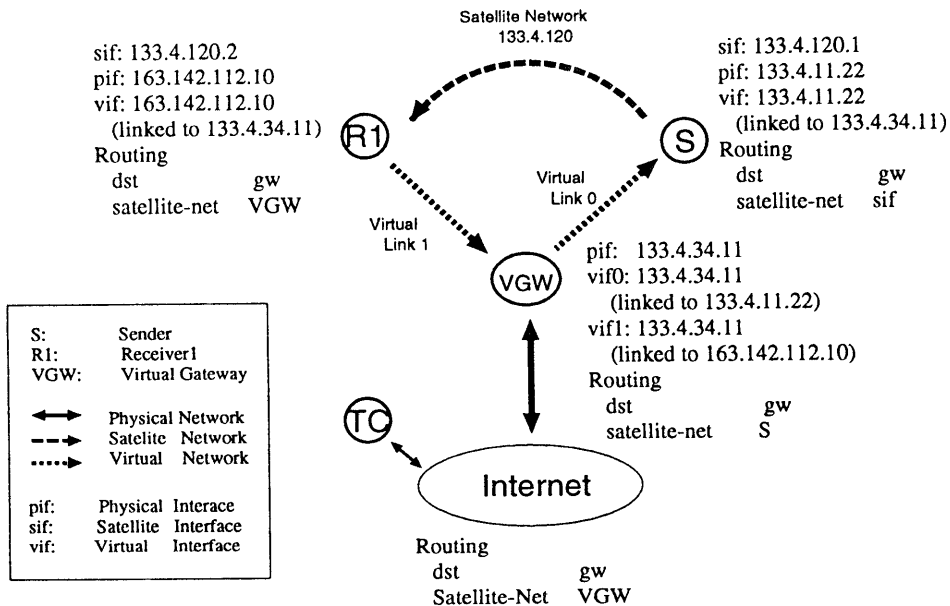


図 4: 疑似多対多型経路制御

## 6 実装

以上のような設計方針と衛星通信環境のもとで次のような実装を行い、動的なトポロジの制御システムを構築した。

### 6.1 実装環境

IDU に接続する計算機として、Sun ワークステーションに高速シリアルインターフェース HSI を搭載したものをを用いて 2Mbps で接続した。HSI 用ソフトウェアとして新たにデバイスドライバを開発した。このデバイスドライバは、既存の Sunlink/IR の ptp デバイスドライバのようなポイントツーポイント型の接続に基づくデータリンクアーキテクチャのみを想定するのではなく、衛星ネットワークのようなブロードキャスト型の接続を可能に配慮したものである [4]。

### 6.2 計算機による IDU の操作

送信の有無、送受信の周波数に関する設定は IDU を操作することによって行う。これにより、通信の対象や数を自由に選択することが可能となり自由なネットワークトポロジの構築が可能

となる。

IDU はデータ転送に要するシリアルインターフェースとは別に、制御信号用のシリアルインターフェースを持っている。このシリアルインターフェースを用いて計算機から IDU の操作を操作するライブラリ、プログラムの作成を行った (図 5)。

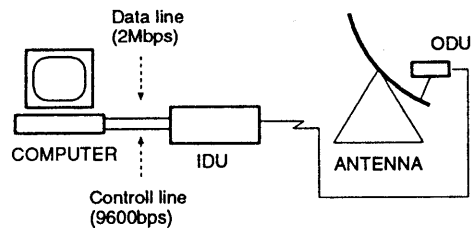


図 5: IDU 制御環境

### 6.3 トポロジ制御に関する実装

IDU と計算機の制御用の接続はシリアルインターフェースにより接続されるため、1 台の計算機で地理的に離れた地点にある IDU を複数制御することは不可能である。そのために各地球局において地上インターネットに接続した計

算機 (IDU 制御計算機) と IDU を接続し、IDU 制御用サーバプログラムをそれぞれ起動する。

さらに別の計算機 (トポロジ制御計算機) において、これらの全ての IDU 制御プログラムを、地上インターネット上で TCP を用いて制御するクライアントプログラムを起動する。

これにより衛星ネットワークのトポロジを最終的に 1 箇所において集中管理することが可能となる (図 6)。

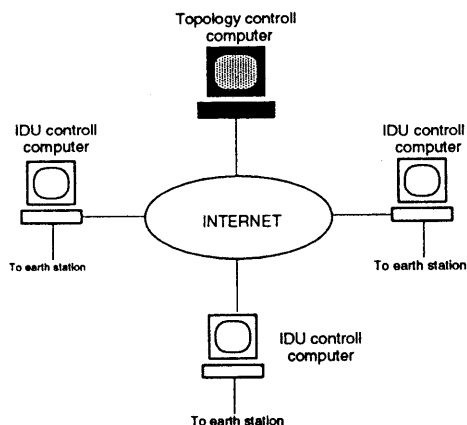


図 6: トポロジ制御環境

## 6.4 仮想ネットワークに関する実装

仮想ネットワークの構築には、仮想ネットワークインターフェースを形でトンネリング機能を提供する DDT を利用した [5]。これは IP within IP (ipproto=94) プロトコルを用いて、IP over IP を実現するものである。

## 7 評価

### 7.1 多対多型接続

WISH のネットワーク環境では、衛星通信地球局が日本全国 6 地点に 7 局設置されている。このうち日本サテライトシステムズ横浜衛星管制センター (YSCC) と慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) にある 2 つの地球局に (1 対多) × 多型の環境を構築した (図 4)。通信データの送受信と IDU 制御は同一の計算機によって行い、2 つのシリアルインターフェースをそれぞれ IDU へ接続した。また、トポロジ制御の計算

```
% ping 133.4.120.1
PING 133.4.120.1 (133.4.120.1):
icmp_seq=10 time=4.142 ms
icmp_seq=11 time=4.307 ms
<送信者変更>
icmp_seq=12 time=339.609 ms
icmp_seq=13 time=421.229 ms
...
icmp_seq=57 time=4.793 ms
icmp_seq=58 time=3.877 ms
<送信者変更>
icmp_seq=60 time=292.877 ms
^C
--- 133.4.120.1 ping statistics ---
65 packets transmitted,
54 packets received,
16% packet loss
round-trip min/avg/max
= 3.748/117.971/421.229 ms
```

図 7: トポロジ変更の様子

機は YSCC、SFC 双方の計算機の位置するネットワークとは別のネットワークに接続した。

送信者の切替えに要する動作は次のようになる。

- トポロジ制御計算機 (TC) が、現在の送信局の計算機 (S) へ通信衛星への送信の停止の要求を出す
- (S) は通信衛星への送信を停止し、衛星ネットワークへの経路を VGW へ向ける
- (S) による送信の停止が確認されると、(TC) は次の送信局計算機 (R1) へ送信開始の要求を出す
- (R1) は送信を開始し、衛星ネットワークへの経路を自分の衛星側インターフェースへ向ける

衛星ネットワークとは無関係な計算機から衛星ネットワークの送信者、受信者へそれぞれ 64 バイトの ICMP エコー要求を送り続けながら、約 10 秒間隔で衛星ネットワークの送信者を切替えることを行った。この時のシーケンス番号と RTT 時間の変化を図 7 に示す。

また、IP マルチキャストによる通信を衛星ネットワークに対して行った。衛星ネットワークインターフェースはブロードキャスト型の接続が可能であるため、送信局ホストから受信局ホストへの通信にはマルチキャストトンネリン

グを行う必要がない。また、送信局の切替えについても特に問題が生ずることとなる通信が行えた。

## 7.2 トポロジ変更までの所用時間

次に送信者切替えに要する時間を計測した。送信局切替えに要する時間は、IDU 制御についての時間 (IDU 内での処理時間、IDU 制御計算機との通信時間) を一定とすると (ただし、IDU 制御 2 台分必要)、TC-S 間、TC-R1 間の RTT に左右される。そこで、トポロジ制御計算機から各 IDU 制御計算機間の通信状況からトポロジ変更に必要な時間を計測し、RTT と合わせて表 1 に示す。

表 1: 送信者切替所要時間

IDU 処理	TC-S 間	TC-R1 間	切替所要
419 ms	3 ms	110 ms	1450 ms

表 1 の切替所要時間には、TC-S、TC-R1 間の通信のオーバーヘッドなどが含まれている。この間の RTT が大きな衛星局間において同様な送信者切替えを行った場合にはより多くの所要時間が費される。特に本実装では TCP によりトポロジ制御の通信を行っているため、3 ウェイハンドシェイクなど通信のオーバーヘッドも大きい。

## 8 まとめ

本研究では通信の利用形態とトポロジについてまとめ、これまでの地上ネットワーク上では実現出来なかった動的トポロジ形成の仕組みを衛星ネットワーク上で築くことが出来た。これにより通信形態や目的などの要求に応じてネットワークトポロジの管理・制御をすることが可能となった。

しかし、本実装の評価では、2 つの地球局間での送信者切替えについてのみを行った。疑似多対多型環境の構築を目的とするには、より大規模な局数についても評価を行っていく必要がある。

また、本稿における設計のもっとも基本的な方針として形成する衛星ネットワークを 1 つに限定をした。しかし、並行して複数の衛星ネットワークトポロジの形成、変更を行うことでよ

り効率的な利用につながる。さらに、その目的や用途に応じて周波数帯域を設定する点についても考慮し発展させていく。

トポロジ制御における経路の問題としては、トンネリングによる仮想ネットワークの機構を採用しインターネットに対する経路情報の変更を行わないようにした。しかし、これにより衛星ネットワークへの通信は必ず仮想ゲートウェイを通過しなければならない、広域な衛星ネットワークを構築した場合に大きな遅延を生じさせることとなり、改善をはかるべき問題の一つである。

なお、本研究は「デジタル衛星通信の大学間高度共同利用研究協議会」の実験可搬局免許のもとに行われている。同協議会および (株) 日本サテライトシステムズに対し感謝する。

## 参考文献

- [1] 村井 純、水野 勝成、三谷和史、加藤朗、山口英、石田慶樹: 「衛星ネットワーク統合したインターネット—WISH—」、情報処理学会第 49 回全国大会、1994 年 9 月
- [2] 竹井 淳、泉山 英孝、村井 純、楠本 博之、登坂 章弘、望月 祐洋: 「WISH 衛星ネットワークの性能評価」、情報処理学会第 49 回全国大会、1994 年 9 月
- [3] 西田 佳史、峯尾 淳一、寺岡 文男、中村 修、村井 純: 「WISH におけるインターネットトラフィックの解析」、情報処理学会第 49 回全国大会、1994 年 9 月
- [4] 西田 佳史、中村 修、楠本 博之、村井 純: 「衛星通信を利用した放送型ネットワークに関する研究」、情報処理学会オペレーティングシステム研究会、1995 年 6 月
- [5] Noritoshi Demizu and Suguru Yamaguchi: “DDT — A Versatile Tunneling Technology”, *Computer Network and ISDN Systems*, Dec 1994.