

衛星通信を利用した 放送型ネットワークに関する研究

西田佳史 中村修 楠本博之 村井純
慶應義塾大学

1995年6月

衛星ネットワークは、地理的普遍性や同報性などの特徴を持ち、放送型の情報伝達手段として、効率的な知識や情報の共有への応用が期待されている。WISH(WIDE Internet with Satellite Harmonization)プロジェクトでは、衛星ネットワークと従来の地上網の融合を図り、新しい通信環境基盤の構築実験を行っている。本論文では、WISHプロジェクトの一段階として、衛星網におけるデータリンクアーキテクチャの考察を行った。また新しいデータリングアーキテクチャをオペレーティングシステム内に実装し、実際に実験ネットワークを構築して性能の評価を行った。

A Broadcasting Network Architecture for Satellite Communication

Yoshifumi Nishida Osamu Nakamura Hiroyuki Kusumoto Jun Murai
Keio University

The satellite network has the characteristics of geographic impartiality and broadcasting ability, and is expected to play an important role in the effective sharing of knowledge and information as a broadcasting information communication scheme. WISH(WIDE Internet with Satellite Harmonization) project has continued research to harmonize the satellite network with today's land-networks in order to construct new communication infrastructure. In this paper, we investigate the datalink architecture for satellite network, as one step of WISH project researching. We also implemented the new datalink architecture into the operating system, then constructed and evaluated an experimental network that uses the new architecture.

1 背景

インターネットの発展に伴い、複数のノードにデータを送信する放送型の情報伝達手段として、インターネットを利用する要求が高まっている。これらの例として、WWWの利用による情報の共有や、nv(NetVideo)、VAT(Visual Audio Tool)といった会議システムを挙げることができる。このようなシステムの情報伝達には一対一型の通信形態よりも放送型の通信形態の方が適している。

衛星通信は、同報性や地理的普遍性などの特徴を持ち、このような放送型システムの実現の解決策となることが期待できる。

WISHプロジェクトでは、衛星ネットワークと従来の地上網を融合し、インターネットの新たな課題の解決を目的とし、通信環境の構築実験を行っている [1]。

本論文では、WISHプロジェクトの一段階として、衛星通信への応用を目的としたデータリンクアーキテクチャの設計と実装を行った。

2 衛星通信のアーキテクチャ

2.1 地球局設備

現在、衛星通信の受信設備として普及しているものは、超小型地球局 VSAT (Very Small Aperture Terminal) である。VSAT の構成は、図 1 のようにアンテナと屋外装置 (ODU: Out-Door Unit) 及び屋内装置 (IDU: In-Door UNIT) で構成される。ワークステーションと VSAT を接続する場合、ワークステーションのシリアルインターフェースを IDU に接続する。

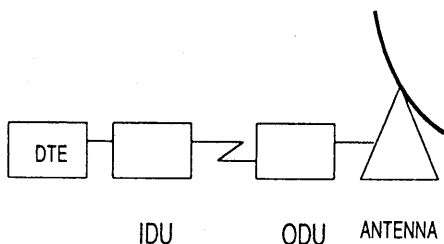


図 1: VSAT の構成

VSAT では、データの送信局の送信チャンネルと受信局の受信チャンネルを合致させることで通信を行なう。チャンネルは、電波を衛星に送信するアップリンクの周波数と、衛星からの

電波を受信するダウンリンクの周波数の組を表している。2つの地球局が同時に同一チャンネルで同一出力の送信を行なった場合、衝突が起これりデータを正しく受信することができない。

このため、双方向の衛星通信を行なうためには 2 つ以上のチャンネルが必要となる。

2.2 データリンクアーキテクチャ

衛星通信のパケット網での利用に関する研究は、ARPANET の時代から行われており、ALOHA などのように一つの帯域を複数のノードで共有するアーキテクチャも研究されてきた。

しかし、現在の衛星通信のデータリンクアーキテクチャは、前節で述べた VSAT を利用し、ポイントツーポイントの接続に基づいている。ポイントツーポイントに基づいたトポロジは、例えば 3 対 3 のコミュニケーションを行なう場合、図 2 のようになる。このトポロジでは、 n 局でネットワークを構成する場合、 $n(n-1)$ のチャンネルが必要になる。

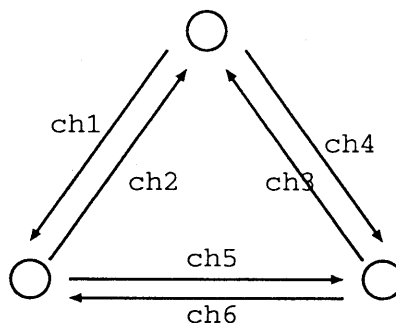


図 2: ポイントツーポイントに基づいたトポロジ

衛星通信の同報性を利用するためには、データリンクのアーキテクチャは、ポイントツーポイントの接続ではなく、ブロードキャストやマルチキャストの接続に基づくべきである。ブロードキャストに基づくトポロジは、図 3 の様な構成となる。この構成では、全ての局が同じチャンネルで送受信を行なっている。しかし、前述のように同一チャンネルで電波を出力すると衝突が生じ、データを正しく受信することができない。このため各局の送信を管理する機構が必要になるが、現在までのところ、VSAT などの制約のためこの機構は実現できていない。

本論文ではこの前段階として、データリンク

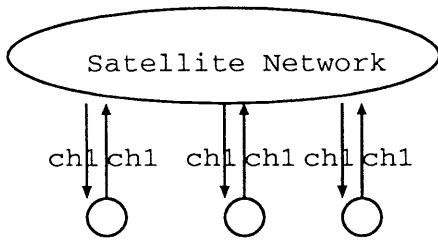


図 3: ブロードキャストに基づいたトポロジ

アーキテクチャに受信可能、送信可能という状態を新たに加えた。これにより、図 4 のような構成の実現を図った。

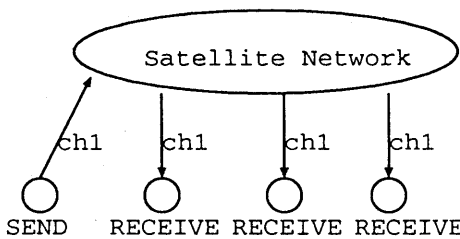


図 4: 送信可能、受信可能状態を加えたトポロジ

2.3 オペレーティングシステム

IDU に接続するワークステーションのオペレーティングシステムの例として、ネットワーク機能を持つ BSD UNIX をあげることができる。BSD UNIX のネットワークサブシステムは、図 5 のように論理的な 3 つの階層を持っている。

最上位の層は、トランスポート層と呼ばれ、ソケット間の通信のためのアドレス体系と信頼性の高いデータ転送のためのプロトコル機構を提供する。第 2 の層は、ネットワーク層と呼ばれ、エンドツーエンドのデータ転送のプロトコル機構を提供する。最下位の層は、ネットワークインターフェース層と呼ばれ、共通の伝送媒体で結合されているホスト間のデータ転送に責任を持つ。このようなモジュール化された構造により、様々な特性を持つ通信媒体は、ネットワークインターフェース層で吸収され、上位の層が通信媒体を意識せずに通信を行なうことが可能になっている。BSD UNIX では、ネットワークインターフェース層のシステムを、デバイス

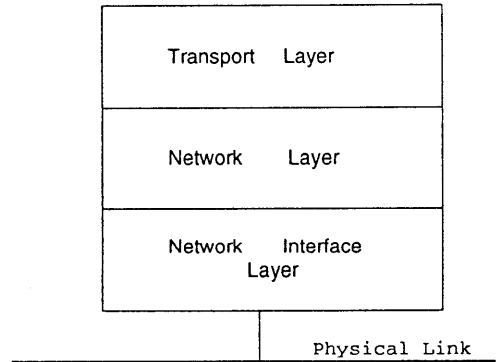


図 5: BSD UNIX のネットワークサブシステムの構造

ドライバの形で実現している。

BSD UNIX をベースとした SunOS と SUNLINK/IR などの既存のソフトウェアを利用し、衛星リンクへアクセスする場合、ネットワークインターフェース層は 2 つのネットワークインターフェースモジュールに分割される。下位の高速シリアルインターフェースモジュールは、上位のデータを HDLC フォーマットに変換して、シリアルリンクにデータを転送する。上位のモジュールは、SUNLINK/IR の ptp デバイスドライバを使用し、シリアルリンク間のデータ転送の管理を行なっている。

ptp デバイスドライバは、専用回線での利用を想定したデバイスドライバであり、ポイントツーポイント型の接続に基づいたデータリンクアーキテクチャを提供する。

そこで ptp に代わるデバイスドライバの開発を行い、ブロードキャスト型の接続に基づくデータリンクアーキテクチャの実現を図った。

2.4 衛星通信に適したデバイスドライバに対する要求

衛星通信に適したデバイスドライバは、次のような要求を満たさなければならない。

- ブロードキャスト型のアドレス機構

衛星回線で接続された各ノードへ通信を行なうためには、データリンク層でブロードキャスト型、マルチキャスト型のアドレス機構を用意する必要がある。デバイスドライバは、このデータリンク層のアドレスを解釈し、適切なデータの配送を行なうことができる。

- 受信可能、送信可能の状態の付加
データリンクの状態を調べ、送信可能な状態のときにデータの送信を行ない、受信可能な状態のときに受信を行なう。
- マルチプロトコル
OSIやTCP/IP、XNSなどの複数の上位プロトコルのデータを共存させることができ、一つの衛星網を複数のネットワークアーキテクチャで利用できる。
- 転送能力の問題
データの処理に時間がかかりすぎると、衛星回線の転送能力を十分に発揮することができない。デバイスドライバでの処理は複雑すぎてはならない。

2.5 設計と実装

これらの要求を踏まえて、以下のような衛星通信用のデバイスドライバを設計、実装した。

2.5.1 パケットフォーマット

ブロードキャスト及びマルチキャストをサポートしたデータリンクアーキテクチャを実現するためには、ブロードキャスト、マルチキャストのアドレスを取り扱うことができなければならない。

また複数のプロトコルスタックを同時に取り扱える柔軟な設計であることが望ましい。このようなことから、データリンク層のパケットフォーマットとして、上述のような特徴を持つ Ethernet のフォーマットを採用した。

図 6 にこのパケットフォーマットを示す。

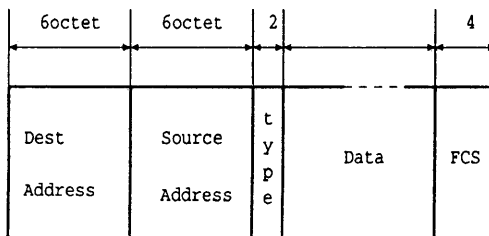


図 6: パケットフォーマット

2.5.2 ネットワークインターフェースの実装

BSD UNIX では、ネットワークインターフェースの状態は、ifnet 構造体内の if_flags によ

て保持されている。if_flags の持つ値には、いくつかの種類があり、IF_UP はネットワークインターフェースが動作可能であることを示し、IF_RUNNING はデータ転送が可能であることを示す。

このことから衛星データリンクが送信可能状態にあるときは、ネットワークインターフェースの状態を IF_RUNNING に、受信可能状態にあるときは、IF_UP に設定するようにした。これにより、データリンクアーキテクチャに新しい状態を付加することができた。

3 評価

3.1 実験環境

図 7 に実際に構築した衛星ネットワークを示す。本ネットワークは、(株)日本サテライトシステムズの JCSAT1 号衛星を利用している。地球局としては、同社の横浜管制センター、奈良先端技術大学院大学、慶應義塾大学、九州大学の 4 つの地点にそれぞれ、1.8m φ のアンテナを設置し、送信電力 2W で通信を行なった。これまでの実験により構成でデータリンクレベルで 2Mbps の転送速度が得られることが確認できている [2]。各地球局には、作成したデバイスドライバを組み込んだ SUN ワークステーションが接続されている。各ワークステーションは、衛星リンクに加えてインターネットにも接続されており、地上網を用いた通信も行なうことができる。

各地球局の衛星リンクのアドレスには、クラス B アドレス 133.4.120.1 から 133.4.120.4 のアドレスを割り当てた。

また、送達確認をインターネットを経由して送信するために、各受信局は送信局のアドレスのルーティングをインターネット側に向かうように設定した。

3.2 マルチキャスト通信の実験

マルチキャストの通信の実験として、サブネット内のマルチキャストを表す 224.0.0.1 のアドレスを用いて、SFC から ICMP エコー要求を送信する実験を行なった。図 8 をみると、3ヶ所から返答があることが確認できる。この実験により、作成したデバイスドライバがマルチキャストのアドレスを解釈し、衛星回線上で同報型の通信が可能になったことを確認できた。

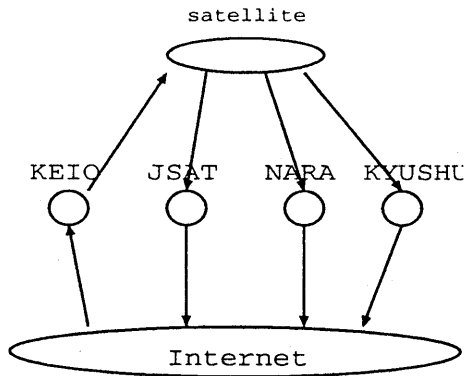


図 7: 実験環境

```

% ping 224.0.0.1
PING 224.0.0.1 (224.0.0.1): 56 data bytes
64 bytes from 133.4.120.4 icmp' seq=0 time=272 ms
64 bytes from 133.4.120.2 icmp' seq=0 time=402 ms
64 bytes from 133.4.120.3 icmp' seq=0 time=453 ms
64 bytes from 133.4.120.4 icmp' seq=1 time=271 ms
64 bytes from 133.4.120.2 icmp' seq=1 time=370 ms
64 bytes from 133.4.120.3 icmp' seq=1 time=443 ms
64 bytes from 133.4.120.4 icmp' seq=2 time=283 ms
64 bytes from 133.4.120.2 icmp' seq=2 time=381 ms
64 bytes from 133.4.120.3 icmp' seq=2 time=503 ms
64 bytes from 133.4.120.4 icmp' seq=3 time=271 ms
64 bytes from 133.4.120.2 icmp' seq=3 time=371 ms
64 bytes from 133.4.120.3 icmp' seq=3 time=423 ms
  
```

図 8: マルチキャスト通信の実験

3.3 デバイスドライバの性能測定

デバイスドライバの性能を測定するために、2 台のワークステーションをクロスケーブルで接続し、2MHz のクロックで通信を行なった。図 9 に従来の ptp デバイスドライバで通信を行なった場合と、今回作成したデバイスドライバを用いた場合のデータ転送の測定結果を示す。横軸は転送するデータのサイズを示し、縦軸は転送に要した時間を示している。データ送信には、信頼性の高い通信プロトコルである TCP を使用した。図より 2 つのデバイスドライバの性能はほぼ等しいことと、2MHz の帯域の 94% 程度利用できていることがわかる。

3.4 衛星リンクの性能測定

3.4.1 TCP の転送性能

図 10 に衛星回線を介して TCP でファイル転送を行なった結果を示す。横軸は転送するデータのサイズを示し、縦軸は転送に要した時間を

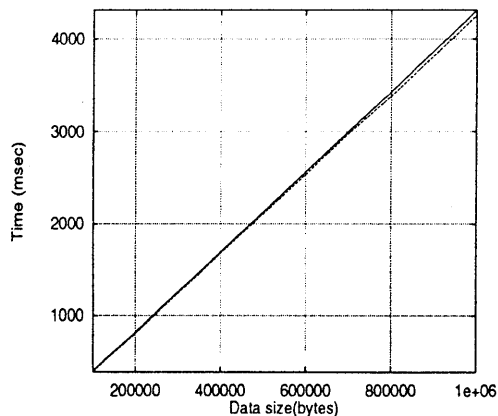


図 9: クロスケーブルを用いた性能測定

示している。グラフより衛星通信を介した場合、約 400Kbps の性能が得られていることがわかる。これは現在の衛星通信の 2Mbps の帯域の約 20% に相当する量であるが、これは、TCP が送達確認を利用することが原因である [3]。

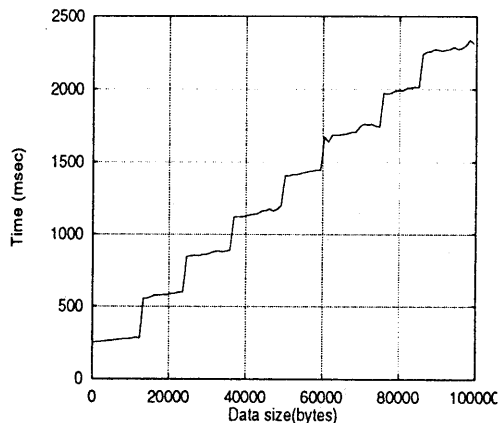


図 10: 衛星リンクの TCP の性能

3.4.2 UDP の転送性能

図 11 に衛星回線を介して UDP でファイル転送を行なった結果を示す。横軸は転送するデータのサイズを示し、縦軸は転送に要した時間を示している。グラフより、UDP の転送速度は約 1.8Mbps 程度であることがわかる。UDP は送達確認を行わないプロトコルのため帯域を有効に利用できている。これまでの実験により衛星回線の信頼性は高いことがわかっており、[2]

今回の実験でもデータリンクレベルでのパケットロスはみられなかった。

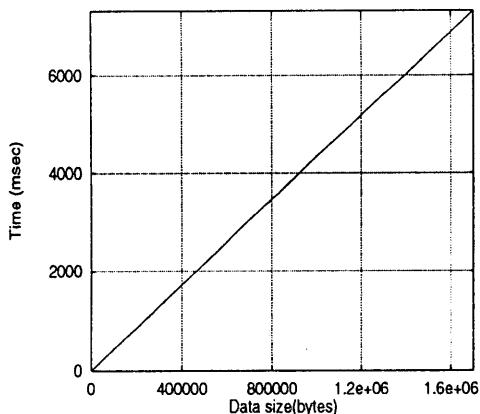


図 11: 衛星リンクの UDP の性能

3.5 考察

これらの実験の結果より、新しいデバイスドライバは、マルチキャストアドレスを正しく解釈し、同報型の通信を行なうことができることが確認できた。また、ptp デバイスドライバと比較し、性能の劣化はほとんどみられなかった。

4 まとめ及び今後の課題

今回作成したデバイスドライバにより、衛星回線を利用し同報型の通信を行うことが可能になった。デバイスドライバの設計は簡潔で、データリンクプロトコルの処理によるオーバーヘッドが少なく、ptp デバイスを利用した場合と同程度の性能を実現することができた。今後の課題としては、以下のようなものがあげられる。

4.1 同時発信の制御

衛星通信では、送信すべきデータの有無に関わらずに電波が発信される。このため、データ送信する局だけが電波を送信し、その間他の局は送信を停止しなければならない。今回の実験では、この制御を各地のオペレータが連絡をとりながら行っていた。

この方式は、送信局が固定された、TV の放送局のような通信システムに適用することは可能であるが、送信局が動的に変化する場合、オペレータ間の連絡が複雑になり制御することが

難しい。このような課題に対応するために、現在ワークステーションから地球局を制御するアプリケーションを開発している。

4.2 BSD/OS2.0 への移植

今回作成したデバイスドライバは、SunOS 4.1.3 及び 4.1.4 用が開発された。現在、このデバイスドライバの BSD/OS2.0 版の開発を進めている。我々は BSD/OS2.0 のソースコードライセンスを取得しており、アーキテクチャの詳細を理解し変更を加えることができる。

4.3 ルーティングの問題

衛星回線は、本来一方向のリンクである。インターネットのルーティングは双方向のリンクを前提としている。今回の実験では地上網との組み合わせにより双方向のリンクを実現したが、より有効な衛星回線の活用のために、一方向のリンクを前提としたルーティングプロトコルやアプリケーションの検討を始めている。

5 謝辞

本研究はデジタル衛星の高度共同利用研究協議会の実験局免許のもとに行われた。同研究会及び株式会社日本サテライトシステムズの協力に対し深謝する。

参考文献

- [1] 村井 純、水野 勝成、三谷 和史、加藤 明、山口 英、石田 慶樹: 「衛星ネットワークを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
- [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
- [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