1998年度 卒業論文

IEEE1394ホームネットワークでのインターネット利用環境

慶應義塾大学 環境情報学部4年
学籍番号 :79690145
徳田・村井・楠本・中村研究室
瀬島 一海

1999年2月

概要

本論文では，IEEE1394 を用いたホームネットワークでのインターネット利用環境について述べる。

近年，IEEE1394 が家庭内のネットワークを構築する技術として注目されている。IEEE1394 を用いて，家庭内の計算機や AV 機器を接続し操作，情報共有をすると言ったことが実現している。また，職場や研究所だけでなく家庭でもインターネットが利用できる。

しかし，現在家庭内でインターネットに接続されている機器は，IP による通信が可能な計算機がほとんどである。IEEE1394 のインタフェースを持つ AV 機器でインターネット上の動画像や音声データを取得，閲覧することは，IP による通信ができない現状の AV 機器では実現できない。

本研究では，IP による通信が可能な計算機からインターネット上のサーバにアクセスし，そこから送られてくるデータをホームゲートウェイを介して IEEE1394 に接続された機器に送信する機構の設計と実装を行った。また，ホームネットワークは計算機のように IP による通信が可能な機器と，AV 機器のように IP による通信ができないものが混在して構成されていることを想定している。計算機が AV 機器を制御するコントローラとなり，ホームゲートウェイをプロクシとして利用し，AV 機器がインターネット上のサーバと通信する。

本機構によって，インターネット上のデータをホームゲートウェイを介して，ホームネットワークに接続されている，IEEE1394 インタフェースを持つ機器で取得，閲覧することが可能となった。

本システムは計算機上に実装し，その上で処理にかかる時間を計測し定量的評価を行った。また他の関連研究との定性的評価を行い，本システムは計算機と AV 機器が混在するホームネットワークで，インターネット上のデータを扱えることを示した。

慶應義塾大学 環境情報学部
瀬島 一海

Abstract

In this thesis, we describe the environment using the Internet in Home-network using IEEE1394.

IEEE1394 has been drawing attention as means to build a network within the house. Plans of connecting and sharing information between home computers and Audio Visual devices(AV devices) using IEEE1394 are already realized. People can use the Internet, not only from work and laboratories, but also from home.

The most current types connected to the Internet are the IP reachable computers. Bearing in mind the troubles of getting and viewing movie or audio data by AV devices with an IEEE1394 interface, it can not be realized. It is required for IP unreachable machine to get and view data on the Internet.

In this research, we hold a design and implementation the system which accesses the server on the Internet by IP reachable machine, and send the data from there to machine which is connected to IEEE1394 through home-gateway. The Home-network is presumed to consist of IP reachable machine like computer and IP unreachable machine like AV device. The computer becomes the controller for AV device and uses home-gateway as a proxy, and AV devices talk to the server on the Internet.

This system enabled to get and view data on the Internet by AV devices connected to Home-network.

This system was implemented on the computers, and quantitative evaluations was conducted, based on the time taken for the process. More over by doing qualitative evaluation with other related researches, this system showed that it was this system that data on the Internet could be handled under the Home-network environment connected computers and AV devices.

Faculty of Environmental Information, Keio University

Kazumi Sejima

目 次

図 目 次

表 目 次

第 1 章

はじめに

1.1 背景

近年，家庭内にホームネットワークが構築，利用されるようになりつつある。ホームネットワークに家庭内の様々な家電製品を接続し，それらを管理し，それらが持つ情報を互いに利用する。ホームネットワークには，制御や管理を中心に考えられているものと，マルチメディアデータを各機器で共有するという2種類の考え方がある。制御系のホームネットワークでは，インターネットを介してホームネットワーク内の家電製品を制御したり，情報を取得し利用するということが実現している。

一方，データ共有系のホームネットワークが発展しつつある理由としては，AV(Audio Visual)機器のデジタル化が挙げられる。アナログであるVHSに対してDV(Digital Video)，カセットテープに対してMD(Mini Disk)，そしてテレビ番組放送もデジタル化が進んでいる。デジタルAV機器と計算機とを接続し，それぞれの情報を共有するということが実現している。

このようなホームネットワークを構築する技術の一つとして，IEEE1394が注目されている。IEEE1394は，主にAV機器同士やAV機器と計算機を接続するインタフェースとして扱われる。IEEE1394は他のメディアに比べ通信帯域が広く，ホームネットワークのバックボーンとしての利用も考えられる。

また，職場や研究所だけでなく家庭からもインターネットの利用が実現している。家庭内の計算機からモデムを介してインターネットに接続し，WWWを閲覧し電子メールを利用することが普及している。そして，ネットワーク上を流れるデータも，以前はテキストが中心であったが，ネットワークの高速化により画像や音声，動画像データが増えてきている。現在，家庭の計算機がインターネットに常時接続されているという状況は少ないが，今後そのような環境が構築されていくことが考えられる。

しかし，このような状況でインターネットとホームネットワークの親和性は低い。IEEE1394を用いたホームネットワークは家庭内という限られた環境下では実現されているが，インターネットとの接続性は考慮されていない。例えば，家庭内の計算機から，IEEE1394で相互に接続されたDVを操作し，DVから出力されるデータを計算機のディスプレイで表示することは可能である。しかし，IPによる通信ができない現状のAV機器では，インター

ネット上の情報を閲覧，保存することは困難である。そのため，インターネットから送信されてくるIPデータグラムをIEEE1394パケットに変換する機構が必要となる。しかし，現在そのような機構は実現されていない。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は，IPによる通信ができないIEEE1394のインタフェースを持つAV機器で，インターネット上の情報を取得することである。それを実現するため，インターネット上で送信されるデータをIEEE1394パケットに変換して，AV機器に送信する機構の設計と実装を行った。本システムによって，計算機を中心に扱われていたインターネット上の様々な情報を，IPによる通信ができないAV機器でも取得，保存することが可能となる。

1.3 本論文の構成

第2章では，ホームネットワーク環境全般について述べる。IEEE1394以外のホームネットワーク環境を構築する技術について紹介し，それらの問題点について述べる。また，本研究で利用するIEEE1394の概要と特徴について述べる。第3章では，本研究で設計，実装したシステムの概要について述べる。そして，関連研究としてIP over IEEE1394，IEEE1394 over IP，NATとIP masqueradeの概要と仕組みについて述べる。第4章では，本システムの設計について述べ，第5章で実装方法について述べる。第6章では，本システムの性能に関する定量的評価と，第3章で紹介した関連研究との定性的評価を行う。第7章で本論文の結論を述べ，本研究の今後の課題を挙げる。

第 2 章

ホームネットワーク環境とIEEE1394の現状と問題点

本章では，ホームネットワーク環境の現状について述べる。はじめにホームネットワークを構築する様々な技術の概要と問題点について述べる。そして本研究で想定するホームネットワークの通信メディアであるIEEE1394について説明する。また，IEEE1394を用いて設計された，HAVi[1]とHWW[2]について述べる。

2.1　ホームネットワーク環境

ホームネットワーク環境を構築する技術がいくつか提案されている。これらの概要と問題点について述べる。

2.1.1　HomePNA

概要

HomePNA(The Home Phoneline Networking Alliance)[3]は，電話線を利用したホームネットワークの構築を提案している。現状では，電話線を使った1Mbpsのデータ通信が規格化されているが，将来10Mbps以上のデータ転送を実現する提案も行われている。

本方式の利点は，通信メディアとして電話線を想定している点である。電話線を利用することによって，既設の電話線ジャックを用いた機器間接続が可能となり，新規の配線コストを抑制できる。

またHomePNAは，ホームネットワークのバックボーンを構築し，USBやIEEE1394などのデバイスを補助するものとして位置付けられている。

問題点

家庭内にすでに敷設されている電話線の利用は，コストや接続の容易さという点で優れており，インターネットとの接続性もあるが，大容量のデータ転送に適さない。テキストデータを中心に扱う場合は，10Mbps 程度の通信帯域でも十分である。しかし複数の大容量のデータ転送が要求された場合，ネットワークトラフィックが増えるため，ホームネットワークのバックボーンとしての利用には適していない。

2.1.2 HomeRF

概要

HomeRF[4] は，周波数帯 2.4GHz の ISM(Instrument Scientific and Medical) バンドの無線を使用する SWAP(Shared Wireless Access Protocol) システムを利用した，ホームネットワークの構築を提案している。通信帯域は，2FSK(Frequency Shift Keying) 変調時に 1Mbps，4FSK 変調時に 2Mbps である。

有線ではなく無線を基盤として利用するため，可搬性のある家電製品のホームネットワークへの接続に適しており，新たに配線を行う必要もない。また，1 つのネットワークに 127 ものノードを接続できる。

HomeRF は，インターネットとの接続性も考慮されている。家庭内やその周辺から可搬型計算機と HomeRF を使ってホームネットワークからインターネットを利用できる。

問題点

HomePNA と同様に，ホームネットワークのバックボーンとして利用するには通信帯域が狭い。家庭内に複数の計算機がある場合，HomeRF を使って複数の計算機同士でデータ共有ができる。しかし，1Mbps もしくは 2Mbps という通信帯域は，動画像データのような情報量が多いデータの送受信には不十分である。また，最大 127 ノードの接続が可能であるが，接続されている機器が増えるほど機器 1 つに割り当てられる帯域が狭くなるため，さらにデータ転送量が落ちる。

2.1.3 Open PLANET

概要

Open PLANET[5] は，電力線，もしくはツイストペア線を用いたホームネットワークの構築を提案している。通信帯域は電力線で 10Kbps，ツイストペア線で 1.2Mbps である。

電力線を利用するため，電力線が敷設されている家庭であれば利用できる。現在，電力線はほとんどの家庭に供給されているため，敷設のコストがかからない。センサや機器のようなノードには，データ通信や入出力のコントロールを提供する Neuron チップを内蔵する。

Open PLANET は，インターネットを介してノード管理を行うことを目的としており，Java の実行環境を備えたブラウザを利用して，あらゆる電気機器を制御することができる。

問題点

このシステムは，電気機器の遠隔制御，管理を目的としている。電気機器の機器情報を，データ量の小さいプログラムを使って操作できる。そのため，10Kbps という狭い帯域の電力線でも通信が可能である。しかし一度に大量の機器の制御を行う場合，帯域が飽和してしまうことが考えられる。また，動画像データのように情報量が多いデータを送信するには，10Kbps の通信帯域は十分でない。

2.2 IEEE1394

前節で述べたホームネットワークを構築する技術は敷設が容易であるが，通信帯域の狭さが問題点である。本節では，本研究で想定するホームネットワークを構築する技術である IEEE1394 について述べる。

2.2.1 概要

IEEE1394[6] は高速なデータ転送が可能なシリアルバスで，1995 年に”IEEE Std.1394-1995 IEEE Standard for a High Performance Serial Bus” として発表された。IEEE1394 には様々な特徴があるが，最も注目される機能としてアイソクロノス (Isochronous) 転送が挙げられる。アイソクロノス転送は，動画像データや音声データのように実時間性が要求されるデータの転送に適した方式である。この方式は，計算機と AV 機器を相互に接続したシステムとして利用することが考えられる。計算機と AV 機器との統合システムを図 2.1 に示す。IEEE1394 規格のアイソクロノス転送は，コンピュータ業界だけでなく，AV 機器業界からも評価されている。

2.2.2 特徴

IEEE1394 には，以下に示す 5 つの特徴がある。

- コネクタとケーブル
- 転送速度
- 転送方式
- 転送距離と接続トポロジ
- 活線挿抜のサポートと ID の自動設定

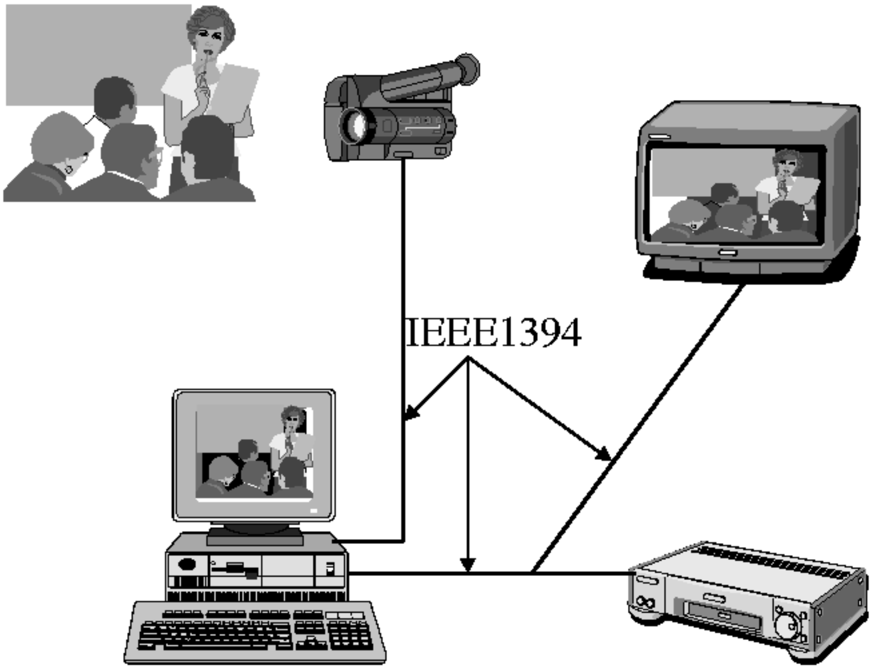


図 2.1: AV 機器と計算機の統合システム

IEEE1394 シリアルバスはネットワークとしての性格を持っており，その規格は計算機のネットワークの規格である IEEE802 で使用されている，トランザクションレイヤやリンクレイヤ，物理レイヤなどのレイヤ構造を基に規定されている。しかし，当初ハードディスクなどを接続するための規格とされていた経緯で SCSI(Small Computer System Interface) と比較される。SCSI との比較を行いながら，以下でその特徴について述べる。

コネクタとケーブル

IEEE1394 規格の 6 ピンのコネクタの大きさは，おおよそ 13.7×8.5×14.5mm である。またこの規格には 4 ピンコネクタというさらに小さい規格もある。一方 SCSI のコネクタは，おおよそ 82.8×8.89×13.9mm である。IEEE1394 のコネクタと SCSI のコネクタの比較を図 2.2 に示す。

ケーブルの電線の数は，SCSI が標準で 50 本であるのに対して，IEEE1394 は 4 本の信号線と 2 本の電源線の計 6 本である。従って，ケーブル自体が細く，配線が容易である。また，P1394b Draft Standard for a High Performance Serial Bus[8] では，プラスチック光ファイバとハードポリマ・クラッド・ファイバの使用に関する規格や，カテゴリ 5 の UTP ケーブルの使用に関する規格が進められている。

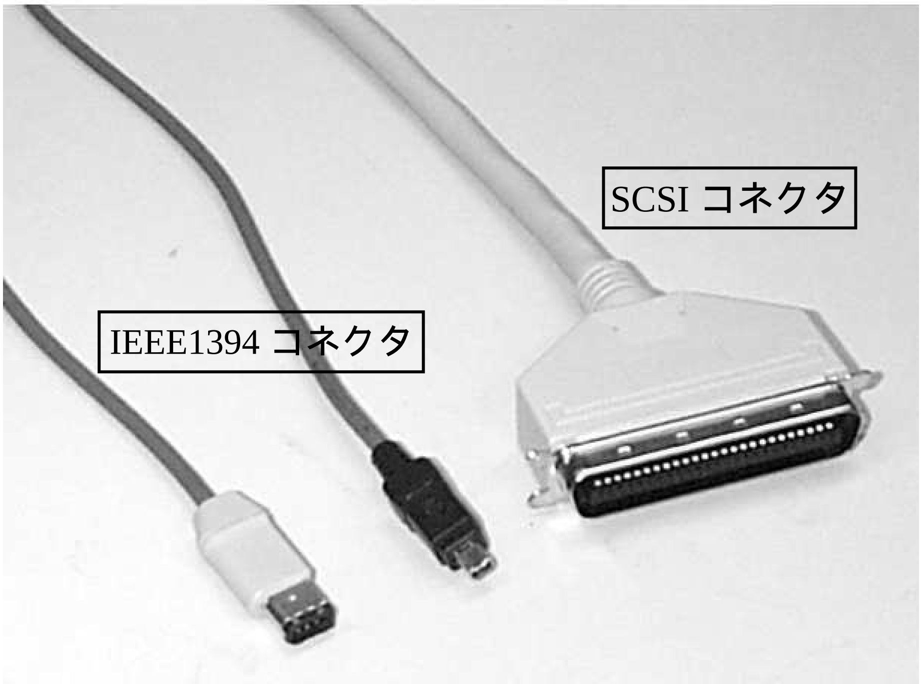


図 2.2: IEEE1394 と SCSI のコネクタの比較

転送速度

現在，IEEE1394-1995 では 100Mbps, 200Mbps, 400Mbps が規格化されている。また，P1394b では，800Mbps, 1.6Gbps, 3.2Gbps が標準化される予定である。SCSI 規格は初期のもので 5MB/s，最も速い規格の場合でも 40MB/s の転送速度である。ホームネットワークを構築する各技術，SCSI 規格，Ethernet，IEEE1394 の転送速度をまとめたものを図 2.3 に示す。

転送方式

IEEE1394 には非同期 (asynchronous) 転送とアイソクロノス転送の 2 つのデータ転送方式がある。非同期転送は，明示したノードの物理 ID と 1 対 1 のパケットの送受信を提供する。データ送信後にはデータ受信側から必ず ACK が返り，ACK が返らない場合やエラーを含んだ ACK が返った場合，送信側はパケットの再送を行なう。アイソクロノス転送は，アイソクロノス・リソース・マネージャによって割り当てられた，アイソクロノス・ネットワークチャネル宛にブロードキャストのパケット転送を提供し，125 マイクロ秒ごとに定期的にパケット転送を行う。

P1394a Draft Standard for a High Performance Serial Bus[7] では，非同期ストリーム (Asynchronous stream) という転送方式が提案されている。この方式は，非同期に，アイソクロノス・リソース・マネージャによって与えられたネットワークチャネル宛にブロード

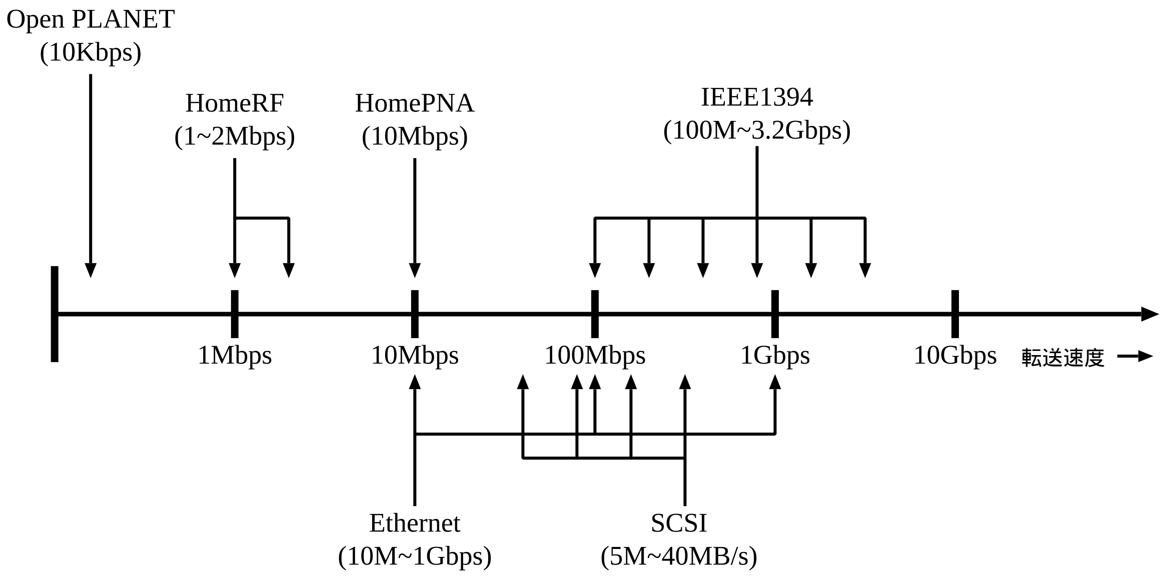


図 2.3: データ転送速度の比較

キャストのパケット転送を行う方式である。

IEEE1394 は転送速度，転送方式によって送信できるデータの最大長が異なる。転送速度，転送方式による最大転送量の差異を表 2.1 に示す。

表 2.1: 転送速度，転送方式による最大転送量の差異

転送速度	Asynchronous (Byte)	Isochronous (Byte)	Asynchronous stream (Byte)
S100	512	1024	512
S200	1024	2048	1024
S400	2048	4096	2048
S800	4096	8192	4096
S1600	8192	16384	8192
S3200	16384	32768	16384

また，アイソクロノス転送と非同期転送では，アイソクロノス転送の方が優先順位が高く，アイソクロノス転送時に，非同期転送は割り込むことができない。

接続距離と接続トポロジ

IEEE1394 規格のケーブルの最大長は，現在の規格では 4.5 メートルである。しかし，IEEE1394 規格では最大 16 台の機器を直列に接続できるため，接続された機器の両端の長さは最大 72 メートルとなる。これに対し SCSI は，ケーブルの最大長は 6 メートルであるが，接続の長さの最大長も 6 メートルである。

接続トポロジは，SCSI バスがディジチェーン型のみであるのに対して，IEEE1394 シリアルバスではディジチェーンの他にツリー型の接続も可能である。また，接続できる機器の数も SCSI バスが 8 台であるのに対して，IEEE1394 シリアルバスではひとつのバスに 63 台のノードが接続可能であり，さらに 1023 台までブリッジを介して接続可能である。

また，P1394b で規格化が進んでいる光ケーブルを使って，50 メートル以上の送信を行なう技術や，赤外線を使ってデータ送信を実現する技術も開発されている。

活線挿抜のサポートと **ID** の自動設定

IEEE1394 は，活線挿抜 (プラグアンドプレイ) をサポートしている。IEEE1394 バスへ電源が投入された時や，新たなノードの追加時にバスリセットが起こり，バスに接続されているノードの接続構成情報がすべて再構築される。ノード ID は，ルートノード (IEEE1394 バスで先頭のノード) から最も遠い末端のリーフノード (接続先が 1 つのノード) から順に決まる。リーフノードの ID が設定されると，リーフノードは自己識別パケットを他のノードにブロードキャストする。

一方，SCSI ではほとんどの場合に SCSI ID の設定が必要であり，この設定を間違えるとシステムが動作しない。また，SCSI バスに接続された機器が動作中に，同じ SCSI バスに接続された機器を起動することはできない。

2.3 IEEE1394 を用いたホームネットワーク環境

IEEE1394 を用いてホームネットワーク環境を構築する技術である，HAVi と HWW について述べる。

2.3.1 HAVi

HAVi は，IEEE1394 ネットワークで AV 機器の相互接続を実現するために策定されたソフトウェア仕様である。HAVi を用いることによって，新たに IEEE1394 ネットワークに接続されたり，ネットワークから切断された機器を自動認識することができる。この機能は，IEEE1394 のバスリセットを利用する。

バスリセット後，新たに接続された機器は，HAVi のコントロールを行う機器 (コントローラ) に対し HAVi SDD(Self Describing Device) データ送信をする。また HAVi に接続された機器は，コントローラ内のレジストリに DCM(Device Control Module) を登録する。HAVi SDD データは，機器の製造メーカや製造番号などの情報，DCM はその機器のデバ

イス・ドライバなどのソフトウェア・モジュールである。また，HAViにはIEEE1394のアイソクロノス転送を適切に制御するモジュールも含まれる。

2.3.2 HWW

HWWは，3.2.1節で述べるIP over IEEE1394を利用して，計算機やAV機器を接続する技術である。IEEE1394ネットワークに接続されたすべての機器を，簡単なGUIを使って制御できる。また，IP over IEEE1394を利用しているため，計算機がインターネットに接続されている場合，計算機をゲートウェイとして，ホームネットワークをコントロールすることが可能である。また，接続される機器はAV機器や計算機だけでなく衛星受信機器なども想定している。

第 3 章

概要

本章では，本研究において設計実装したシステムの概要について述べる。まず，IEEE1394を用いたホームネットワークの現状の問題点について述べ，その問題点に対する関連研究として，IP over IEEE1394とIEEE1394 over IPについて説明する。また，ホームネットワークのようなローカルネットワークとインターネットを接続する技術として，NAT，IP masqueradeについて述べる。

3.1　現状の問題点

IEEE1394を用いたホームネットワークの問題点を以下に示す。

- インターネットとの接続性
- 現状の機器との通信

前章で述べたHAViでは，機器がIEEE1394ネットワークに接続，切断された場合，その機器情報を管理できる。しかしHAViは家庭内という限られた環境下で動作するため，インターネットとの接続性は考慮されていない。

またHWWは，IEEE1394ネットワークに接続されているすべての機器が，IPによる通信が可能であることを想定している。現在，家庭内でIPによる通信が可能な機器は計算機だけであり，現状の機器ではHWWを利用することができない。

3.2　関連研究

本研究との関連研究として，IP over IEEE1394，IEEE1394 over IP，NAT，IP masqueradeが挙げられる。IP over IEEE1394，IEEE1394 over IPは，IEEE1394を用いたネットワークとインターネットを接続する技術である。NAT，IP masqueradeはローカルなIPネットワークとインターネットを接続する技術である。

3.2.1 IEEE1394 上でのIP 通信

IP over IEEE1394[9] は，IETF(Internet Engineering Task Force) によって標準化が進められており，IEEE1394 上でIP データグラムを送受信する技術である。IP over IEEE1394 を利用することにより，IEEE1394 を既存のネットワークメディアと同様に扱える。IP over IEEE1394 のプロトコルスタックを図3.1 に示す。

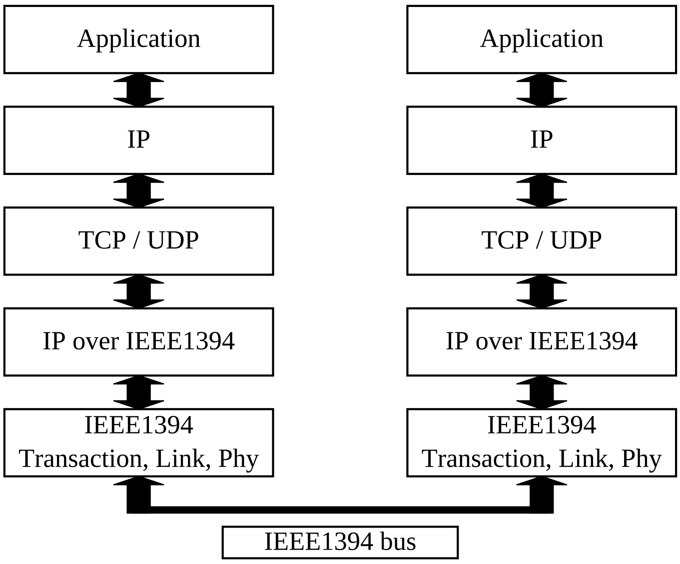


図 3.1: IP over IEEE1394 のプロトコルスタック

IP 通信には，ユニキャスト，マルチキャスト，ブロードキャストがある。IP over IEEE1394 では，通信方法によって転送方式を変える。ユニキャストを利用する場合は非同期転送を利用し，マルチキャストとブロードキャストを利用する場合は非同期ストリーム転送を利用する。また，ARP パケットも非同期ストリーム転送を利用して送信される。

IP over IEEE1394 には，ネットワークレイヤとデータリンクレイヤの間にIP over IEEE1394 レイヤがある。このレイヤでIEEE1394 のノード物理ID とIP アドレスとのマッピングを行う。ネットワークインタフェースがEthernet やFDDI である場合，そのネットワークインタフェースのハードウェアアドレス(MAC アドレス) を，IP アドレスに変換する。それを行なっているのがARP であり，ネットワークインタフェースがIEEE1394 の場合もアドレス変換は必要である。しかし，IEEE1394 のノード物理ID は64bit で，Ethernet やFDDI の48bit と異なる。従って，64bit のアドレスをIP アドレスにマッピングするためにIEEE1394 特有のARP(以降IEEE1394ARP と呼ぶ) が必要である。IEEE1394 ノードでバスリセットが生じた場合，IP over IEEE1394 レイヤでは，IEEE1394ARP を用いて終点のノードID を書き換えることによって，上位レイヤはバスリセットが起こったことを関知せずに，通信を行なえる。

また，IEEE1394 は転送速度によって最大転送量が変化する。S400 のIEEE1394 ノード

から S100 の IEEE1394 ノードにユニキャストのデータ転送を行なうには最大転送量が 2048 バイトから 512 バイトに変化する。最大転送量の変化に伴い，IEEE1394 パケットを，フラグメントする必要がある。フラグメントは，IP over IEEE1394 レイヤで送信側が行う。

3.2.2 インターネット，ATM ネットワーク上での IEEE1394 パケット通信

IEEE1394 over IP は，IEEE1394 ネットワークとインターネットとの境界にゲートウェイを置き，IEEE1394 ネットワークから送信されるパケットを IP カプセル化する。IP カプセル化されたパケットはインターネット上を通り終点のゲートウェイでカプセル開放され，再び IEEE1394 パケットとして IEEE1394 ネットワークに送信される。IEEE1394 over IP の概要を図 3.2 に示す。

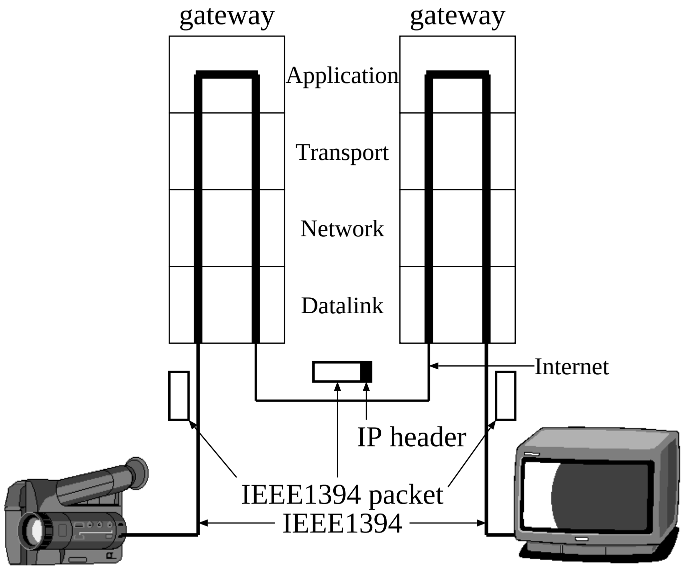


図 3.2: IEEE1394 over IP の概要

NTT 光ネットワークシステム研究所の林一博氏らは，IEEE1394 に接続された DV CAM を ATM の両端に接続し，その DV CAM から送信される IEEE1394 パケットをゲートウェイで ATM セル化し，終点のゲートウェイで再び IEEE1394 パケットにして，DV CAM に送信するというシステムを設計，実装した [10]。また，慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科の小川晃通氏らは，IEEE1394 に接続された DV CAM から送信される DV パケットを含んだ IEEE1394 フレームを，ゲートウェイで UDP/IP カプセル化し，帯域予約されたネットワーク上を送信するというシステムを設計，実装した [11]。

3.2.3 NAT, IP masquerade

NAT[12]，IP masquerade は，ローカルな IP ネットワークとインターネットを接続するための技術である。

ローカルネットワークからインターネットへアクセスする場合，ローカルネットワークで使用されている IP アドレスとインターネットで使用する IP アドレスが異なるため，それらを変換する必要がある。ローカルネットワークとインターネットとの境界にゲートウェイを置き，このゲートウェイがパケットのアドレス変換を行う。具体的には，ローカルネットワークからインターネットに送信されるパケットの始点アドレスとポート番号を，ゲートウェイのアドレスとポート番号に書き換える。そして，インターネットからローカルネットワークに送信されたパケットの終点のアドレスとポート番号を，最初に発信したノードのアドレスとポート番号に書き換える。変換を行なうデーモンは，変換テーブルを保持し，パケットを始点のノードに送信することができる。

3.3 本システムの概要

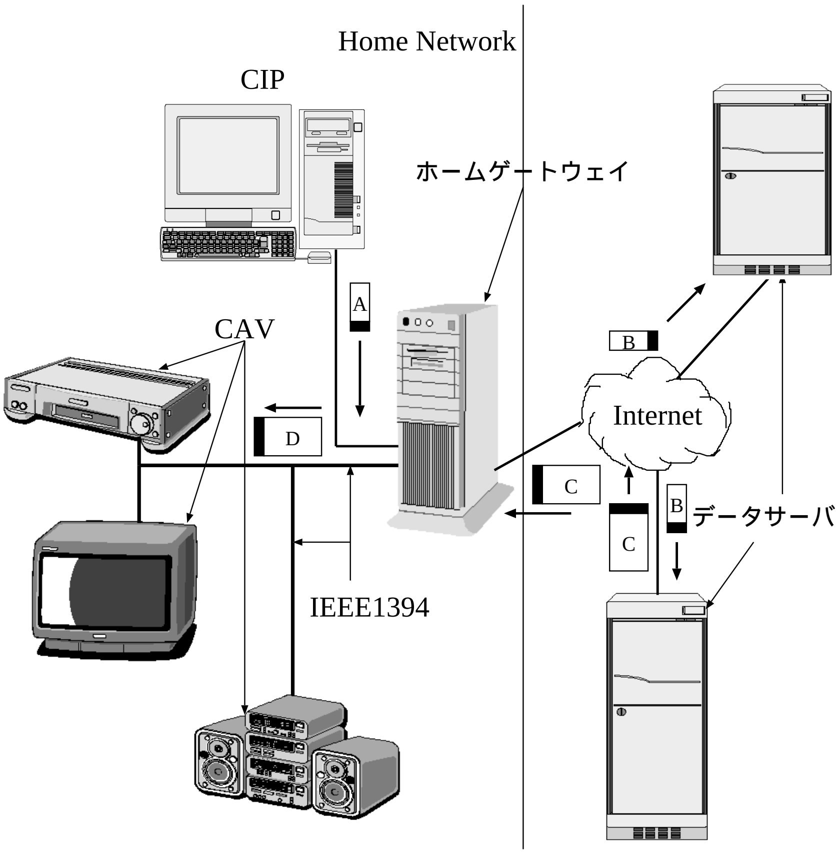
本システムの概要を，図 3.3 に示す。家庭内で IP による通信が可能なクライアントを CIP(Client of IP) とする。現在はデスクトップやノート型の計算機であるが，リモコン程度のものも想定している。CIP は，ホームゲートウェイを介してインターネットにアクセスする。CAV(Client of AV devices) で，インターネット上の情報を取得，閲覧する場合，CIP はホームゲートウェイ上で実行されているプロクシサーバと通信する。CIP は，プロクシサーバに CAV の接続情報の取得要求を行う。その取得要求に対して，プロクシサーバは CIP に CAV の接続情報を通知する。

CIP は，通知された CAV の接続情報を選択しプロクシサーバへ再び通知する。その際に，CIP は情報を保持しているインターネット上のデータサーバの IP アドレスとポート番号，プロトコルをプロクシサーバへ通知する。通知された IP アドレスとポート番号の，インターネット上のデータサーバに対して，プロクシサーバはセッションを生成する。データサーバとプロクシサーバとのセッションに使用するトランスポートレイヤのプロトコルは，CIP がプロクシサーバに通知したプロトコルである。

生成されたセッションを利用して，データサーバからホームゲートウェイへ送信されてくるデータは，ホームゲートウェイのトランスポートレイヤで IEEE1394 パケットに変換される。変換された IEEE1394 パケットは，CIP から指定された CAV へ送信される。

3.3.1 ホームゲートウェイ

本システムで想定しているホームゲートウェイは，ホームネットワークとインターネットを接続するためのアプリケーションゲートウェイである。ホームネットワークは，家庭内の計算機によって構成されるローカルな IP ネットワークと，AV 機器を中心とした IEEE1394 ネットワークによって構成される。ホームゲートウェイは，IP ネットワークと IEEE1394 ネットワークの両方と通信ができ，IEEE1394 ネットワークに接続されている AV 機器の接



パケット A: CIP とホームゲートウェイの通信
パケット B: ホームゲートウェイとデータサーバの通信
パケット C: データ取得要求に対する応答
パケット D: ホームゲートウェイから CAV への転送

図 3.3: 本システムの概念図

続情報を保持している。

3.3.2 IEEE1394 に接続された AV 機器 (CAV)

本システムで，AV 機器は IEEE1394 のインタフェースを持ち，IEEE1394 インタフェースへ送信されてくるデータを出力，保存する。また，現状の AV 機器が持つ機能であるデータを出力，保存する機能を持っているが，インターネットへのアクセスはできない。CAV は，3.3.3 節に説明する CIP にとっての出力，保存用のデバイスとなる。

3.3.3 IP による通信が可能な計算機 (CIP)

本システムで想定している CIP は，ホームネットワークに接続されている，IP による通信が可能な計算機，またはそれに準ずるデバイスである。IP による通信が可能であるため，ホームゲートウェイを介してインターネットにアクセスできる。また，CIP はホームゲートウェイと IP 通信を行い，CAV の情報を取得する。

3.3.4 データサーバ

本システムで想定しているデータサーバは，インターネット上に送信可能なデータを保持しており，ユーザからの要求に対して保持しているデータを発信する。既存の WWW サーバや Real サーバなどがこれにあたる。

3.4 想定するデータフォーマット

本システムで扱うデータフォーマットは，インターネット上に送信されるあらゆるフォーマットである。インターネット上に送信されるデータフォーマットとして，MPEG や MIDI などがあるが，このようなフォーマットの多くは，現状の AV 機器ではそのまま出力，保存できない。そのため，インターネット上のデータサーバから送信されたデータのフォーマットを AV 機器で出力，保存できるフォーマットに変換する必要がある。

本システムには，データサーバから送信されるデータを現在の AV 機器で出力できるフォーマットに変換する機構は含まれていない。近年 MPEG や Real Video のデコーダを搭載した AV 機器の開発が進んでおり，このような AV 機器でデータフォーマットの変換を行うことを想定している。

第 4 章

設計

本章では，本システムの設計について述べる。本システムは，ホームゲートウェイとCIPの変更のみで実現できる。そのため，データサーバとして既存のWWWサーバなどを利用できる。

4.1　ホームゲートウェイの設計

ホームゲートウェイの設計を以下の3つの機構に分けて説明する。

- CIPとの通信機構
- データサーバとの通信機構
- データサーバから送られてきたパケットの処理機構

4.2　CIPとの通信機構の設計

ホームゲートウェイ上では，NATデーモンが実行されている。取得したい情報を保持しているデータサーバがインターネット上にある場合，ローカルネットワークに接続されているCIPは，ホームゲートウェイを介してデータサーバにアクセスすることができる。

データサーバが保持しているデータを，ホームネットワーク内のCAVで出力，保存する場合，CIPはホームゲートウェイ上に実行されているプロクシサーバにアクセスする。CIPとプロクシサーバの通信は，TCP/IPを用いる。

4.2.1　プロクシサーバの処理

CIPに対するプロクシサーバの処理を以下に示す。

- CAVの接続情報の取得
- 取得した情報をCIPへ通知

CAV の接続情報の取得

プロクシサーバは CIP と通信し，CIP から CAV の接続情報取得要求を受けると，ホームゲートウェイの IEEE1394 デバイスから，接続されている IEEE1394 バスの状態を `ioctl` 関数を用いて取得する。IEEE1394 デバイスから取得する情報は，IEEE1394 バスに接続されているノードの物理 ID，バス間のデータ転送速度，アイソクロノス転送や非同期ストリーム転送で用いるネットワークチャネルである。プロクシサーバが取得する，CAV の接続情報のフォーマットを図 4.1 に示す。

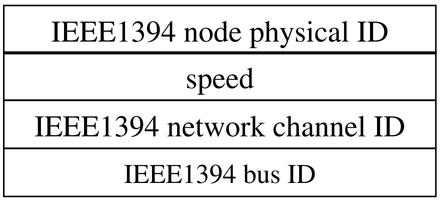


図 4.1: CAV の接続情報

取得した情報を CIP へ通知

以上のようにして取得した IEEE1394 バスの接続情報を，プロクシサーバに対して要求を行った CIP へ返す。データの通知は，CIP とプロクシサーバの間で確立している TCP/IP コネクションを利用する。

4.2.2 CIP からの CAV の指定

プロクシサーバから CIP に通知される CAV の接続情報には，複数の CAV を含む複数の IEEE1394 ノードや IEEE1394 バスが含まれる場合がある。CIP を利用しているユーザは，プロクシサーバから通知された CAV の接続情報の中から送信先の CAV を選択し，プロクシサーバに通知する。プロクシサーバに通知されるデータには，CIP を利用しているユーザから選択された CAV の IEEE1394 バス ID が含まれている。また，このデータの中には CIP が CAV で取得，保存したい情報を保持している，インターネット上のデータサーバの，IP アドレスとポート番号が含まれている。また，プロクシサーバとデータサーバ間の通信で利用するプロトコル (TCP/IP もしくは UDP/IP) も含まれている。CIP とプロクシサーバとの通信の流れを図 4.2 に示す。

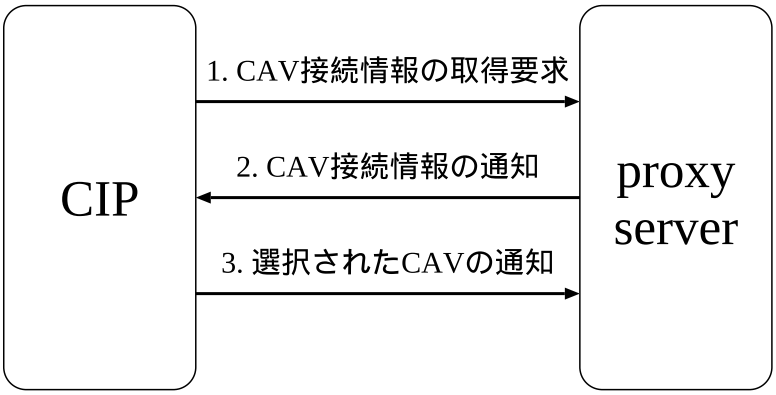


図 4.2: CIP とプロクシサーバとの通信

4.3 データサーバとの通信機構の設計

4.3.1 通信処理

プロクシサーバは CIP から CAV のバス ID を指定されると，バス ID と共に送信された IP アドレス，ポート番号のインターネット上のデータサーバにアクセスする。データサーバとの通信には，CIP から通知されたプロトコルを用いる。

TCP/IP や UDP/IP で通信を行うためには，プロクシサーバではソケットインタフェースを用いる。本システムでは，ホームゲートウェイ内でデータサーバから送信されるデータを CAV へ送信する。そのために，ソケットオプションを用いて，ホームゲートウェイで受信したデータを CAV へ送信する命令を，カーネル内に通知する。

ホームゲートウェイが受信したデータを CAV へ送信する処理をカーネル内で行う理由は，受信したデータをカーネル空間からユーザ空間へコピーする処理時間がオーバヘッドとなるためである。カーネル空間に実装されているトランスポートレイヤを利用することによって，CAV へデータを送信する処理を高速に行える。

4.3.2 転送先の指定

本システムでは，プロクシサーバがデータサーバと通信するためのソケットを生成する際に，ソケットオプションを用いる。データサーバのソケット生成時には，プロクシサーバが利用するソケットオプションは使用しない。

このソケットオプションを利用してプロクシサーバは，CIP から指定された送信先の CAV が接続されているバス ID を，ホームゲートウェイのカーネル内に通知する。ソケットオプションによって通知される情報は，セッションごとにカーネル内に保持されるため，複数の CIP からの要求が行われた場合，その要求を行ったセッションごとに情報が管理される。従って，複数の CIP からの要求に対して応答できる。ホームゲートウェイ内で，複数セッションの管理を図 4.3 に示す。

session A	session B	session C
source IPアドレス: A.A.A.A	source IPアドレス: C.C.C.C	source IPアドレス: E.E.E.E
source PORT番号: BBB	source PORT番号: DDD	source PORT番号: FFF
destination IPアドレス: X.X.X.X	destination IPアドレス: V.V.V.V	destination IPアドレス: T.T.T.T
destination PORT番号: YYY	destination PORT番号: WWW	destination PORT番号: UUU
CAVへの データ通信: Yes	CAVへの データ通信: No	CAVへの データ通信: Yes
送信先の CAV bus ID: ZZZ	送信先の CAV bus ID: NULL	送信先の CAV bus ID: XYZ

図 4.3: 保持されている複数のセッション情報

データサーバはプロクシサーバからの要求に対してデータを送信する。データサーバとプロクシサーバとの通信は，ソケットオプションを利用して生成されたセッションを利用する。

4.4 データサーバから送られてきたデータの処理機構の設計

データサーバからプロクシサーバへ送信されるIPデータグラムは，ホームゲートウェイのトランスポートレイヤまで渡される。トランスポートレイヤの処理の途中で，ソケットオプションによってカーネル内に保持されているCAVへのデータ送信条件を参照する。値を参照し，CAVへ送信する指示が含まれている場合，カーネル内に保持されているCAVのバスIDを利用してCAVへデータを送信する。データサーバからホームゲートウェイへ送信されてくるデータの流れを図4.4に示す。

CAVへのデータの送信をトランスポートレイヤで行っている理由として，以下の2つがある。

- 処理の高速性

処理の高速性に関しては，先に述べた通り，カーネル空間からユーザ空間にデータを渡すオーバヘッドがかかる分，カーネル内で処理する方が高速に行えるためである。

- データの正確さ

プロクシサーバとデータサーバの通信で使用するトランスポートレイヤのプロトコルは，TCPとUDPである。TCPは，通信の品質を保証するため，セグメントが欠損したり届かなかった場合，セグメントの再送を行う。UDPは通信品質を保証しないため，セグメントの再送は行われない。本システムで，CAVへのデータ送信をトランスポートレイヤより下位レイヤで行う場合，UDP/IPでセッションを作った場合は問題は生じない。しかし，TCPは品質の高い通信を要求されるため，パケットの順序が正しくなかったり欠損していた場合，パケットをそのままCAVに送ることができない。また，本来先に届くはずであるTCPヘッダ内のシーケンス番号が小さいセグメントが後から再送されてきた場合も，デー

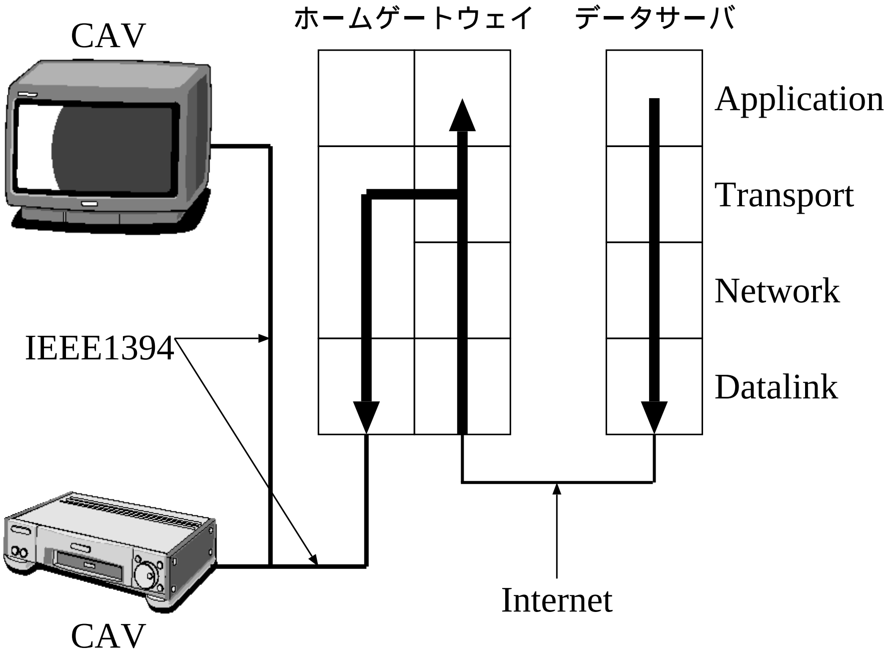


図 4.4: 送信されてきたデータの流れ

タが不正確になる。トランスポートレイヤまでデータを渡すことにより，送信されてきたデータの整合性が保証できる。従って，本システムではトランスポートレイヤから CAV へデータ送信を行う。

4.5 その他の機構の設計

本システムでは，ホームゲートウェイ以外の機構は複雑な機能を含んでいない。必要な処理をホームゲートウェイに集中することによって，CIP の処理を必要最低限にできる。

CIP の設計

CIP は，ホームゲート上に実行されているプロクシサーバと通信を行う。CIP は，プロクシサーバから CAV の接続情報を取得し，ユーザに選択された CAV のバス ID を再びプロクシサーバへ通知する。CIP とプロクシサーバとの通信は，命令を正確に通知するために品質を保証する必要がある。そのため CIP とプロクシサーバの間に TCP/IP コネクションを確立し通信を行う。プロクシサーバには，データサーバの IP アドレスとポート番号を CAV の情報と一緒に通知する。プロクシサーバに渡されるデータを図 4.5 に示す。

<table>
<tr><td colspan="2">IP address</td></tr>
<tr><td>port number</td><td>protocol</td></tr>
<tr><td colspan="2">IEEE1394 bus ID</td></tr>
</table>

図 4.5: プロクシサーバに渡されるデータ

また，プロクシサーバとデータサーバ間の通信プロトコルとして TCP/IP を利用するか UDP/IP を利用するかも指定する。

第 5 章

実装

本章では，前章で述べた設計に基づく本システムの実装について述べる。初めにホームゲートウェイに含まれる機能の実装方法について説明し，次にホームゲートウェイ以外の機能について述べる。

5.1 ホームゲートウェイの実装

ホームゲートウェイには，以下の機能を実装した。

1. CAV 接続情報通知機能
2. 転送設定機能
3. CAV ・コネクションテーブル機能
4. トランスポート ・コンジャンクション機能
5. IEEE1394 パケット転送機能

上記のうち，1 はユーザ空間に実装している。2 はユーザ空間とカーネル空間の両方，3，4，5 はカーネル空間に実装している。以下で，これらの機構の実装方法について詳しく述べる。

5.1.1 CAV 接続情報通知機能

CIP とプロクシサーバは TCP を用いて通信を行う。プロクシサーバは，ホームゲートウェイ内に保持されている IEEE1394 のノード情報を取得するために `ioctl` 関数を用いる。図 5.1 に `ioctl` 関数による CAV の接続情報取得を例示する。`ioctl` 関数を用いることにより，ホームゲートウェイが接続されている IEEE1394 バスのネットワークチャネルや接続トポロジ，ノードの物理 ID を取得できる。

```
～略～
/*  get name of interfaces  */

    struct ifconf ifc;

    ifc.ifc_len = 1024;
    ifc.ifc_buf = buffer;

    if ((s = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == -1){
        perror("socket");
        exit(1);
    }
    if (ioctl(s, SIOCGIFCONF, &ifc) < 0){
        perror("ioctl");
        exit(1);
    }
～略～
/*  get status of IEEE1394 bus  */

    struct ieee1394_status status;

    if (ioctl(fd, IEEE1394_STATUS, &status) != -1) {
        printf("status: nodeID:%x rootID:%x iso:%x bus:%x\n",
                status.nodeID, status.rootID, status.iso_managerID,
                status.bus_managerID);
～略～
/*  get network channel ID of IEEE1394 bus  */

    packet.length = 256;
    packet.data = buf;
    if (ioctl(fd, IEEE1394_GET_TOPOLOGY, &packet) != -1) {
        printf("topology:\n");
        dump_selfID((self_ID *)(buf + 12), (*(u_long *)buf >> 16) - 2);
～略～
```

図 5.1: `ioctl` 関数を使った CAV の接続情報取得

CIP から CAV の接続情報の取得要求が行われると，プロクシサーバは取得した情報を CIP へ返す。CAV の情報が通知された CIP は，CAV を選択してプロクシサーバへ返す。図 5.2 に，プロクシサーバが CIP に通知するバス情報の構造体を示す。

`busID` の値は，ホームゲートウェイに接続されている IEEE1394 バスの ID で，デバイスの番号と対応している。`speed` は，そのバスの転送速度で，例えば 1 の場合は 100Mbps，2 の場合は 200Mbps となる。`network-channelID` には，アイソクロノス転送や非同期ストリーム転送に用いる IEEE1394 のネットワークチャネルを示す値を代入する。

```
struct ieee1394bus_status {
    int busID;
    int speed;
    int network-channelID;
};
```

図 5.2: CIP に通知する IEEE1394 バスの情報

5.1.2 転送設定機能

プロクシサーバは CIP から CAV が指定されると，CIP から同時に送信される IP アドレスとポート番号で示される，インターネット上のデータサーバと通信を行う。トランスポートレイヤのプロトコルは，CIP から指定されたプロトコルを使用する。データサーバとセッションを確立する際に，新たに追加したソケットオプションを用いる。ユーザ空間で指定するソケットオプションのコードを図 5.3 に示す。

```
int setsockopt(int, IPPROTO_IP, IP_1394, char *, int);
```

図 5.3: ソケットオプション

`socket` 関数でソケットを生成した直後に，`setsockopt` 関数を呼ぶ。`setsockopt` 関数の第 2 引数として `IPPROTO_IP` を与える。`IPPROTO_IP` を使用することによってトランスポートレイヤの下位レイヤであるネットワークレイヤで処理を行う。第 3 引数として，`IP_1394` という新しいオプションを与える。第 4 引数の `int` 型の引数には，CIP から指定されたバス ID が保持されている。ソケットオプションを利用してカーネル内にこの値を渡すことができ，カーネル内の `inpcb` 構造体に値を保持させる。

5.1.3 CAV・コネクションテーブル機能

ソケットオプションの処理

`IP_1394` に対応した処理を，カーネルの中に追加している。`IPPROTO_IP` が指定された場合の実際の処理は，`ip_ctloutput` 関数で行われる。`ip_ctloutput` 関数に追加したコードを図 5.4 に示す。ユーザ空間の `setsockopt` 関数の第 4 引数の値は，カーネル内の `ip_ctloutput` 関数の変数 `optval` に渡される。本システムでは，IEEE1394 のバス ID がユーザ空間から渡されている。

```
/* /sys/netinet/ip_output.c */
int
ip_ctloutput(op, so, level, optname, mp)
～略～
#ifdef IP_TO_1394
    case IP_1394:
        inp->ieee1394_forwarding |= 1;
        inp->ieee1394_name = (char *)malloc(4, M_SOCKET, M_DONTWAIT);
        sprintf(inp->ieee1394_name, "%s%d", ieee1394_devname, optval);
        break;
#endif IP_TO_1394
～略～
```

図 5.4: 追加されたソケットオプションの処理

追加した`inpcb`構造体のメンバと処理

図5.4中の変数`inp`は，セッションごとに生成される`inpcb`構造体へのポインタである。`inpcb`構造体にはセッションごとの始点と終点のIPアドレスやポート番号，IPヘッダの情報などが含まれている。この構造体に，新たに`ieee1394_forwarding`と`ieee1394_name`というメンバを加えた。新たにメンバを追加した`inpcb`構造体を図5.5に示す。

```
/* /sys/netinet/in_pcb.h */
struct inpcb {
～略～
#ifdef IP_TO_1394
        short   ieee1394_forwarding;
        char    *ieee1394_name;
#endif /* IP_TO_1394 */
～略～
}
```

図 5.5: 追加された`inpcb`構造体のメンバ

`inpcb`構造体のメンバ`ieee1394_forwarding`は，`inpcb`構造体の割り当て時には`0`に初期化されている。`ieee1394_forwarding`にフラグが立っている場合，このセッション宛に送信されてきたデータをCAVへ転送するということを表す。`ieee1394_forwarding`は，ユーザ空間で`setsockopt`関数を用い，その第2引数として`IP_1394`を使用した時以外は`0`である。`ieee1394_name`には，指定されたIEEE1394バスに接続されているIEEE1394デバイスのデバイス名が保持される。この2つの変数は，`inpcb`構造体が作られた時には`0`に初期化されており，ユーザ空間から特定のオプションが引数として与えられた時のみ値が

変わる。

`inpcb` 構造体は，各 TCP/UDP のセッションごとに生成される。従って，複数のセッションが確立している場合も，この `ieee1394_forwarding` メンバの値を調べ，CAV への送信を判断する。CAV へ送信する場合に必要となるデバイス名も，`ieee1394_name` の値を調べ判断する。

5.1.4 トランスポート・コンジャンクション機能

上記のソケットオプションを用いてセッションが確立されると，プロトコルが TCP，UDP いずれの場合でもカーネル内で通常と異なった処理が行われる。通常 TCP，UDP の input の関数に渡されたデータは，ソケットバッファに値が渡され，ユーザ空間に渡される。

本システムでは，TCP，UDP の input 関数内のソケットバッファにデータを渡す直後に，CAV へデータを送信する関数を呼び出す。TCP の場合も UDP の場合も同じコードをそれぞれの input 関数の中に追加することによって実現している。追加したコードを図 5.6 に示す。

```
/* /sys/netinet/tcp_input.c */
struct mbuf *m1394;
~中略~
#ifdef IP_TO_1394
    if (inp->ieee1394_forwarding){
        m1394 = m;
        ieee1394_fw(m1394, inp->ieee1394_name);
    }
#endif /* IP_TO_1394 */
```

図 5.6: `tcp_input` 関数での処理

先に述べた通り，このセッションの `inpcb` 構造体の `ieee1394_forwarding` メンバを参照し，`0` でなかった場合に CAV にデータを送信する。

5.1.5 IEEE1394 パケット転送機能

データサーバからホームゲートウェイに送信されるデータは，TCP もしくは UDP の input 関数によって呼び出される `ieee1394_fw` 関数によって実際に CAV にデータを送る。この関数へ渡す引数は 2 つある。第 1 引数は，データサーバから送信されてきたデータを含んでいる mbuf へのポインタ，第 2 引数は送信先の CAV が接続されている IEEE1394 デバイスのデバイス名である。

この関数の中では，与えられたIEEE1394のデバイス名から`ifunit`関数を使って，インタフェースに独自の`ifnet`構造体を取得する。`ifnet`構造体は，実際にIEEE1394デバイスからパケットを送信する関数への引数として必要となる。`ieee_fw`関数に，データサーバから送られてきたデータを含むmbufへのポインタを渡す。

この時，TCPとUDPで関数内の処理が異なる。パケットがデータサーバから送られてきた時，mbufはmbufチェーンとなっている。TCPの場合，input関数では，データリンクレイヤのMTU(Maximum Transfer Unit)から，データリンクレイヤヘッダ，IPヘッダ，TCPヘッダを取り除いた値が，1パケットの長さである。Ethernetの場合，MTUが1500バイトであるため，input関数ではパケット長が1440バイトとなる。しかしUDPのinput関数では，送信側のユーザ空間で指定された値が1パケット長である。従って，送信側で8192バイトのパケットが送信されると，UDPのinput関数内でデータ長が8192バイトとなり，5つのmbufがチェーンが構成される。

TCPでは，2つのmbufがチェーンを構成して送信される。これを1つのmbufにするためにmbufのクラスタを確保し，確保したクラスタへ先頭のmbufにポイントされた先のmbufのデータをコピーする。TCPでのパケット処理を図5.7に示す。

```
/* ieee1394_fw.c */
int ieee1394_fw(m, ieee1394_name)
～略～
    struct mbuf *m1394 = m, *mm1394;
～略～
    MGETHDR(mm1394, M_DONTWAIT, MT_DATA);
    MCLGET(mm1394, M_DONTWAIT);
    ptr = mtod(mm1394, char *);
    m1394 = m;
    while (m1394) {
      bcopy(mtod(m1394, char *), ptr, m1394->m_len);
      ptr += m1394->m_len;
      len += m1394->m_len;
      m1394 = m1394->m_next;
    }
～略～
```

図5.7: TCPでのパケットの処理

図5.7のコードの中で，変数`mm1394`が実際のデータを含むmbufへのポインタである。このmbufのメンバである`m_pkthdr.len`および`m_len`は，このmbufに含まれているデータの長さである。しかし，元のmbufの`m_pkthdr.len`には正しいパケットの長さが含まれていないため，変数`len`にパケットの長さを代入している。

また，UDPでは送信側の設定によりパケットの大きさが異なるため，mbufが構成するmbufチェーンの長さも異なる。そのため，TCPの時のようにmbufのクラスタを確保してデータをコピーするのではなく，mbuf1つを1パケットとして，送信する。mbuf1つが1

パケットであるため，新たにmbufヘッダを確保するためにMGETHDR関数を用いる。また，mbuf1つに保持されているデータ長が108バイト以上である場合，MCLGET関数でmbufクラスタを確保し，そこへデータを保持させる。UDPの場合のコードを図5.8に示す。

```
/* ieee1394_fw.c */
int ieee1394_fw(m, ieee1394_name)
~略~
    while(m) {
      if (m->m_len < 108) { /* need not clustor */
        MGETHDR(mm1394, M_DONTWAIT, MT_DATA);
        mm1394->m_flags |= M_PKTHDR | M_BCAST;
      }
      else {
        MGETHDR(mm1394, M_DONTWAIT, MT_DATA);
        MCLGET(mm1394, M_DONTWAIT);
        mm1394->m_flags |= M_PKTHDR | M_EXT | M_BCAST;
      }
      mm1394->m_pkthdr.rcvif = 0;
      mm1394->m_pkthdr.len = mm1394->m_len = m->m_len;
      ptr = mtod(mm1394, char *);
      bcopy(mtod(m, char *), ptr, m->m_len);
~略~
      m = m->m_next;
~略~
```

図5.8: UDPでのパケットの処理

本システムでは，ホームゲートウェイとCAVとの通信に非同期転送を用いず非同期ストリーム転送を使っている。非同期転送は，1つのID宛にのみデータの送受信が行えるが，非同期ストリーム転送は，IEEE1394のネットワークチャネルを利用して送信する。そのため，1つのIEEE1394バスに複数のCAVが接続されている場合でも，複数のCAVへデータ送信が可能となる。

また，IEEE1394ノードでバスリセットが生じるとすべてのノードの物理IDが変わり，非同期転送を用いている場合に通信が切れてしまう。しかし，ネットワークチャネルを使用する非同期ストリーム転送を利用することによって通信が再び可能となる。

5.2 その他の機構の実装

CIPの実装

CIPは，プロクシサーバから受け取ったCAVの接続情報を受け取り，ユーザから選択されたCAVが接続されているIEEE1394バスのIDを再びプロクシサーバに返す。プロクシ

サーバとの通信はTCPのコネクションを使用する。プロクシサーバへ返す値を含んだ構造体を，図5.9に示す。

```
#define TCP 1
#define UDP 2

struct reply {
    struct sockaddr_in *dest;
    int busID;
    int protocol;
};
```

図5.9: プロクシサーバへ返す構造体

構造体`reply`のメンバ`dest`構造体には，インターネット上のデータサーバのIPアドレスとポート番号が保持されている。メンバ`busID`には，ユーザに指定された，CAVが接続されているIEEE1394バスのIDが保持されている。メンバ`protocol`には，プロクシサーバとデータサーバとのセッションで使用するプロトコルを示す値が代入されている。TCPの場合1，UDPの場合2である。

第 6 章

測定と評価

本章では，まず本システムを実装し，測定を行った環境について述べ，実装したシステムの動作確認について述べる。次に，設定した定量的評価項目に基づいて行った測定の結果と関連研究の測定結果を示し，それらについて考察する。最後に本システムと第4章で述べた関連研究との定性的評価を行い，関連研究と本研究を比較する。

6.1　測定環境

本システムは，ホームゲートウェイ，CAV，CIP，データサーバで構成される。システムの構成要素はすべて，IBM 互換機上で，FreeBSD2.2.7-RELEASE を用いて実装した。各計算機の性能を表 6.1 に示す。

データサーバとホームゲートウェイは，100Mbps および 10Mbps の Ethernet で接続されている。ホームゲートウェイと CIP，CAV は 2 本の S100(通信帯域 100Mbps) の IEEE1394 で接続されている。測定環境を図 6.1 に示す。

表 6.1: 各計算機の性能

計算機	CPU	メモリ	インタフェース
ホームゲートウェイ	Intel PentiumII 333Mhz	192MByte	10BaseT/100BaseTX S100 IEEE1394 × 2
CIP，CAV	Intel PentiumII 333MHz	192MByte	S100 IEEE1394 × 2
データサーバ	AMD K6 266MHz	128MByte	10BaseT/100BaseTX

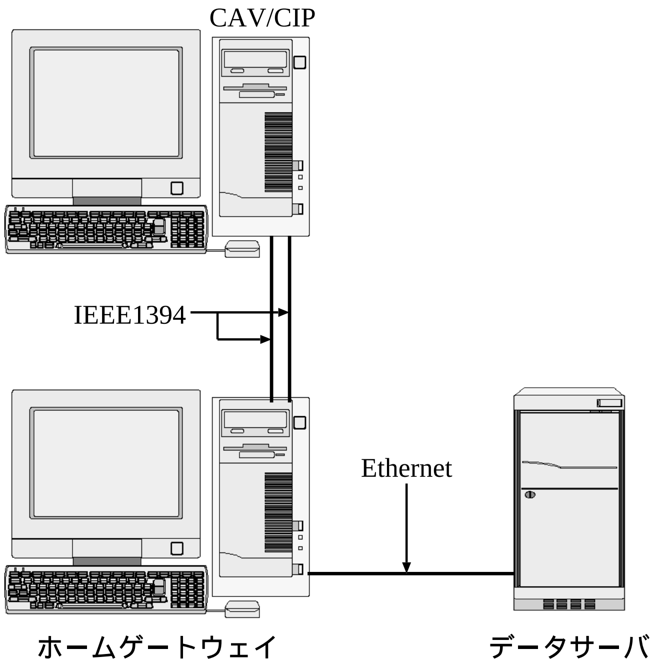


図 6.1: 測定環境

6.2 動作確認

`ieee1394_fw`関数でデータをコピーする際に，先頭にヘッダを添付しCAVへ送信し，そのヘッダをCAVで出力した。データに添付したヘッダの構造体を図6.2に示し，ヘッダを添付するコードを図6.3に示す。

```
/* /sys/netinet/ieee1394_fw.h */

struct ieee1394_fw {
  u_short seq;
  u_short pad;
};
```

図 6.2: データに添付したヘッダの構造体

添付したヘッダには，シーケンス番号が含まれている。このシーケンス番号は`ieee1394_fw`関数が呼ばれる時に1つずつ値が増加する。このシーケンス番号がCAVのカーネル内で出力された結果を図6.4に示す。

```
/* sys/netinet/ieee1394_fw.c */

int ieee1394_fw(m, ieee1394_name)
～略～
  M_PREPEND(mm1394, sizeof(struct ieee1394_fw), M_DONTWAIT);
  header = mtod(mm1394, struct ieee1394_fw *);
  bzero(header, sizeof(struct ieee1394_fw));
  header->seq = htons(seq_num);
  header->pad = 0;
～略～
```

図 6.3: データへのヘッダの添付

```
sequence number is 0 from pe1.
sequence number is 1 from pe1.
sequence number is 2 from pe1.
sequence number is 3 from pe1.
sequence number is 4 from pe1.
sequence number is 5 from pe1.
～略～
```

図 6.4: シーケンス番号の出力結果

この結果から，ホームゲートウェイのカーネル内から CAV へデータが送信されていることが確認された。また，プロクシサーバから指定された IEEE1394 のバスの ID 宛てに，データが送信されていることが確認された。

6.3 定量的評価

測定は，ttcp プログラムを改良して行った。ホームゲートウェイのプロクシサーバとデータサーバは，ソケットオプションを用いてセッションを作る。ttcp プログラムの中でソケットを生成する際に，図 5.3 のソケットオプションを使っている。ttcp プログラムの引数として，IEEE1394 デバイスのデバイス番号を与え，その引数を `setsockopt` 関数の引数とする。図 6.5 に，改良した ttcp プログラムのコードの一部を示す。

カーネル内での性能測定は `microtime` 関数を用いた。本システムの測定項目を以下に示す。

1. データサーバとホームゲートウェイ間のスループット
2. カーネル内に加えた部分の処理時間

```
/* ttcp.1394.c */
～略～
   int ieee1394_flag;
～略～
   if (setsockopt(fd, IPPROTO_IP, IP_1394,
           (char *) &ieee1394_flag, sizeof(ieee1394_flag)) == -1){
           perror("setsockopt");
           exit(1);
   }
～略～
```

図 6.5: 改良したttcp

1を計測する理由は，ホームゲートウェイのカーネル内で，CAVへデータを送信する処理を行った場合と行わなかった場合を測定，比較し，スループットに与える影響を考察するためである。2を計測する理由は，ホームゲートウェイのカーネル内に加えた処理にかかる処理時間を測定し，処理のボトルネックがある場合，それがどこにあるかを考察するためである。

6.3.1 データサーバとホームゲートウェイ間のスループットの測定

本システムは，インターネットから送信されてきたIPデータグラムをCAVへ送る。測定方法は，ソケットオプションを用いたTCPもしくはUDPのセッションと，ソケットオプションを用いないセッションをホームゲートウェイとデータサーバとの間に作り，それぞれで60Mバイトのデータを送信した場合のスループットを調べた。

CAVにはinputの処理を実装していない。そのため，ホームゲートウェイでソケットオプションを用いて生成したセッションの処理は，CAVだけでなくそのセッションのユーザ空間にもデータを渡す。このスループットを測定することによって，本システムで実装した処理を行った場合と，行なかった場合との処理時間を比較することができる。

TCPコネクションを用いてスループットを計測した結果を図6.6，図6.7に示す。また，それぞれの結果の平均値，最大値，最小値をそれぞれ表6.2，表6.3に示す。

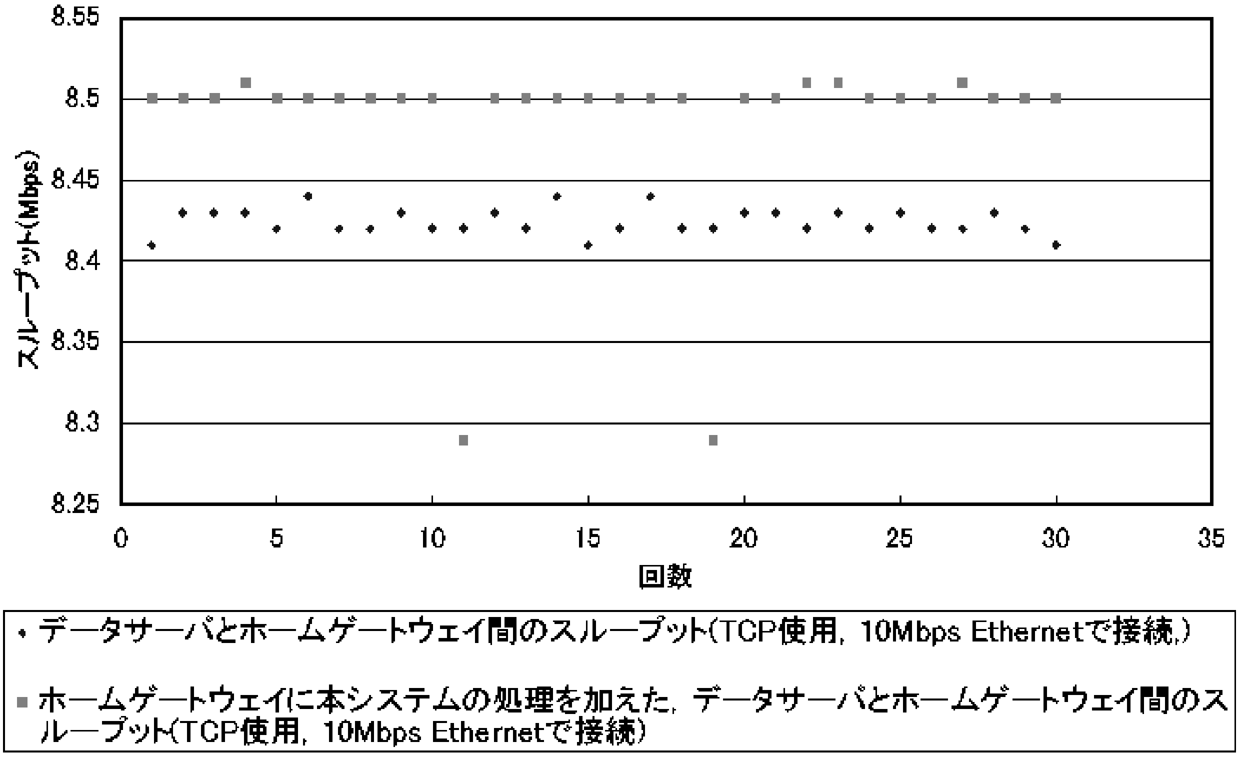


図 6.6: TCP を用いた 10Mbps の時のスループット

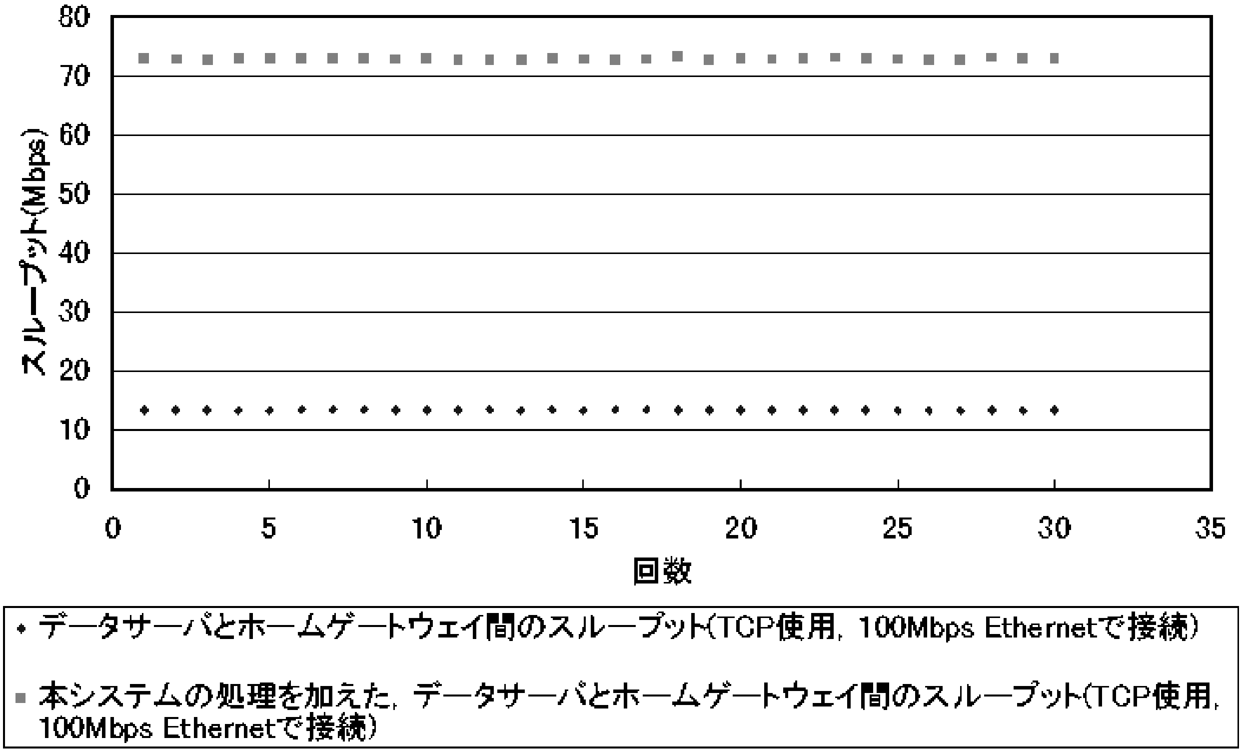


図 6.7: TCP を用いた 100Mbps の時のスループット

表 6.2: TCP を用いた 10Mbps の時のスループット

	平均値	最大値	最小値
データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	8.48	8.51	8.29
本システムの処理を加えた場合の データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	8.42	8.44	8.41

単位は Mbps

表 6.3: TCP を用いた 100Mbps の時のスループット

	平均値	最大値	最小値
データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	72.86	73.22	72.57
本システムの処理を加えた場合の データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	13.35	13.43	13.27

単位は Mbps

UDP を用いてスループットを計測した結果を図 6.8 に示す。また，それぞれの結果の平均値，最大値，最小値をそれぞれ表 6.4 に示す。

表 6.4: UDP を用いた 10Mbps の時のスループット

	平均値	最大値	最小値
データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	9.01	9.01	9.01
本システムの処理を加えた場合の データサーバとホームゲートウェイ間のスループット	9.01	9.01	9.01

単位は Mbps

6.3.2 カーネル内に加えた部分の処理時間の測定

本システムで，カーネル内に加えたいくつかの機構の処理にかかる時間を測定した。測定結果を，図 6.9 に示す。また，それぞれの結果の平均値，最大値，最小値をそれぞれ表 6.5 に示す。

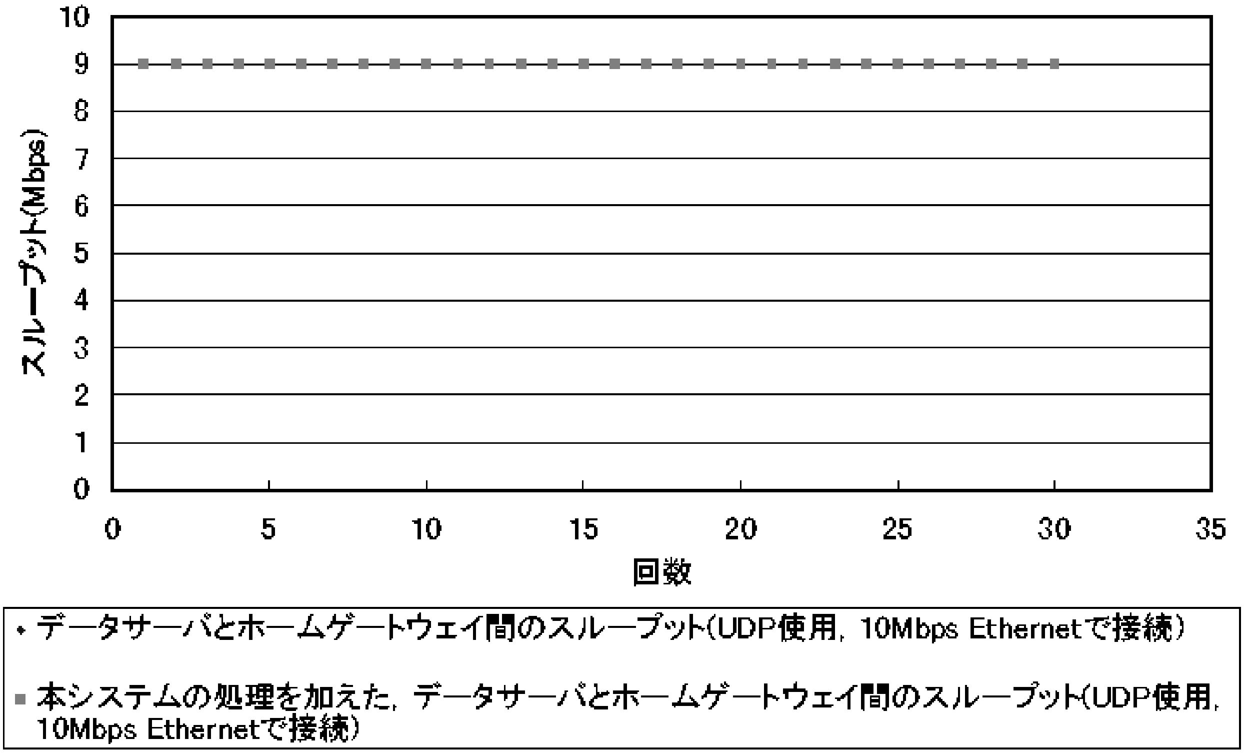


図 6.8: UDP を用いた 10Mbps の時のスループット

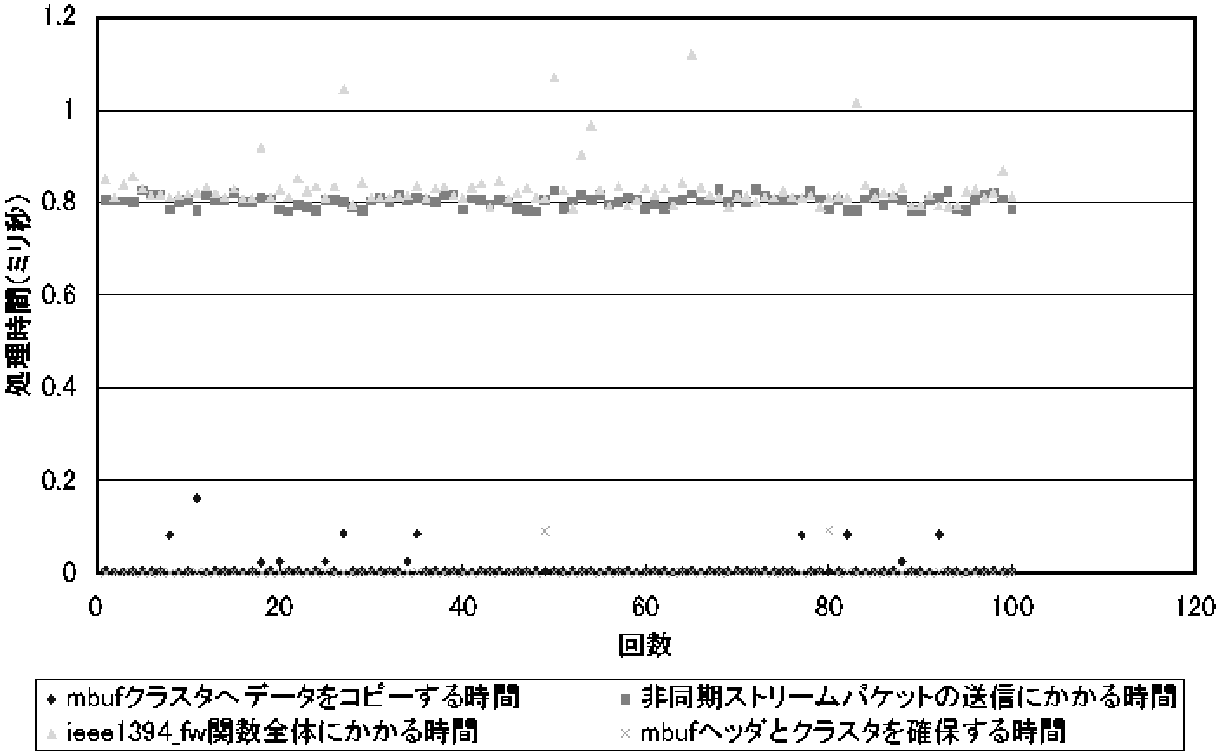


図 6.9: カーネル内の処理の測定

表 6.5: カーネル内の処理の測定

項目	平均値	最大値	最小値
`ieee1394_fw` 関数全体にかかる時間	0.83	1.12	0.79
mbuf ヘッダとクラスタを確保する時間	0.01	0.09	0.01
mbuf クラスタへデータをコピーする時間	0.01	0.02	0.01
非同期ストリーム転送の処理にかかる時間	0.80	0.83	0.78

単位はミリ秒

6.4 定量的評価の考察

ホームゲートウェイとデータサーバが10Mbps の Ethernet で接続されている場合のスループットの差は，TCP コネクションを利用した場合0.1Mbps 程度，UDP の場合は30回の計測ですべて同じ値となった。しかし，100Mbps の Ethernet で接続されている場合，TCP コネクションを利用すると，60Mbps という大きな差が生じた。また，UDP を用いた場合，実験環境では測定結果が取れなかった。

本システムでカーネル内に加えた機構の処理にかかる時間を測定することによって，100Mbps の Ethernet でホームゲートウェイとデータサーバが接続されている時のオーバヘッドの原因が，非同期ストリームパケットを送信する処理であることが分かった。`ieee1394_fw` 関数全体の処理にかかる時間の平均が0.83ミリ秒であるのに対し，非同期ストリームパケットを送信する処理にかかる時間の平均が0.80ミリ秒であった。これは，`ieee1394_fw` 関数の処理全体の96.6%にあたる。

6.5 関連研究の定量的評価

本節では，関連研究としてIP over IEEE1394とNATを利用したIP over IEEE1394の測定をする。IP over IEEE1394と，NAT を用いたIP over IEEE1394を比較することによって，ユーザ空間で行われるNATの処理のオーバヘッドが，どの様にスループットに影響を与えるかを考察する。

6.5.1 IP over IEEE1394の測定

関連研究の定量的評価として，IP over IEEE1394の測定を行った。測定環境は，CIP，CAV として使用している計算機とホームゲートウェイとして使用している計算機を利用した。また，測定にはttcp プログラムを使用し，100Mbyte のデータをパケットの大きさを変えながら，30回送信した場合のスループットを計測した。測定結果を図6.10に示す。

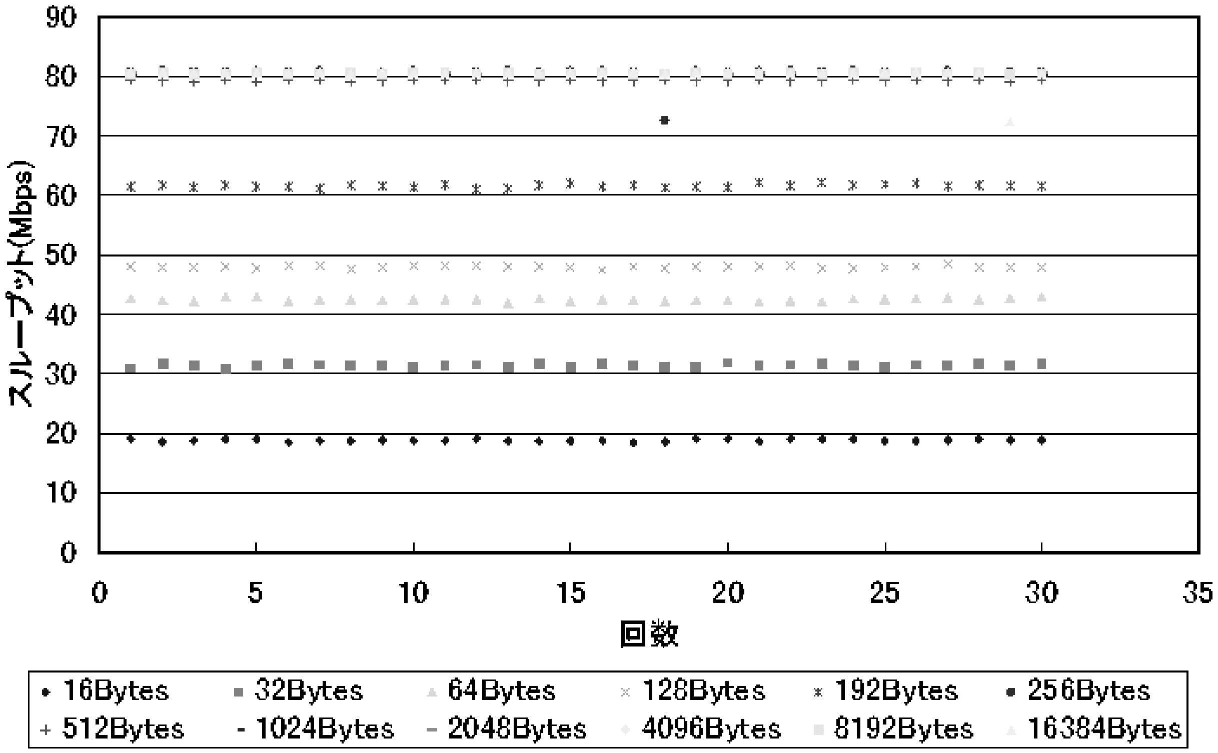


図 6.10: IP over IEEE1394 のスループット

6.5.2 NAT を用いた IP over IEEE1394 の測定

IP over IEEE1394 を，NAT を利用して IEEE1394 ネットワークとインターネットを接続し，その性能を測定した。ホームゲートウェイ上に NAT デーモンを実行し，ホームゲートウェイとデータサーバを 100Mbps の Ethernet で接続した。

測定には ttcp プログラムを使用し，パケットサイズを 16384 バイトにして 100Mbyte のデータを 30 回送信した。同じパケットサイズで測定した IP over IEEE1394 を性能比較の対象とした。測定結果を図 6.11 に示す。

6.5.3 非同期転送と非同期ストリーム転送の処理時間の測定

同じ大きさのパケット (1440 バイト) の処理にかかる時間を，非同期転送と非同期ストリーム転送で測定した。測定結果を図 6.12 に示す。また，それぞれの結果の平均値，最大値，最小値をそれぞれ表 6.6 に示す。

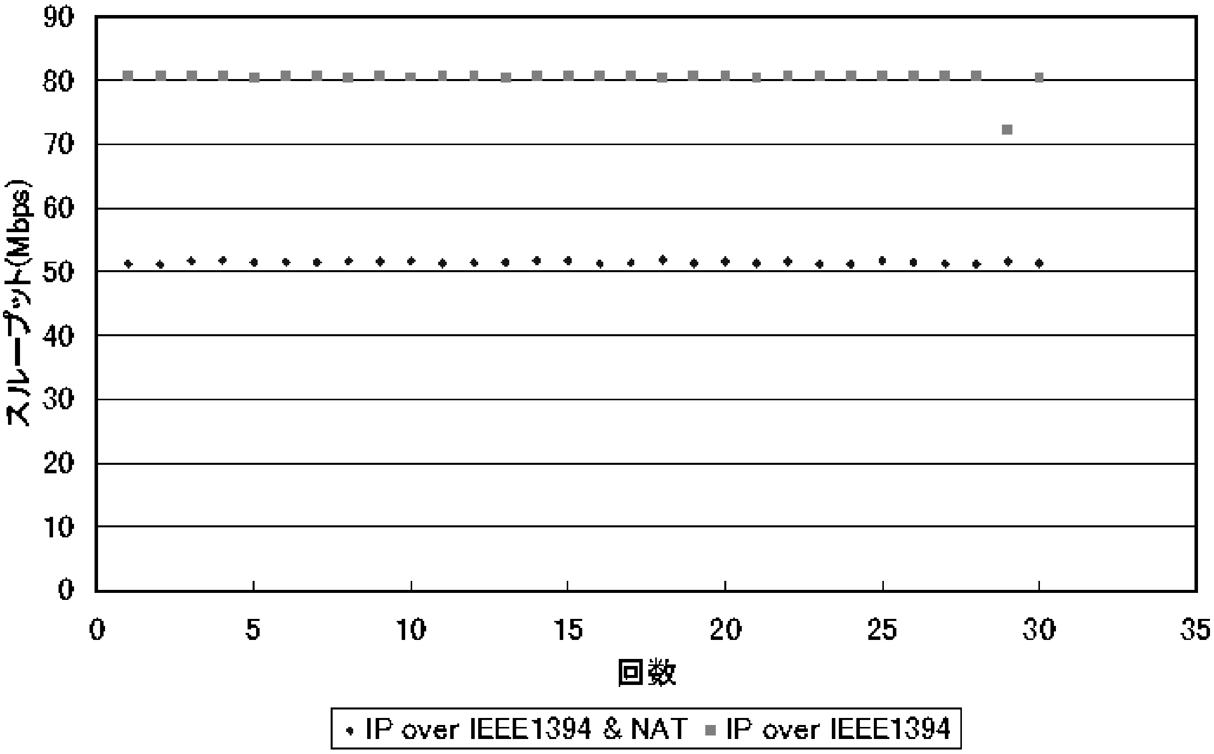


図 6.11: NAT を使った IP over IEEE1394 のスループット

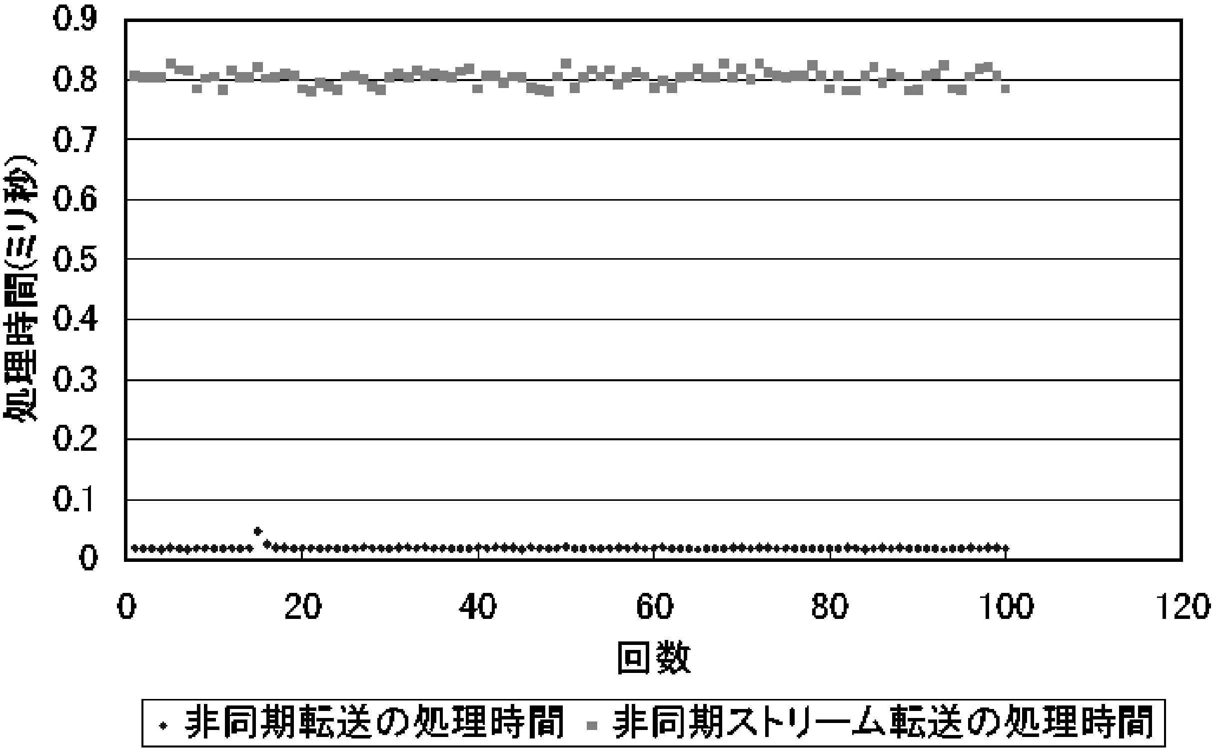


図 6.12: 非同期転送と非同期ストリーム転送の処理時間の測定

表 6.6: 非同期転送と非同期ストリーム転送の処理時間の測定

	平均値	最大値	最小値
非同期転送の処理にかかる時間	0.02	0.05	0.02
非同期ストリーム転送の処理にかかる時間	0.80	0.83	0.78

単位はミリ秒

6.6　関連研究の定量的評価の考察と比較

IP over IEEE1394は，パケットサイズが256バイトまではスループットが上昇し，256バイト以降は比較的安定している。しかし，パケットサイズが256バイトの時より512バイトの時の方がスループットが落ちており，それ以降はほぼ一定だが，パケットサイズが大きいほど平均のスループットは高い。

また，NATを用いたIP over IEEE1394のスループットはNATを利用しない場合より30Mbpsほどスループットが落ちている。これは，パケットを一度ユーザ空間のNATデーモンに渡され，再びカーネル空間に渡されるためである。

図6.12から，非同期転送と非同期ストリーム転送の処理時間には，大きな差があることが分かる。非同期転送にかかる処理時間は，非同期ストリーム転送にかかる処理時間の2.4%である。

本システムとNATを利用したIP over IEEE1394の測定結果を比較すると，スループットはNATを利用したIP over IEEE1394の方が高い。これは，IP over IEEE1394のユニキャスト通信が，非同期ストリーム転送に比べて処理時間のオーバヘッドが少ない非同期転送を使用しているためである。本システムは非同期ストリーム転送を使用しているため，非同期転送を用いるIP over IEEE1394よりスループットが低い。

6.7　定性的評価

第4章で述べた関連技術と，本研究との定性的評価を行う。比較対象の関連研究を以下に示す。

- IP over IEEE1394
- IEEE1394 over IP
- NAT, IP masquerade

6.7.1 IP over IEEE1394 との比較

IP over IEEE1394 は，IP パケットを IEEE1394 上に送信させる技術である。IP over IEEE1394 は，送信側も受信側も IP 通信が可能な環境において使用可能であり，既存のネットワークインタフェースである Ethernet や FDDI と同じように利用できる。IP over IEEE1394 をホームネットワークとインターネットを接続する技術として利用することを考えた場合，ホームネットワークが IP 通信が可能な環境である必要がある。ホームネットワークには，計算機のように IP 通信が可能である機器があるが，AV 機器のように IP 通信ができない機器も存在する。従って，IP over IEEE1394 を利用して計算機とインターネットは通信できるが，AV 機器とインターネットは通信できない。

本システムでは，AV 機器が直接インターネットにアクセスすることは想定していない。インターネットと通信を行うのは計算機を中心とした IP 通信が可能な機器だけである。計算機とインターネットとの通信の中で，AV 機器で出力，保存する場合，IEEE1394 パケットに変換して送信する。

6.7.2 IEEE1394 over IP との比較

IEEE1394 over IP は，IEEE1394 パケットを IP のネットワークを使ってトンネルさせる技術である。パケットを送受信する双方のノードが，IEEE1394 に接続されたノードである場合に，この技術を利用できる。この技術をホームネットワークとインターネットを接続する技術として利用する場合，インターネット上に存在する IEEE1394 ノードから送信されるデータを，ホームネットワーク内で受信することは可能である。また，ホームネットワークに接続している IEEE1394 ノードから情報を発信して，インターネット上の他の IEEE1394 ノードで受信することも可能である。

このどちらの場合でも送受信する双方のノードが IEEE1394 のノードである必要がある。しかし，インターネットに接続されているノードが，必ずしも IEEE1394 ノードであるとは限らない。むしろ，Ethernet や FDDI に接続された計算機である場合がほとんどである。家庭からインターネットを利用するユーザは，この計算機にアクセスし様々な情報を取得している。このような現状の環境において，IEEE1394 over IP の利用は難しい。

6.7.3 NAT, IP masquerade との比較

NAT や IP masquerade は，IP 通信が可能な環境同士を接続する技術である。ホームネットワークのようなローカルネットワークと，インターネットのようなグローバルネットワークの両方が IP 通信が可能である場合，この技術を利用できる。

しかし，IP over IEEE1394 と同様に，ホームネットワークには IP 通信が可能な機器と，IP 通信ができない機器とが混在する。計算機が NAT や IP masquerade を利用してホームネットワークからインターネットを利用することは可能であるが，AV 機器でインターネット上の情報を取得することはできない。

以上の関連研究と，本研究との定性的評価を表 6.7 に示す。

表 6.7: 本システムと関連研究との定性的評価

	A	B	C
IP over IEEE1394	○	○	×
IEEE1394 over IP	×	○	○
NAT, IP masquerade	○	△	×
本研究	○	○	○

A: インターネットに接続されているノードのインタフェースに関係なく使用可能

B: ホームネットワークにIEEE1394を使用

C: ホームネットワーク内の機器の種類に関係なく使用可能

第 7 章

結論

7.1　まとめ

家庭内の様々な機器をネットワークに接続し，ホームネットワークを構築する技術が提案されている。ホームネットワークを構築する技術の一つとして，広い通信帯域を持ち，AV 機器や計算機との親和性から IEEE1394 が注目されている。

既存の IEEE1394 を用いたホームネットワーク技術は，家庭内という限られた範囲内での機器の制御や管理を実現している。しかし，インターネットとの接続性は考慮されていない。また，ホームネットワークとインターネットを接続する研究が行われているが，ホームネットワークもしくはインターネットに接続される機器や計算機を限定したものである。

本研究で設計，実装したシステムにより，家庭内の計算機からインターネットを利用し，インターネットで取得した情報をホームネットワークに接続されている機器へ送信することが可能となった。

本システムを利用することにより，IP による通信ができない AV 機器のような家電製品で，インターネット上の情報を取得できる。また，ホームネットワークに接続された機器およびインターネット上で情報を発信するサーバには，複雑な変更は必要とせず，ホームゲートウェイを利用することで要求を実現できる。

7.2　今後の課題

本研究では，ホームゲートウェイを利用して，IEEE1394 に接続された機器でインターネット上のデータサーバから送信されたデータを受信できた。

今後の課題を以下に示す。

7.2.1　CAV での input 処理の実装

本システムでは，ホームゲートウェイから CAV に送信されたデータをユーザ空間まで上げていない。本研究では，インターネットから送信されてくる IP データグラムを IEEE1394 パケットに変換する機構を中心に，設計と実装を行った。測定，評価もパケットの処理時

間を中心に行ったため，データサーバからCAVまでのスループットの計測を行っていない。CAVにIEEE1394パケットのinputの処理をする機構を設計，実装することによって，システム全体のスループットを計測することが可能となる。

7.2.2　処理性能が高いドライバの実装

本論文で，本システムのオーバヘッドがドライバの処理部分に存在することを述べた。ドライバでの処理時間が速くなる実装を行うことによって，より高いスループットが得られる。

またホームゲートウェイとCAVとの通信に，非同期ストリーム転送を使用した。この理由は，ネットワークチャネルを利用することによってIEEE1394のバスリセットが起こった場合も通信が継続できるという点であった。同じくネットワークチャネルを使う通信として，アイソクロノス転送がある。本システムを実験環境で実装中に，アイソクロノス転送を使用する場合の実装も行った。しかし，ドライバの処理部分でバッファが確保できないエラーが発生したためその実装での評価を断念した。

アイソクロノス転送は，定期的にパケットを送信するため動画像データのような連続メディアデータを処理する場合に適している。アイソクロノス転送を正しく処理することができるドライバを実装することによって，非同期ストリーム転送ではなく，アイソクロノス転送を利用したシステムを構築することができる。

7.2.3　転送速度が高いIEEE1394の使用

本システムでは，転送速度が100MbpsのIEEE1394ボードを4枚使用した。IEEE1394-1995では，IEEE1394の転送速度は400Mbpsまで規格化されている。転送速度が高いボードを利用することによって，本システムの処理速度ががどのように変化するのかを考察する必要がある。

第 8 章

謝辞

本研究を進めるにあたり御指導頂きました，慶應義塾大学環境情報学部教授の徳田英幸博士，同学部教授の村井純博士に感謝致します。また，研究会を通して御世話になりました，同学部助教授の楠本博之博士，同学部専任講師の中村修博士，同学部助手の植原啓介氏に感謝致します。

そして，日々の研究活動や勉強会で多くの貴重な御助言を頂きました，慶應義塾大学環境情報学部助手の西尾信彦氏，開発環境やIEEE1394に関する多大な知識や情報を御教授頂きました，同大学SFC研究所の戸辺義人氏に深く感謝致します。

日頃から多くの御指導を頂きました，田村陽介氏，楠根雄志氏，永田智大氏，岩本健嗣氏，中澤仁氏をはじめとする慶應義塾大学政策・メディア研究科の諸先輩方にはこの場を借りて御礼申し上げます。また，古坂大地氏，新井仁氏をはじめとするMCng研究グループのメンバ，そして徳田・村井・楠本・中村研究室の諸氏には，研究会活動を通して御助言や御意見を頂きましたことを御礼申し上げます。

最後に，様々な場面で心の支えとなり暖かく見守って下さった，多くの友人に感謝します。そして何よりも，私の大学進学や研究活動に理解を示し援助し続けてくれた両親に深い感謝の念を表し，謝辞と致します。

参考文献

[1] "HAVi(Home Audio/Visual Interoperability)"
http://www.havi.org/

[2] "HWW(Home Wide Web)"
http://www.sosimple.com/

[3] "HomePNA(Home Phoneline Networking Alliance)"
http://www.homepna.org/

[4] "HomeRF Working Group"
http://www.homerf.org/

[5] 中西 美一 "分散型計測制御システムに適した遠隔管理技術の開発について". 四国電力および四国総合研究所研究期報, December 1996

[6] IEEE Std 1394−1995 "High Performance Serial Bus". August 1996

[7] P1394a Draft 2.0 "Draft Standard for a High Performance Serial Bus"

[8] P1394b Draft 0.10 "Draft Standard for a High Performance Serial Bus"

[9] P. Johansson "IPv4 over IEEE1394". draft-ietf-ip1394-ipv4-12.txt, November 1998

[10] 林他 "AMInet:次世代マルチメディアネットワークアーキテクチャ". 日本ソフトウェア科学会第14回全国大会, October 1997

[11] Akimichi Ogawa etc. "Design and Implementation of DV Stream over Internet", November 1998

[12] K.Egevang, P.Francis "The IP Network Address Translator (NAT)". Internet Request For Comments RFC 1631, May 1994

[13] Gary R. Wright, W. Richard Stevens "TCP/IP Illustrated, Volume 2". Addison Wesley, 1995

[14] W. Richard Stevens=著/篠田 陽一=訳 "UNIX NETWORK PROGRAMMING". PRENTICE HALL, 1992

[15] 稲田 元彦 “入門 IEEE1394 規格”. 技術評論社, 1998

[16] 日経エレクトロニクス ･ブックス “IEEE1394 ディジタル時代の高速インタフェース”. 日経 BP 社, 1998