

Title	家電ネットワークのためのIEEE1394-IEEE802.3透過接続に関する研究
Author(s)	菊池, 研自
Citation	
Issue Date	2002-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1541
Rights	
Description	Supervisor:丹 康雄, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

家電ネットワークのための
IEEE1394-IEEE802.3 透過接続に関する研究

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

菊池 研自

2002年3月

修士論文

家電ネットワークのための IEEE1394-IEEE802.3 透過接続に関する研究

指導教官 丹 康雄 助教授

審査委員主査 丹 康雄 助教授

審査委員 日比野 靖 教授

審査委員 篠田 陽一 教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報システム学専攻

010037 菊池 研自

2002年2月15日

目次

1	はじめに	1
2	研究の背景	3
2.1	IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格を接続する技術	3
2.1.1	IEEE802.1 規格のブリッジ	3
2.1.2	IEEE802.3 規格でのリアルタイム伝送	4
2.2	上位層サービスの展望	5
2.2.1	IEEE1394 ネットワーク上のサービス	5
2.2.2	IEEE802.3 ネットワーク上のサービス	6
2.3	まとめ	7
3	研究の目的	8
3.1	接続に残された技術的な問題点	8
3.2	IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項	11
3.2.1	想定するネットワークの接続形態	11
3.2.2	IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項	12
3.3	まとめ	15
4	IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構	16
4.1	ブリッジ機構のプロトコルスタック	16
4.1.1	非同期伝送向けプロトコルスタック	16
4.1.2	リアルタイム伝送向けプロトコルスタック	18
4.2	メディアリレイ層	19
4.3	ブリッジ機構を利用する上位層サービス	20
4.3.1	ブリッジ機構を利用する上位層サービスの枠組み	21
4.3.2	非同期伝送を利用する上位層サービス	22
4.3.3	リアルタイム伝送を利用する上位層サービス	27
4.4	まとめ	29
5	非同期伝送	30
5.1	伝送概念の相違とその対応	30

5.1.1	ヘッダ情報の調整	31
5.1.2	フレーム長の調整	37
5.1.3	リンク速度の調整	38
5.2	上位層サービスの実行	47
5.2.1	IEEE1394 トランザクションサービス	47
5.2.2	IP サービス	53
5.3	まとめ	58
6	リアルタイム伝送	60
6.1	伝送概念の相違とその対応	60
6.1.1	IEEE802.3 ネットワークへのコネクションの導入	61
6.1.2	ヘッダ情報の調整	64
6.2	上位層サービスの実行	69
6.2.1	リアルタイム伝送	69
6.2.2	IP サービス	71
6.3	まとめ	73
7	今後の課題	75
7.1	非同期伝送におけるアドレスマッピング	75
7.2	IEEE802.3 インターフェイスからのリアルタイム伝送	76
7.2.1	フレーム送出間隔の揺らぎ	76
7.2.2	結果のまとめ	82
7.3	まとめ	83
8	おわりに	84

目 次

3.1	非同期伝送におけるプロトコルスタックの相違	9
3.2	トランザクションサービス	10
3.3	接続形態 (1)	12
3.4	接続形態 (2)	13
4.1	ブリッジ機構の非同期伝送向けプロトコルスタック	17
4.2	ブリッジ機構のリアルタイム伝送向けプロトコルスタック	18
4.3	メディアリレイ層	19
4.4	上位層サービスのプロトコルスタック	22
4.5	IEEE1394 トランザクションサービス	23
4.6	ARP	24
4.7	IP プロトコル	26
4.8	リアルタイム伝送	28
4.9	IEEE1394 アイソクロナスフレームを用いる IP プロトコル	28
5.1	中間フォーマットを用いた非同期フレームの変換	36
5.2	参加ノード数に対するブリッジのスループット	39
5.3	IEEE1394 ネットワークの公平調停 (fairness arbitration)	40
5.4	提案型の調停方式の概略	42
5.5	IEEE802.3 からのトラフィック量に対するスループット	43
5.6	提案型調停を用いた S100 ネットワークのスループット	44
5.7	提案型調停を用いた S200 ネットワークのスループット	45
5.8	提案型調停を用いた S400 ネットワークのスループット	46
5.9	IEEE1394 分割トランザクション (書込み)	48
5.10	IEEE802.3 から IEEE1394 への分割トランザクション (書込み)	49
5.11	IEEE802.3 から IEEE1394 への分割トランザクションの状態図	50
5.12	状態図の凡例 (1)	51
5.13	IEEE1394 から IEEE802.3 への分割トランザクション (書込み)	53
5.14	IEEE1394 から IEEE802.3 への分割トランザクションの状態遷移	54
5.15	状態図の凡例 (2)	54
5.16	IEEE802.3 から IEEE1394 への ARP	56
5.17	IEEE1394 から IEEE802.3 への ARP	57

5.18	IEEE802.3 から IEEE1394 への IP プロトコル	57
5.19	IEEE1394 から IEEE802.3 への IP プロトコル	58
6.1	中間フォーマットを用いたアイソクロナスフレームの変換	68
6.2	IEEE802.3 から IEEE1394 への映像情報フレーム	70
6.3	IEEE1394 から IEEE802.3 への映像情報フレーム	71
6.4	IEEE802.3 から IEEE1394 への IP プロトコル	72
6.5	IEEE1394 から IEEE802.3 への IP プロトコル	73
7.1	Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (1)	77
7.2	Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (2)	78
7.3	Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (3)	79
7.4	Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (1)	80
7.5	Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (2)	81
7.6	Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (3)	82

表 目 次

5.1	ヘッダ情報の相違	32
5.2	IEEE1394 非同期フレームの最大ペイロード長	37
5.3	IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長	37
5.4	IEEE802.3 ネットワーク上のフレームサイズの分布	38
5.5	伝送速度と伝送に必要なユニット数	41
5.6	ラベルの持つ記号	51
6.1	リアルタイム伝送に必要なヘッダ情報の相違	66
6.2	優先値と変換されるフレーム種別	68
6.3	IEEE1394 アイソクロナスフレームの最大ペイロード長	69

第 1 章

はじめに

われわれの家庭には、さまざまな家電製品に加え、電灯線、電話線など複数の伝送媒体が存在する。これら複数の伝送媒体を接続することで、これまでに異なる伝送方式を利用していたため互換性のなかった家電製品間の相互操作や、それぞれ独立した環境で取得、利用されていた情報を共有した、より魅力的なサービスの提供が可能となる。

複数の家電メーカーにより、家庭内のさまざまな白物家電製品や住宅設備機器に適用することができ、コントローラを介した有機的な連携運転による、省エネルギー化、または高齢化社会の在宅介護を目的とした ECHONET(Energy Conservation and HOmecare NETwork)[2] が提案されている。この ECHONET は、電灯線を中心に無線、赤外線などさまざまな伝送媒体をミドルウェアによりソフトウェア的に変換し接続するものである。そのため接続機構は階層化され、それぞれのインターフェイスが定められたオープンなアーキテクチャとなっている。このことは、各ベンダーに対しては、ユーザ向けサービスを提供するアプリケーションの自由な開発、製品化を可能とする。また、ユーザに対しては、ECHONET に対応したさまざまなメーカーの製品を選択、接続し容易にアプリケーションシステムを構築することを可能にするものである。

さらに ECHONET では、家庭内の映像系システムや情報系システムとの接続、共存により、魅力的なアプリケーションを構築することを目標に掲げている。その家庭内映像系システムの伝送媒体としては、高速な映像情報を途切れなく送受信でき、近年の家電市場において、対応したインターフェイスを持つ製品が数多く登場した IEEE1394 規格 [3] が有望である。一方、社会との快適な繋がりを提供し、ユーザが安価に構成することができる家庭内情報系システムの伝送媒体としては、コンピュータネットワークや家庭内 LAN として広く普及している IEEE802.3 規格 [4] が挙げられる。この IEEE802.3 規格は、大容量通信、マルチメディア化の進展に伴い広帯域利用が標準化され、これまでの電話網やケーブルテレビ網と共にインターネットなど外部との通信への利用がはじまっている。

本研究では、このような社会的状況に即し、ECHONET に代表される家電ネットワークの構成要素として、映像系伝送媒体の主要規格である IEEE1394 規格と、情報系伝送媒体の主要規格である IEEE802.3 規格を接続する機構を提案する。この接続機構では、リアルタイム性を要求する映像情報フレームの高速な受渡しを狙いとし、データリンク層ま

での技術を用いたブリッジ接続を行なう。さらに本研究では、このブリッジ機構を利用しユーザアプリケーションへサービスを提供するであろう上位層サービス、上位層プロトコルについて、それぞれネットワーク上で発達した品質を劣化させることなく、異なる規格のネットワーク間でサービスを遂行する方式を検討する。

以降、第2章では、異なる伝送概念を持つIEEE1394規格、IEEE802.3規格の接続を可能とする近年の技術動向と、接続後、上位層サービスに生まれるメリットについて論じる。第3章では、IEEE1394規格、IEEE802.3規格の接続に残された技術的な問題点をまとめ、本研究で提案するIEEE1394 - IEEE802.3ブリッジ機構への要求事項を明らかにする。第4章では、ブリッジ機構の基本アーキテクチャと上位層で利用を想定するサービスの枠組みについて論じる。第5章、第6章ではブリッジ機構の提供する伝送方式であり、通常フレーム伝送に利用される非同期伝送と、映像、音声などのフレーム伝送に利用されるリアルタイム伝送について、それぞれの方式での接続と、ブリッジ機構により、IEEE1394ネットワーク、IEEE802.3ネットワーク間へ拡張される上位層サービスの遂行について論じる。第7章では、今後の課題についてまとめ、第8章では、本論文の全体をまとめる。

第 2 章

研究の背景

IEEE802.3 ネットワークでフロー毎に QoS 制御を実現する、IEEE802.1Q 規格 [8] の策定と、この規格に対応した高機能スイッチの出現は、本研究をはじめ大きな要因となった。本章では、映像系伝送媒体である IEEE1394 規格と、情報系伝送媒体である IEEE802.3 規格の接続を可能にする、近年の技術動向について論じる。その後、IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格を接続することで、異なるネットワークを通じて利用可能になる上位層サービスのメリットを、利用者の側に立ち展望する。

2.1 IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格を接続する技術

IEEE1394 規格は、IEEE1394-1995 として 1995 年に正式に策定された新しい規格であり、帯域の有効活用や広帯域利用などの要求から、現在も盛んに拡張の議論が続けられている。これに対して、IEEE802.3 規格は、無線通信に利用された ALOHA システムから発達した、古い歴史を持つ規格である。しかしながら、この IEEE802.3 規格はさまざまな要求を満たすため近年でも拡張が続けられている。

ここでは、IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格を接続する技術として、異なる伝送媒体を接続する IEEE802.1 規格のブリッジと、IEEE802.3 規格ヘリアルタイム伝送を導入する要素となる技術について説明する。

2.1.1 IEEE802.1 規格のブリッジ

IEEE802 規格の異なる MAC 副層を持つセグメントを接続するブリッジ機構として

- IEEE802.1B 規格 [6]
- IEEE802.1D 規格 [7]

が定められている。IEEE802.1B 規格は、LAN 環境のブリッジ接続で必要となるセグメント管理に関する情報を交換するブリッジ間プロトコルや、そのためのフレームフォーマットを規定するものである。IEEE802.1D 規格は、IEEE802.4 規格に定められたトークンリ

ングや IEEE802.5 規格に定められたトークンバスなど、伝送概念の異なるセグメントを MAC 副層までの技術で接続する方式を定めるものである。

異なる伝送規格を接続する IEEE802.1D 規格は、MAC 副層以下の異なる伝送媒体間でフレームを交換するため、それぞれの伝送媒体で利用されるフレームフォーマットを、一時的に中間的なデータ構造を持つフレームに置き換える。この方式は、IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格間のフォーマットの異なるフレーム交換に応用することができる。

この方式を利用したフレームフォーマットの変換については、5.1.1 節、6.1.2 節で詳細に説明する。

2.1.2 IEEE802.3 規格でのリアルタイム伝送

家庭内映像系システムの主要規格である IEEE1394 規格は、非同期伝送に加え、リアルタイム性を必要とするデータ向けにアイソクロナス伝送を提供するネットワークである。IEEE1394 アイソクロナス伝送は、IEEE1394 非同期伝送により確立されたチャネルを利用したフレーム伝送である。これに対して、家庭内情報系システムの主要規格である IEEE802.3 規格は、非同期伝送だけを定めたネットワークである。しかし、近年の IEEE802.3 規格のフレーム伝送では、

- 全二重伝送による接続の一般化
- IEEE802.1Q により追加された VLAN 識別子と高機能スイッチを併用した QoS 保証の実現
- 経路管理機構 (PAAM: PAtH Allocation Manager)[15] による End-to-End の帯域を保証した経路の確立技術

により IEEE1394 アイソクロナス伝送と同様に、経路を確立したリアルタイム性の要求を満たすフレーム伝送が可能となっている。次に、それぞれの技術についてまとめる。

全二重伝送

IEEE802.3 規格では、1 本の伝送媒体を共有した半二重の伝送形態をもとに多くの技術が発達している。しかし、近年では各ノードが帯域を占有する全二重の伝送形態で接続することが一般的となり、半二重伝送での CSMA/CD 方式による確率的な伝送形態ではなくなっている。このことは、他ノードによる帯域の利用を排除するため、フレームを送出するノードによる完全な帯域の管理を可能にする。

IEEE802.1Q 規格と高機能スイッチ

IEEE802.1Q 規格では、これまでのフレームフォーマットに優先度制御や VLAN 識別子が追加された。IEEE802.1Q 規格に対応した高機能スイッチは、これらの情報をもとにフレームの送出スケジューリングを行ない、VLAN 識別子を持つフロー毎に QoS 制御を

行なう。このことは、IEEE1394 アイソクロナス伝送で行なわれる、チャンネル毎に帯域を管理したリアルタイム伝送を IEEE802.3 ネットワークで可能にする。

経路管理機構

経路管理機構は、全二重伝送で接続されたネットワークに IEEE802.1Q 規格に対応した高機能スイッチが設置されていることを前提に、送信元ノードから受信ノードまで最適な経路を選択し、経路上のスイッチにフロー毎の QoS パラメータを設定する機構である。これは、IEEE1394 アイソクロナス伝送を行なうためのコネクション確立に利用される、CMP(Connection Management Procedures)[9] に相当する機能を IEEE802.3 ネットワークで実現するものである。

経路管理機構と CMP を利用した、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のコネクションの確立については、6.1.1 節で詳細に説明する。

2.2 上位層サービスの展望

適切な技術を応用し IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークをブリッジ接続することで、それぞれのネットワーク上で発達した上位サービスを相互に利用することが可能になる。本節では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの順で上位層に発達し一般的に利用されているサービス及び、現在家電メーカーが積極的に実装へ取り組んでいることから、今後普及が予想されるサービスをまとめる。その後、異なる規格のネットワークから利用することにより付加される利用者側のメリットについて検討する。

2.2.1 IEEE1394 ネットワーク上のサービス

IEEE1394 非同期伝送を利用するサービスとして

- HAVi(Home Audio/Video Interoperability) プロトコル [14]
- FCP(Function Control Protocol) プロトコル [9]

がある。これらのプロトコルは、主に家電製品間で利用されるサービスであり、IEEE802.3 ネットワークへ適用範囲が広がることで、コンピュータの介在した質の高いサービスの提供が可能になる。

また、IEEE1394 アイソクロナス伝送を利用する、代表的な映像フォーマットとして

- SD-DVCR(Standard Definition Digital Video Cassetterecorder)[10]
- MPEG2-TS(MPEG2 Transport Stream)[11]

が挙げられる。これらはリアルタイム性のあるフレーム伝送を要求するため、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の接続には、データリンク層までの技術を用いて実現するブリッジ接続が有効である。以降、それぞれのサービスと IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの接続から得られるメリットについてまとめる。

HAVi プロトコル

HAVi プロトコルは、家電ネットワークにおける相互操作性や分散アプリケーションの構築を容易にするプロトコルであり、IEEE1394 ネットワーク上で利用されるものである。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークを接続することで、インターネットを通じた家電製品の操作、またはコンピュータの GUI を用いた家電製品の操作など、さまざまなアプリケーションの構築が可能となる。

FCP プロトコル

FCP プロトコルは、非同期伝送を利用して IEEE1394 ネットワーク上につながれた装置を制御するプロトコルである。AV 機器を操作するために定められたコマンドセットである AV/C プロトコル [1] などをカプセル化して利用する汎用的なフォーマットを持つ。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークを接続することで、HAVi プロトコルと同様に、AV 機器等を操作するさまざまなアプリケーションの構築が可能となる。

SD-DVCR

SD-DVCR は、民生用デジタルビデオカメラ、デジタルビデオデッキで利用される、一般的なデジタルビデオフォーマットである。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークを接続することで、IEEE802.3 ネットワークを間に挟む IEEE1394 ネットワークのリモート環境でビデオデータ配信、蓄積を行なうシステムの構築などが可能となる。

MPEG2-TS

MPEG2-TS は、デジタル放送用映像フォーマットである MPEG2 を多重化し、転送中のパケット損失や雑音の影響を抑える処理を加えたものである。この MPEG2-TS は、デジタル放送の配信に利用されている。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークを接続することで、セットトップボックスなど IEEE1394 インターフェイスを持つ装置から受信した、ビデオデータを IEEE802.3 ネットワークへ転送、蓄積して利用するシステムの構築などが可能になる。

2.2.2 IEEE802.3 ネットワーク上のサービス

一方の IEEE802.3 ネットワークの上位層では

- IP プロトコル [12]

が広く利用される。ネットワーク層で一般的に利用されるこのプロトコルは、IEEE1394 ネットワーク上で非同期伝送、またはアイソクロナス伝送を利用した伝送方式 [13] が既に定められている。この技術仕様に従い、IP プロトコルを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で利用することで、さまざまな上位層サービスやプロトコルを異なる規格のネットワーク間でシームレスに利用することが可能となる。

2.3 まとめ

本章では、映像系伝送媒体である IEEE1394 規格と、情報系伝送媒体である IEEE802.3 規格の接続を可能にする近年の技術動向と、それぞれのネットワーク上で発達した上位サービスの相互利用から生まれる、利用者側のメリットについて論じた。第 3 章では、IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格の接続に残された技術的な問題点と、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項について論じる。

第 3 章

研究の目的

本研究の目的は、家庭内映像系伝送媒体の主要規格である IEEE1394 規格と、家庭内情報系伝送媒体の主要規格である IEEE802.3 規格を接続し、異なる規格のネットワークに位置するユーザやアプリケーションへ魅力的なサービスを提供することである。この目的を遂行するため、本章では IEEE1394 規格、IEEE802.3 規格の接続に残された技術的な問題点をまとめ、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の接続形態と要求事項を明らかにする。

3.1 接続に残された技術的な問題点

第 2 章では、異なる伝送媒体である IEEE1394 ネットワークと、IEEE802.3 ネットワークの接続を可能にする技術として、異なるフレームフォーマットを持つ伝送媒体を接続する IEEE802.1 規格のブリッジ、IEEE802.3 ネットワークへコネクション指向のリアルタイム伝送を導入する 3 つの技術、全二重伝送、IEEE802.1Q 規格、経路管理機構を説明した。これらは、

- フレームフォーマットの相違
- リアルタイム伝送の概念の有無

といった IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の問題を解決する技術であった。しかし、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの接続には、既に解決への技術的手掛りを示したこれら 2 つの問題に加え

- 非同期伝送におけるプロトコルのスタックの相違
- 最大ペイロード長の相違
- リンク速度の相違

といった問題が存在する。なかでも、接続に大きな影響を及ぼす問題として残されているのが、非同期伝送におけるプロトコルスタックの相違である。以降、技術的な課題を残す問題について、非同期伝送におけるプロトコルスタックの相違、最大ペイロード長の相違、リンク速度の相違の順で説明する。

非同期伝送におけるプロトコルスタックの相違

IEEE1394 ネットワークの非同期伝送向けプロトコルスタックでは、リンク層の上位にトランザクション層が用意される (図 3.1)。この IEEE1394 トランザクション層は、読込

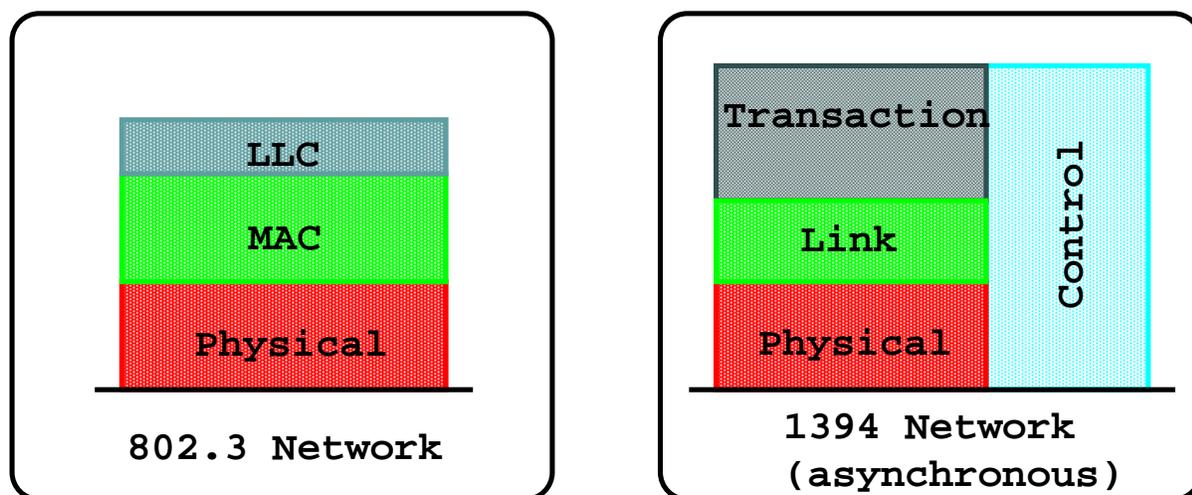


図 3.1: 非同期伝送におけるプロトコルスタックの相違

み、書込み、ロックの各トランザクションサービスを提供する。それぞれのトランザクションは、以下4つのサービスプリミティブで構成されている。

- 要求 (Request) - 送信ノードがトランザクションを開始する
- 指示 (Indication) - 受信ノードがトランザクションの到着を認識する
- 応答 (Response) - 受信ノードが状態やデータを返信する
- 確認 (Confirmation) - 送信ノードが応答データの到着を認識する

これらのサービスプリミティブの関係を図 3.2 に示す。

このようなサービスプリミティブにより、IEEE1394 非同期伝送では書込みトランザクションであれば、要求フレームの到着後、一定のアイドル期間においてフレームの到着を通達する確認通知が返される単一トランザクションの形態がとられる。また、読込みトランザクション、ロックトランザクションであれば、要求フレームの到着後、一定のアイドル

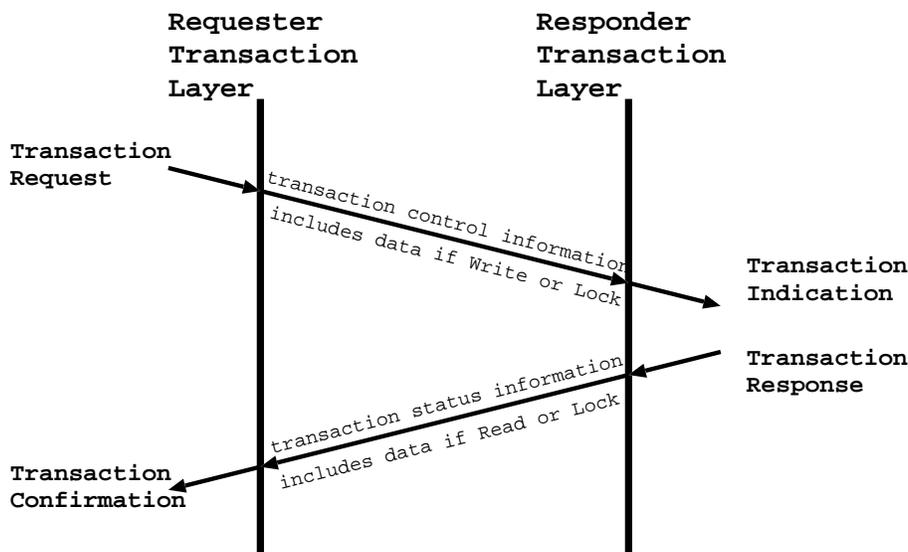


図 3.2: トランザクションサービス

ル期間において確認通知と応答フレームが返される連結トランザクションの形態がとられる。

IEEE1394 トランザクション層は、このような応答、確認に相当するサービスプリミティブを用いて

- フレーム伝送の保証サービス
- 効率的な帯域利用サービス

を提供することができる。フレーム伝送の保証は、要求フレームの宛先ノードがビジー状態であった場合、送信ノードへは混雑を意味する確認通知が返されることを利用して行なわれる。混雑を意味する確認通知が返された場合、送信ノードはレジスタに登録された再送回数を越えない限り、時間において要求フレームを再送することができる。また、効率的な帯域利用は、要求フレームを受信したノードが直ちに応答を返せない場合、実行中を意味する確認通知を返すことを利用して行なわれる。実行中を意味する確認通知が返された場合、IEEE1394 ネットワークでは、期待する応答を返さないトランザクションの終了を待たず、他のトランザクションへ実行を移す。このため、受信ノードの処理を待つ時間に、複数のトランザクションが実行可能となる。IEEE1394 ネットワークでは、このような形態のトランザクションを分割トランザクションと呼ぶ。

このように、トランザクション層がリンク層によるフレーム伝送にサービスを付加する IEEE1394 ネットワークの非同期伝送に対して、IEEE802.3 ネットワークでは、トランザクションの概念は存在せず、データリンク層での単純なフレーム伝送が行なわれているだけである。つまり、IEEE1394 非同期伝送ではトランザクション層の利用する応答プリミ

ティブ、確認プリミティブが存在し、IEEE1394 リンク層にはデータフレームに続いて、一定のアイドル期間後に確認通知が返されるが、IEEE802.3 データリンク層には、データフレームの送出後の確認通知は存在せず、そのためのアイドル期間も存在しない。

この問題については、4.1 節で対処方法の概要を述べ、後の 5.2 節で詳細に説明する。

最大ペイロード長の相違

伝送概念の相違から、IEEE1394 ネットワークと IEEE802.3 ネットワークの最大ペイロード長は一致しない。IEEE1394 ネットワークの最大ペイロード長は、非同期伝送の場合とアイソクロナス伝送の場合で異なり、またリンク速度によっても異なる。これに対して、IEEE802.3 ネットワークの最大ペイロード長は、リンク速度に影響を受けることなく一定である。

この問題については、5.1.2 節、6.1.2 節で対処方法を詳細に説明する。

リンク速度の相違

規格上の IEEE1394 ネットワークのリンク速度と、IEEE802.3 ネットワークのリンク速度は異なる。これに加え、IEEE1394 ネットワークは、複数のノードで帯域を共有する半二重伝送を行なうネットワークである。本研究で接続する IEEE802.3 ネットワークは、リアルタイム伝送の導入を目的とし、全二重伝送のネットワークを前提とすることから、IEEE1394 ネットワークの利用状況によってはリンク速度が著しく異なる可能性がある。

この問題については、5.1.3 節で対処方法を詳細に説明する。

3.2 IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項

ここまで、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの接続に残された問題点について説明してきた。本節では、第 2 章で展望した上位層サービスの実現に向け、本研究で想定する IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの接続形態と、提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項を明らかにする。

3.2.1 想定するネットワークの接続形態

第 2 章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークをブリッジ接続することにより

- 制御系プロトコルである、HAVi プロトコル、FCP プロトコルを利用した、インターネットを介して家電製品間を操作するシステム
- セットトップボックスで受信した映像データを、コンピュータへ転送し処理、蓄積するシステム

- IP プロトコルを利用し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で上位層のさまざまなサービスを共有するシステム
- IEEE802.3 ネットワークをトランジットネットワークとし、IEEE1394 インターフェイスを持つ製品間で映像情報を利用するシステム

といったアプリケーションシステムの構築が可能になることを示した。本研究で提案するブリッジ機構は、これらのアプリケーションシステムからの利用を想定し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の接続形態に

- (1) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を1つ利用し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークを接続する形態 (図 3.3)

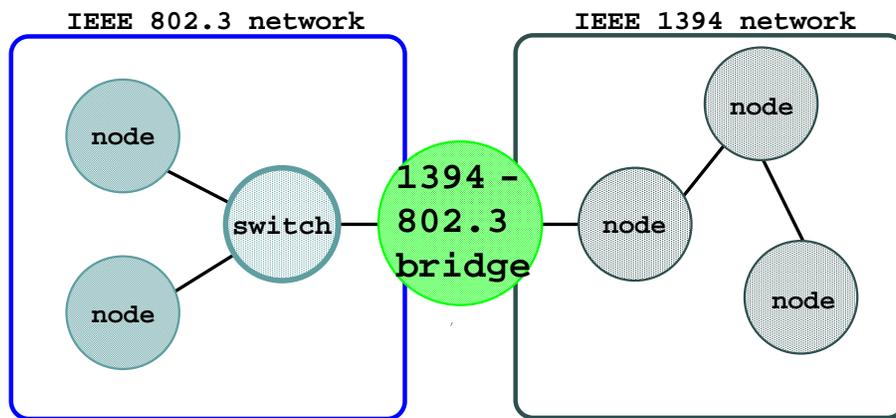


図 3.3: 接続形態 (1)

- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を2つ利用し、IEEE802.3 ネットワークをトランジットネットワークとする接続形態 (図 3.4)

を提供する。上記いずれの接続形態においても、IEEE802.3 ネットワークでは全二重伝送を提供するため、スイッチを介した接続となることが特徴である。また、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を2つ利用し、IEEE1394 ネットワークをトランジットネットワークとする形態も考えられるが、これはIEEE1394 規格の最大ケーブル長が4.5m と短いことから、メリットがないため省略した。

3.2.2 IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項

本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構は、上位層に、IEEE1394 ネットワーク上で発達した制御系プロトコルである、HAVi プロトコル、FCP プロトコル、IEEE802.3 ネットワーク上で発達した IP プロトコルを想定することから、非同期伝送を

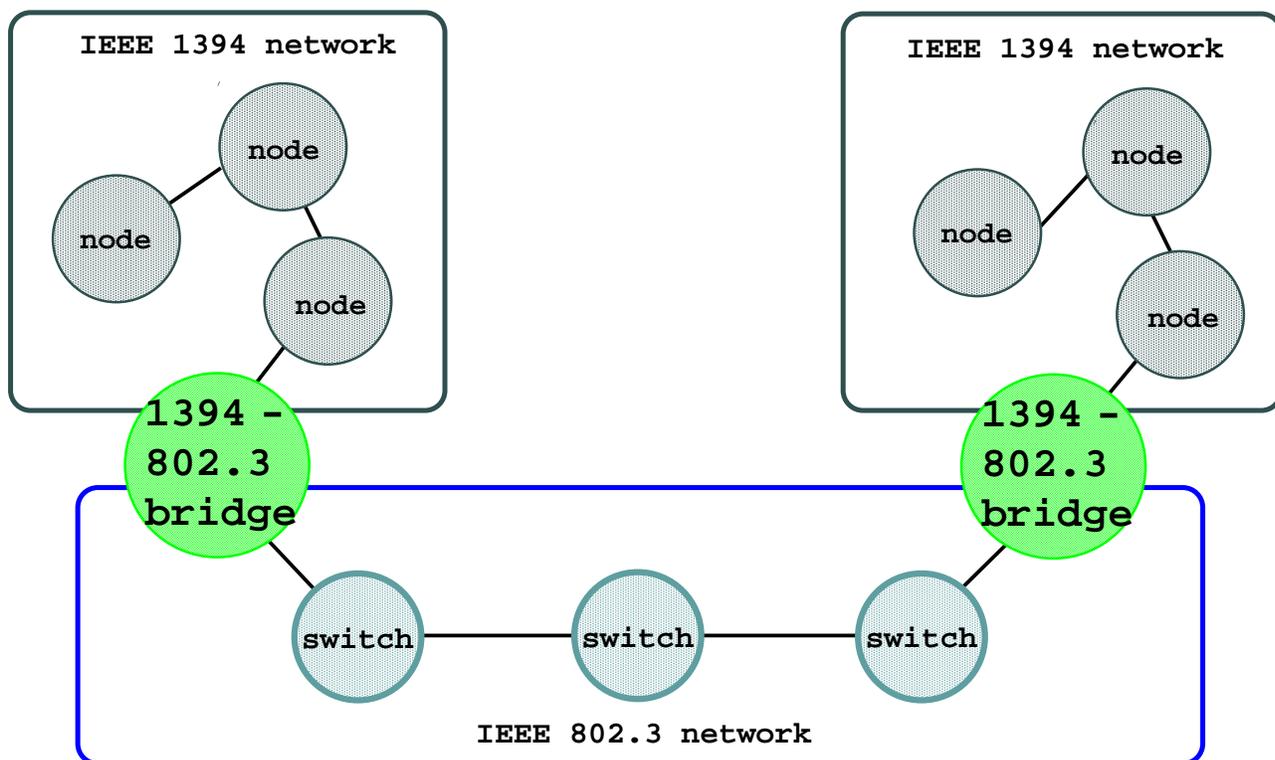


図 3.4: 接続形態 (2)

提供する必要がある。また、IEEE1394 ネットワーク上で発達した映像、音声などのサービスを想定するため、リアルタイム伝送を提供する必要がある。

以降、非同期伝送、リアルタイム伝送の順で IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項をまとめる。

非同期伝送への要求事項

本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を利用し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう目的は、

- 異なる規格のネットワーク上で発達した上位層サービスを透過的に利用すること

また、リアルタイム伝送に必要なコネクションの確立に非同期伝送が利用されることから

- IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行するリアルタイム伝送の手続きを行なうこと

の2つである。

これらの目的を遂行するため、前節までに挙げた問題点を解消する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項は

- IEEE1394 ネットワークのトランザクション層と IEEE802.3 ネットワークのデータリンク層の相違を解消すること
- IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームを交換すること
- IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長の相違を解消すること
- IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリンク速度の相違を緩和し、スループットの低下を抑えること

である。

リアルタイム伝送への要求事項

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でリアルタイム伝送を行なう目的は、

- IEEE1394 ネットワーク上で行なわれるリアルタイム性のあるフレーム伝送を、IEEE802.3 ネットワークへ拡張し、品質の高い映像や音声のサービスを透過的に利用すること

である。

この目的を遂行するため、前節までに挙げた問題点を解消する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項は

- コネクションを確立し、IEEE1394 ネットワークのアイソクロナス伝送と IEEE802.3 ネットワークのリアルタイム伝送を接続すること
- IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームを交換すること
- IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長の相違を解消すること

である。

3.3 まとめ

本章では、第 2 章までに説明した IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を利用する上位層サービスの利用形態から、本研究で提案するブリッジ機構が IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークへ提供する接続形態を定めた。また、第 2 章までに紹介した IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの接続を可能にする技術と、課題として残された問題点から、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の満たすべき要求事項をまとめた。それぞれの要求事項は、異なる規格のネットワーク間で上位層サービスを透過的に実行するため必要な機能である。以降、第 4 章では、第 5 章の非同期伝送、第 6 章のリアルタイム伝送を説明するための基礎となる、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の基本アーキテクチャと、上位層で提供するサービスの枠組みについて論じる。

第 4 章

IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構

本章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でフレーム伝送を行なう、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の基本的なプロトコルスタックと、その中心的な役割を果たし、フレーム交換の要となるメディアリレイ層の構造及び、その機能について論じる。本章で説明する基本アーキテクチャは、IEEE802.1D 規格に定められた構造を参考に設計したものである。IEEE802.1D 規格は、MAC 副層以下の異なる複数の IEEE802 規格の伝送媒体を接続するブリッジ機構である。その後、この IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を利用し、ユーザまたはアプリケーションシステムへ提供する上位層サービスの枠組みについて論じる。

4.1 ブリッジ機構のプロトコルスタック

IEEE1394 非同期伝送では、リンク層の上位に用意されたトランザクション層により、要求フレームへの確認通知や、応答フレームが返される。これは、IEEE802.3 ネットワークのフレーム伝送にない伝送概念であった。これに対して、IEEE1394 アイソクロナス伝送ではリアルタイム性が要求されるため、トランザクション層は利用されず、伝送に必要なレイヤはリンク層までである。本節では、このような IEEE1394 ネットワークの変則的なプロトコルスタックから、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構に用意するプロトコルスタックについて

- 非同期伝送向けプロトコルスタック
- リアルタイム伝送向けプロトコルスタック

の順で説明する。

4.1.1 非同期伝送向けプロトコルスタック

第 3 章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう際のプロトコルスタックの相違を指摘し、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要

求事項の1つに

- IEEE1394 ネットワークのトランザクション層と IEEE802.3 ネットワークのデータリンク層の相違を解消すること

を挙げた。この要求を満たし、上位層へ透過的なサービスを提供するため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の内部でネットワーク間のプロトコルスタックの相違を解消し、上位層サービスを問題点から分離する必要がある。

このため、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構では、IEEE802.3 ネットワークとフレームを受渡する部分にトランザクション層を設ける (図 4.1)。この IEEE802.3 トランザクション層の存在により、IEEE802.3 ノードからのペイロードにトランザクション情報が挿入されたフレームの処理、または IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構による IEEE1394 ネットワークから IEEE802.3 ネットワークへ中継するフレームへのトランザクション情報の追加処理が可能になり、上位層サービスへの影響を抑えることができる。

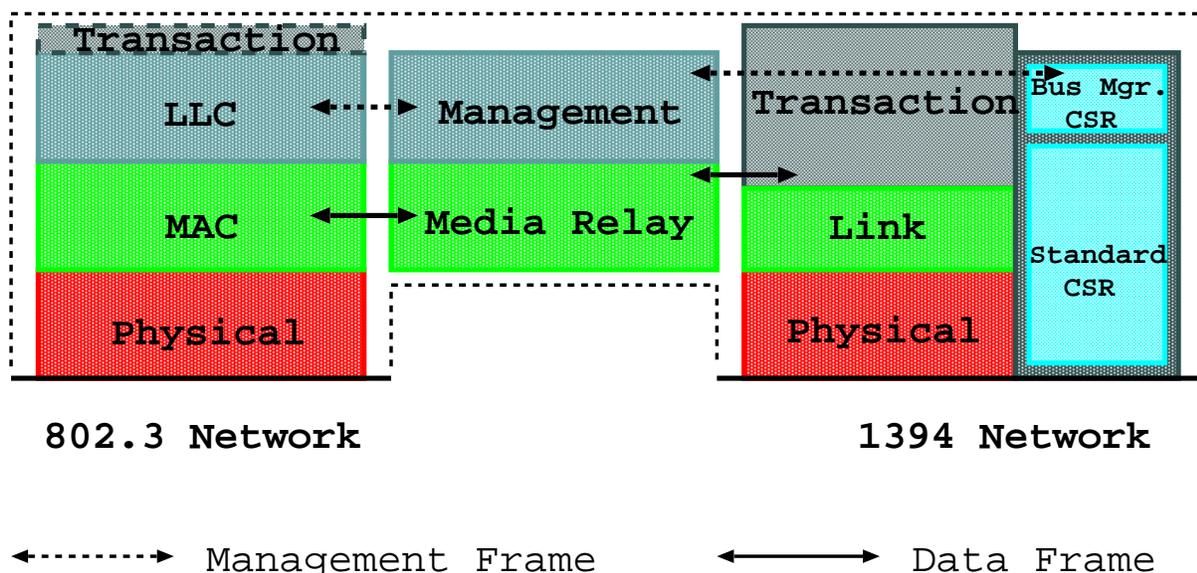


図 4.1: ブリッジ機構の非同期伝送向けプロトコルスタック

図 4.1 で、それぞれの物理層の下に引かれた太線は、フレームが出入りする物理的なポートである。IEEE1394 ネットワークから IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構へ入ったフレームは、トランザクション層まで上がり、中央のメディアリレイ層へ移る。また、IEEE802.3 ネットワークから入ったフレームも MAC 層まで上がり、メディアリレイ層へ移る。中央のメディアリレイ層は、それぞれのネットワークから伝送されてきたフレームフォーマットを変換し、IEEE1394 トランザクション層、IEEE802.3 MAC 層間でフレームを交換する。メディアリレイ層の上位にはマネジメント層が位置する。このマネジメント

層は、ネットワークのトポロジ管理に必要な情報を扱う。IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の IEEE1394 ネットワークと接続する部分には、フレーム交換に必要な IEEE1394 ネットワークのプロトコルスタックに加え、IEEE1394 ノードの基本情報を管理する標準レジスタと、IEEE1394 ネットワークを管理するバスマネージャが位置する。マネジメント層は、バスマネージャと連携して、ネットワークのトポロジを管理する。

4.1.2 リアルタイム伝送向けプロトコルスタック

IEEE1394 アイソクロナス伝送では、トランザクションサービスを必要としないため、フレームの送受信は IEEE1394 リンク層で行なわれている。このため、IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームの交換は、IEEE1394 リンク層と IEEE802.3 MAC 層の間で行なわれる。この時のフレーム交換は、非同期伝送の場合と同じくメディアリレイ層で行なわれる。リアルタイム伝送向けプロトコルスタックが、先の非同期伝送向けプロトコルスタックと異なるのは、IEEE1394 ネットワークと接続する部分に IEEE1394 アイソクロナス伝送に必要なレジスタ類が存在すること及び、そのレジスタ類とマネジメント層が情報交換を行なうことである。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でコネクションを確立する際、この情報交換が必要となる。IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のリアルタイム伝送向けプロトコルスタックを、図 4.2 に示す。

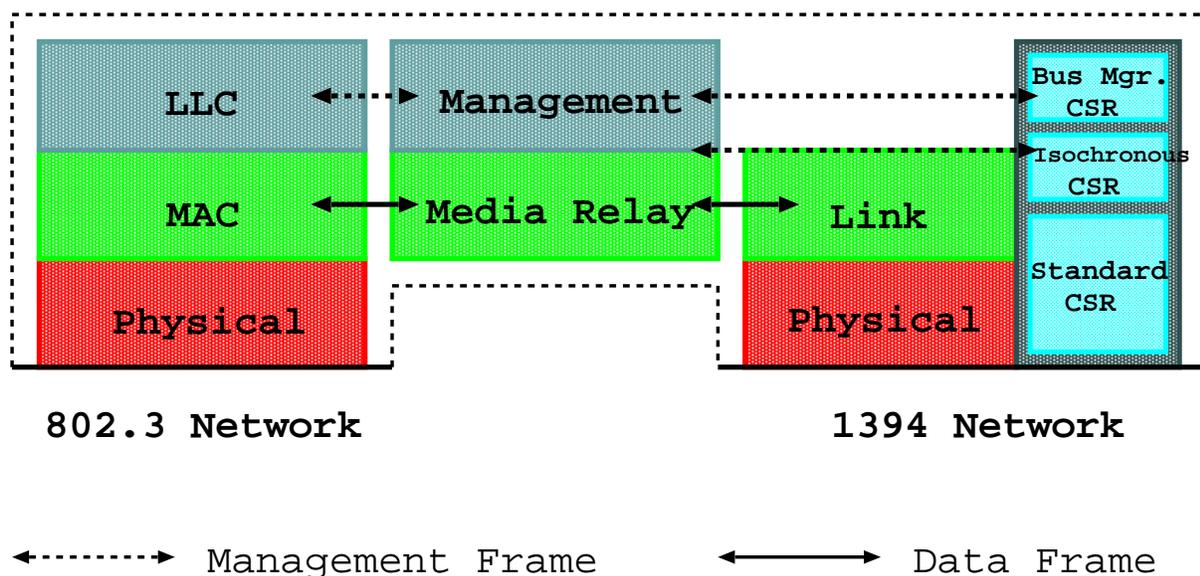


図 4.2: ブリッジ機構のリアルタイム伝送向けプロトコルスタック

4.2 メディアリレイ層

本節では、これまでに説明した IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のスタックの中から、異なる規格のネットワーク間でフレーム交換を行なうメディアリレイ層に焦点を合わせる。ここでは特に、メディアリレイ層がフレーム交換を行なう手順と、メディアリレイ層を構成する要素について説明する。

IEEE1394 トランザクション層、または IEEE1394 リンク層と IEEE802.3 MAC 層の間でフレーム交換を行なうメディアリレイ層の構造を、図 4.3 に示す。メディアリレイ層は、

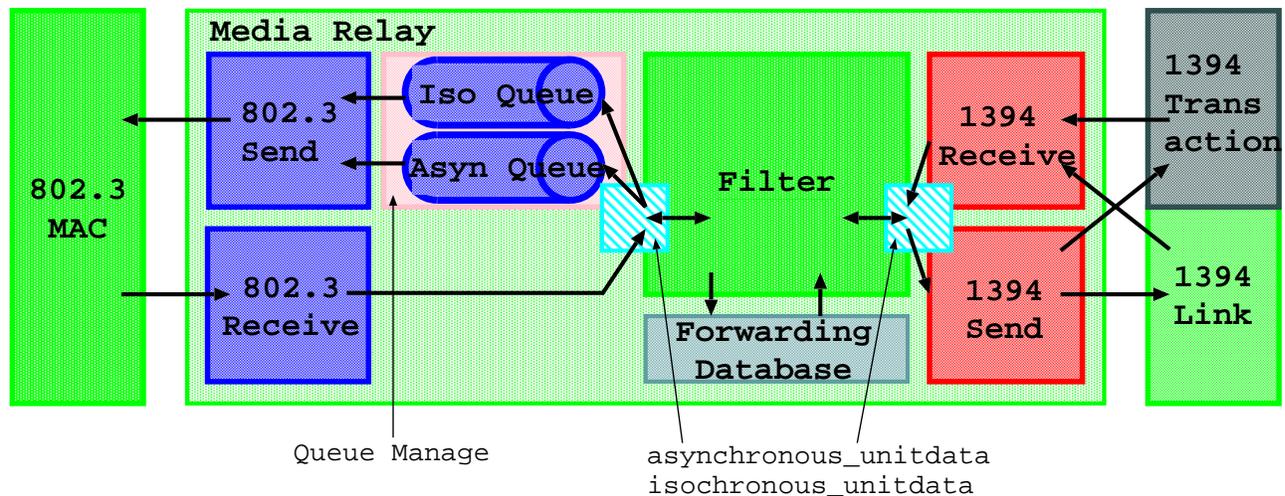


図 4.3: メディアリレイ層

IEEE1394 ネットワークから到着するフレームと、IEEE802.3 ネットワークから到着するフレームを変換し、統一的なデータ構造で出力ポートを検索するため中間フォーマットを利用する。中間フォーマットに必要なデータ構造が、非同期伝送とリアルタイム伝送で大きく異なることから、本研究では

- 非同期伝送向け中間フォーマット (asynchronous_unitdata)
- リアルタイム伝送向け中間フォーマット (isochronous_unitdata)

の2つを用意する。図 4.3 で各要素を結ぶ矢印は、メディアリレイ層で処理されるフレームの流れである。それぞれのネットワークから到着したフレームは、受信エンティティ(図 4.3 中の 1394Receive、802.3Receive)で CRC の検査を受け、中間フォーマットへ変換される。中間フォーマットへ変換されたフレームは、その状態でフィルタを通り、出力ポートが決定される。出力ポートの決定後、中間フォーマットは送信エンティティ(図 4.3 中の 1394Send、802.3Send)へ送られ、出力されるネットワーク固有のフレームフォーマットへ、再度、変換される。

次に、メディアリレイ層を構成する各要素と、その機能について説明する。

IEEE1394 受信エンティティ (1394 Receive)

非同期伝送ではIEEE1394 トランザクション層から、また、リアルタイム伝送ではIEEE1394 リンク層から受け取ったフレームのCRCを検査し、誤りがなければ中間フォーマットへ変換する。

IEEE1394 送信エンティティ (1394 Send)

中間フォーマットを IEEE1394 非同期フレーム、または IEEE1394 アイソクロナスフレームへ変換し、CRC を計算した後、IEEE1394 ネットワークへ送出する。

フィルタ (Filter)

中間フォーマットになったフレームの送出ポートを検出するため、転送データベースを検索する。

転送データベース (Forwarding Database)

宛先ノードの所属するポート情報をフィルタへ提供する。

キュー管理エンティティ (Queue Manage)

IEEE802.3 ネットワークへ送出するフレームを非同期伝送用キューとリアルタイム伝送用キューに分けて管理し、送出のタイミングを調整する。

IEEE802.3 受信エンティティ (802.3 Receive)

IEEE802.3MAC 層から受け取ったフレームのCRCを検査し、誤りがなければ中間フォーマットへ変換する。

IEEE802.3 送信エンティティ (802.3 Send)

CRC を計算した後、IEEE802.3 ネットワークへ送出する。

4.3 ブリッジ機構を利用する上位層サービス

本章では、これまで IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のプロトコルスタックを説明してきた。本節では、これまでに説明したプロトコルスタックを用いて、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構がユーザ及び、アプリケーションシステムへ提供する上位層サービスの枠組みを説明する。特に、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、提供する上位層サービスに応じて変則的なプロトコルスタックで動作することを説明する。

4.3.1 ブリッジ機構を利用する上位層サービスの枠組み

第2章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で提供する上位層サービスについて展望し、これらの上位層サービスが非同期伝送またはリアルタイム伝送を利用することを説明した。ここまでに説明した上位層サービスに、リアルタイム伝送で必要なコネクションを確立する経路管理機構 (PAAM) と CMP、さらに IP パケットの送用に必要な ARP(Address Resolution Protocol) を加えると、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の想定する上位層サービスは

- 非同期伝送を利用する
 - FCP プロトコル
 - HAVi プロトコル
 - ARP
 - IP プロトコル
 - CMP
 - 経路管理機構 (PAAM)
- リアルタイム伝送を利用する
 - SD-DVCR
 - MPEG2-TS
 - IP プロトコル

となる。

本研究では、これら上位層サービスのプロトコルスタックを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークそれぞれにおいて図 4.4 の通り定める。

図 4.4 右に示した IEEE1394 ネットワーク上の各サービスは、既に利用されていることから、既存のプロトコルスタックのままである。これに対して、図 4.4 左の IEEE802.3 ネットワーク上の、FCP プロトコル、HAVi プロトコル、SD-DVCR、MPEG2-TS は、IEEE1394 ネットワークから IEEE802.3 ネットワークへ新しく適用範囲を広げるサービスである。以降の本節では、非同期伝送を利用する上位層サービス、リアルタイム伝送を利用する上位層サービスに分け

- IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が用意するプロトコルスタック
- フレームを中継する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の果たす役割

について説明する。

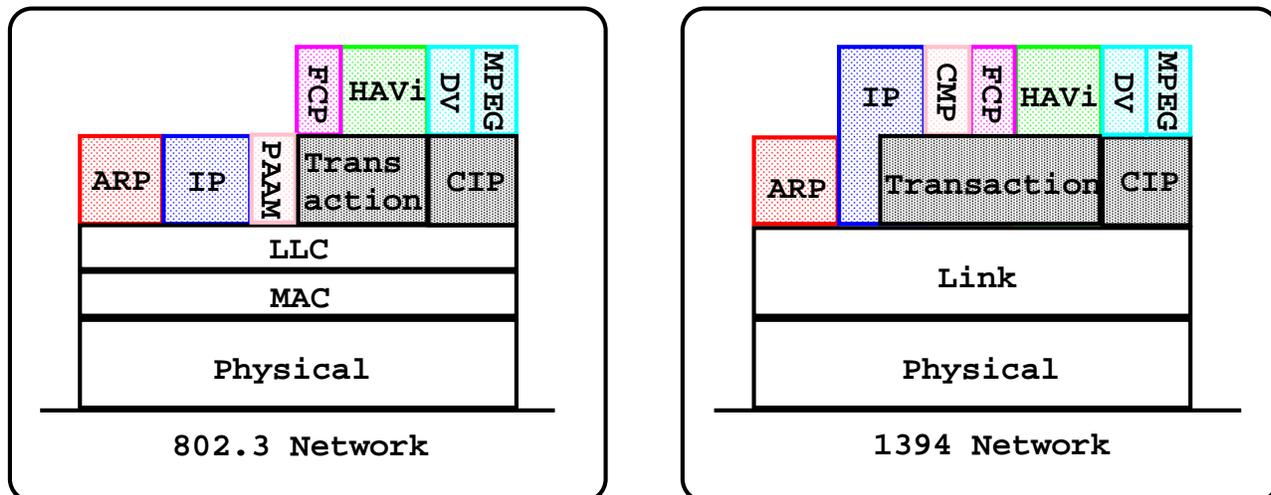


図 4.4: 上位層サービスのプロトコルスタック

4.3.2 非同期伝送を利用する上位層サービス

非同期伝送を利用する上位層サービスは、HAVi プロトコル、FCP プロトコル、ARP、IP プロトコル、CMP、経路管理機構である。本節では、HAVi プロトコル、FCP プロトコルを IEEE1394 トランザクション層を利用するサービスとしてまとめ

- IEEE1394 トランザクションサービス
- ARP
- IP プロトコル

の順で説明する。CMP、経路管理機構を利用した、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の経路の確立については、6.1.1 節で説明する。

IEEE1394 トランザクションサービス

IEEE1394 ネットワーク上で利用される FCP プロトコル、HAVi プロトコルは IEEE1394 トランザクション層の提供するサービスと結び付きが強い、IEEE1394 非同期フレームを利用した制御系プロトコルである。このため、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する場合、IEEE802.3 ネットワークへ IEEE1394 トランザクションサービスを拡張する必要がある。IEEE802.3 ネットワークへの IEEE1394 トランザクションサービスの拡張は、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の内部と、FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する IEEE802.3 ノードのプロトコルスタックに IEEE1394 トランザクション層を追加することで実現することができる。

これをまとめた IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される FCP プロトコル、HAVi プロトコルのプロトコルスタックを図 4.5 に示す。

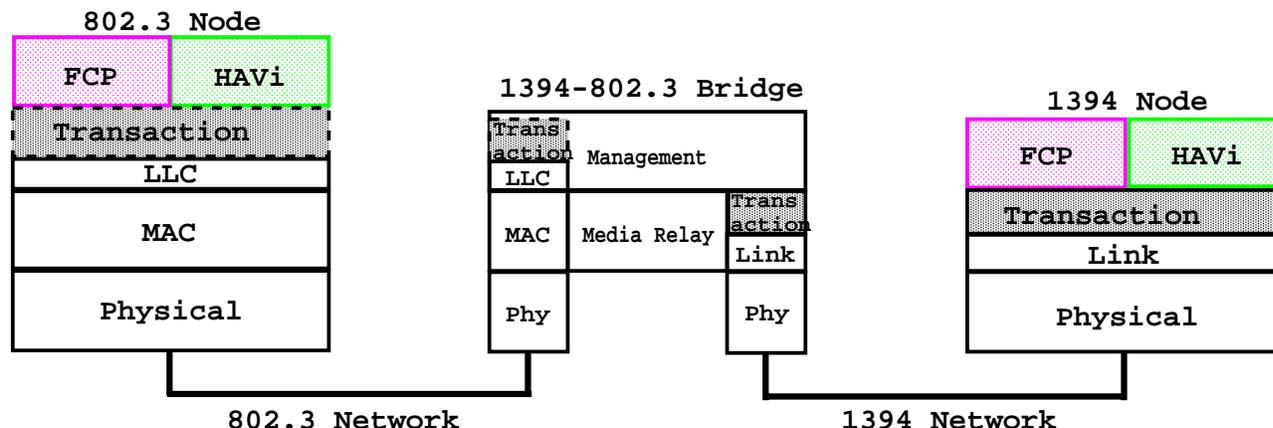


図 4.5: IEEE1394 トランザクションサービス

次に、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で IEEE1394 トランザクションサービスを実行する場合の各ノードの動作について説明する。IEEE802.3 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE1394 ノードへ FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

- (1) IEEE802.3 ノードが、IEEE802.3 フレームのペイロードにトランザクション情報を挿入して FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、トランザクション情報を含む IEEE802.3 フレームを IEEE1394 非同期フレームに変換し送出する
- (3) IEEE1394 ノードが通常の IEEE1394 非同期フレームを受信し、FCP プロトコル、HAVi プロトコルの要求を処理する

IEEE1394 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE802.3 ノードへ FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

- (1) IEEE1394 ノードが通常の IEEE1394 非同期フレームを用いて、FCP プロトコル、HAVi プロトコルを実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、IEEE1394 非同期フレームをトランザクション情報を含む IEEE802.3 フレームに変換し送出する
- (3) IEEE802.3 ノードがトランザクション情報を含む IEEE802.3 フレームを受信し、FCP プロトコル、HAVi プロトコルの要求を処理する

つまり IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構は、フレームのヘッダ情報を交換する際に、IEEE1394 トランザクション層と IEEE802.3 MAC 層間でフレームを交換し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のプロトコルスタックの相違を解消する。

本節では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される IEEE1394 トランザクションサービスのプロトコルスタックと IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の役割について説明した。5.1.1 節では、IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームの交換方式を詳細に説明し、5.2.1 節では、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構がデータリンク層で行うフレーム交換に焦点を合わせ、トランザクションサービスの実行について説明する。

ARP

ARP は、IETF により IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークそれぞれにおける伝送方式が定められたプロトコルである。

IEEE1394 ネットワーク上の ARP の実行は、非同期伝送期間中に伝送され IEEE1394 アイソクロナスフレームのフォーマットを持つ IEEE1394 非同期ストリームを利用して行なわれる。IEEE1394 非同期ストリームはブロードキャストされるフレームであり、IEEE1394 トランザクション層に利用される確認通知を必要としない。このため、IEEE1394 トランザクション層は必要ない。一方の IEEE802.3 ネットワーク上の ARP パケット送出は、IEEE802.3 フレームのブロードキャストを用いて行なわれる。これをまとめた IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される ARP のプロトコルスタックを図 4.6 に示す。

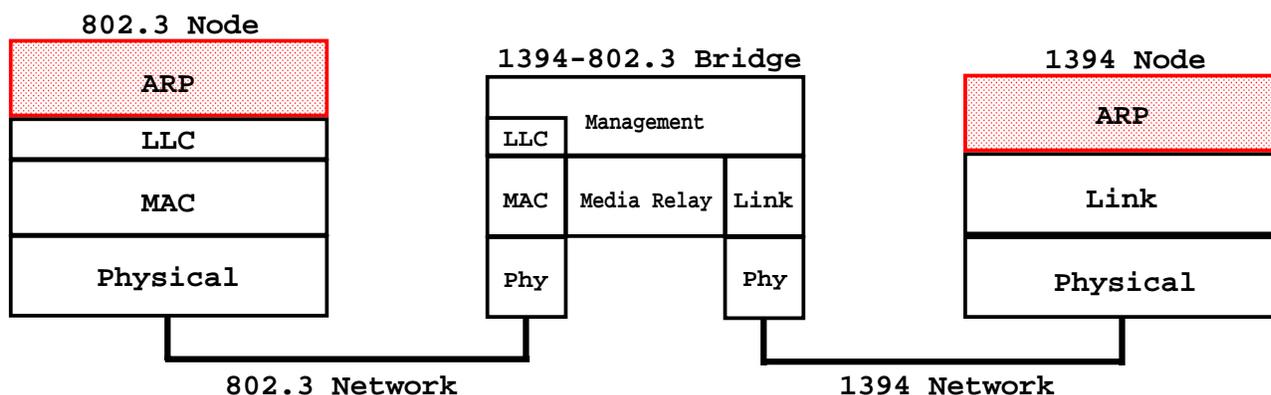


図 4.6: ARP

次に、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で ARP を実行する場合の各ノードの動作について説明する。IEEE802.3 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE1394 ノードへ ARP を実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

- (1) IEEE802.3 ノードが通常の IEEE802.3 フレームを用いて、ARP を実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、IEEE802.3 フレームを IEEE1394 非同期ストリームに変換し送出する
- (3) IEEE1394 ノードが IEEE1394 非同期ストリームを受信し、ARP の要求を処理する
IEEE1394 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE802.3 ノードへ ARP を実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

- (1) IEEE1394 ノードが通常の IEEE1394 非同期ストリームを用いて、ARP を実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、IEEE1394 非同期ストリームフレームから IEEE802.3 フレームに変換し送出する
- (3) IEEE802.3 ノードが IEEE802.3 フレームを受信し、ARP の要求を処理する

つまり、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構はリアルタイム伝送向けプロトコルスタックを用意し、IEEE1394 リンク層、IEEE802.3 MAC 層間のフレーム交換を行なう。このため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の内部にトランザクション層を設け、プロトコルスタックの相違を解消する処理は必要はない。

本節では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される ARP のプロトコルスタックと、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の役割について説明した。5.2.2 節では、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構がデータリンク層で行うフレーム交換に焦点を合わせ、ARP の実行について説明する。IEEE1394 アイソクロナスフレームのフォーマットを持つ IEEE1394 非同期ストリームと、IEEE802.3 フレームの交換は、6.1.2 節で説明する。

IP プロトコル

IETF では、IEEE1394 ネットワーク上で非同期伝送を利用する IP プロトコルは、書込みトランザクションを利用することを定めている。これに対して、IEEE802.3 ネットワーク上の IP プロトコルは信頼性のないパケット伝送であり、IEEE1394 トランザクション層の提供するフレーム伝送の保証に相当するサービスは、TCP プロトコルなど他の上位層プロトコルを用いて提供される。IEEE802.3 ネットワーク、IEEE1394 ネットワークの既存プロトコルスタックを尊重し、IEEE802.3 ネットワーク、IEEE1394 ネットワーク間で透過的に IP プロトコルを実行するため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の内部でプロトコルスタックの相違を解消する必要がある。

これをまとめた IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される IP プロトコルのプロトコルスタックを図 4.7 に示す。

次に、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で IP プロトコルを実行する場合の各ノードの動作について説明する。IEEE802.3 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE1394 ノードへ IP プロトコルを実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

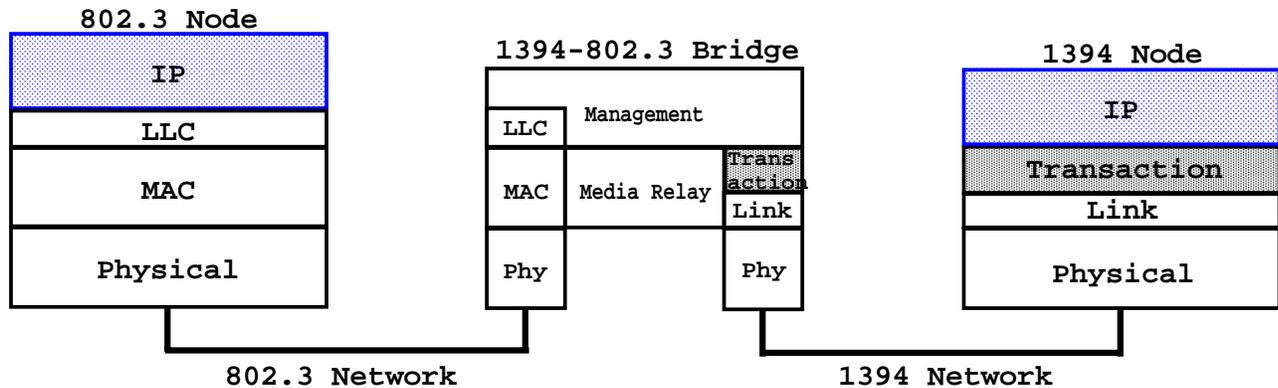


図 4.7: IP プロトコル

- (1) IEEE802.3 ノードが通常の IEEE802.3 フレームを用いて、IP プロトコルを実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、IEEE802.3 フレームを書込みトランザクション情報を追加した IEEE1394 非同期フレームに変換し送出する
- (3) IEEE1394 ノードが通常の IEEE1394 非同期フレームを受信し、IP プロトコルの要求を処理する

IEEE1394 ノードが、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構を介して IEEE802.3 ノードへ IP プロトコルを実行する場合、各ノードは以下の通り動作する。

- (1) IEEE1394 ノードが通常の IEEE1394 非同期フレームを用いて、IP プロトコルを実行する
- (2) IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構が、IEEE1394 非同期フレームからトランザクション情報を除き IEEE802.3 フレームに変換し送出する
- (3) IEEE802.3 ノードが通常の IEEE802.3 フレームを受信し、IP プロトコルの要求を処理する

つまり IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構は、フレームのヘッダ情報を交換する際に

- IEEE802.3 フレームにトランザクション情報を追加して IEEE1394 非同期フレームへ
- IEEE1394 非同期フレームのトランザクション情報を除いて IEEE802.3 フレームへ

変換することで IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のプロトコルスタックの相違を解消する。これは IEEE1394 非同期伝送を利用する IP プロトコルが、書込みトランザクションを利用することが定められているため、固定値を用いてトランザクション情報を処理することができるためである。

本節では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される IP プロトコルのプロトコルスタックと IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の役割について説明した。5.2.2 節では、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構がデータリンク層で行うフレーム交換に焦点を合わせ、IP プロトコルの実行について説明する。

4.3.3 リアルタイム伝送を利用する上位層サービス

リアルタイム伝送を利用する上位層サービスは、SD-DVCR、MPEG2-TS である。本節では、DV-SCRD と MPEG2-TS を CIP(Common Isochronous Packet) 層の情報を利用してリアルタイム伝送を行なうサービスとしてまとめ

- リアルタイム伝送
- IP プロトコル

の順で説明する。

リアルタイム伝送

IEEE1394 ネットワークにおいて、DV-SCRD、MPEG2-TS など IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用するアプリケーションシステムは CIP 層の上位に位置する。CIP 層は IEEE1394 リンク層の上位に位置し、リアルタイム性を要求するフレームに必要となる汎用的な情報をヘッダに挿入する。この CIP 層はリアルタイム伝送を行なう End-to-End のノードが利用するため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構ではなく、透過的にサービスを実行する IEEE1394 ノード、IEEE802.3 ノードが用意しなくてはならない。これをまとめた IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される SD-DVCR、MPEG2-TS のプロトコルスタックを図 4.8 に示す。

IEEE1394 ネットワーク上の SD-DVCR、MPEG2-TS は IEEE1394 アイソクロナス伝送を利用するため、IEEE1394 トランザクション層を必要としない。このため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のリアルタイム伝送向けプロトコルスタックを利用し、プロトコルスタックの相違を解消する特別な処理を必要としない。

リアルタイム伝送の実行には、帯域幅を保証した End-to-End の経路の確立が必要である。先にも述べた通り、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の経路の確立については、6.1.1 節で詳細に説明する。また、6.1.2 節では IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレームの交換方式を説明し、6.2.1 節ではリアルタイム伝送を行なう IEEE1394 ノード、IEEE802.3 ノード、それを中継する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のフレーム伝送について説明する。

IP プロトコル

IETF では、IEEE1394 ネットワークにおける IP パケット伝送に、非同期伝送に加えアイソクロナス伝送を利用する方式を定めている。IEEE1394 ネットワーク上で、IEEE1394

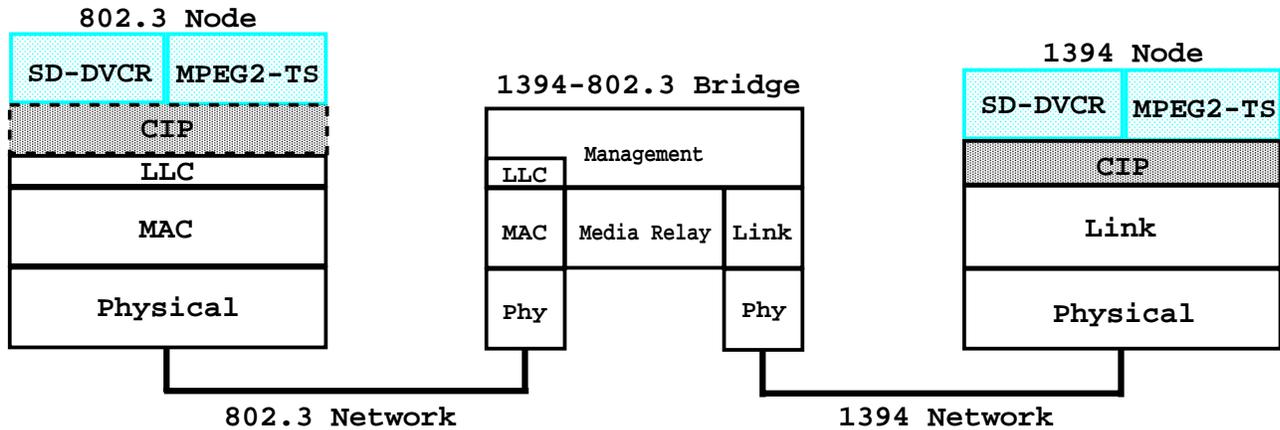


図 4.8: リアルタイム伝送

アイソクロナスフレームを用いて送られる IP パケットは、IEEE1394 トランザクション層を必要としない。接続対象である IEEE802.3 ネットワーク上の IP プロトコルは LLC 層の上位に位置し、パケット伝送の信頼性などのサービス提供は上位層であるトランスポート層の役割である。プロトコルスタックの形態が近いため、IEEE1394 非同期フレームを利用した IP パケット伝送に比べ、フレーム交換における IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の処理が少なく済む接続である。これをまとめた IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行される IP プロトコルのプロトコルスタックを図 4.9 に示す。

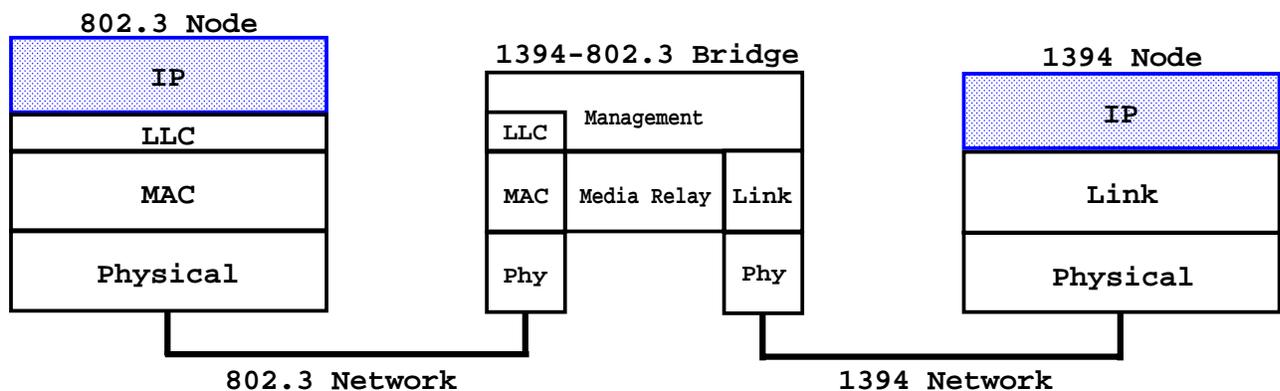


図 4.9: IEEE1394 アイソクロナスフレームを用いる IP プロトコル

IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用した IP プロトコルの実行は、あらかじめ ARP によるハードウェアアドレス - IP アドレス間のマッピングと、IEEE1394 ネットワーク内

のコネクションの確立が必要である。6.2.2節ではこれらの条件が成立していることを前提に、IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用したIP プロトコルを実行するIEEE1394 ノード、IEEE802.3 ノード、それを中継するIEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のフレーム伝送について説明する。

4.4 まとめ

本章では、IEEE1394 ネットワークと、IEEE802.3 ネットワークのプロトコルスタックの相違を解消する、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構のプロトコルスタックと、上位層サービスの枠組みについて論じた。第5章、第6章ではブリッジ機構の提供する伝送方式を非同期伝送と、リアルタイム伝送に分け、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構に残された要求事項の解決に取り組む。第5章は非同期伝送について、第6章はリアルタイム伝送について論じる。それぞれの章の後半では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間へ拡張される上位層サービスの実行について論じる。

第 5 章

非同期伝送

IEEE1394 ネットワークでは、リアルタイム性の要求されない情報は非同期に伝送される。IEEE1394 規格では、この伝送方式をアシンクロナス伝送 (asynchronous : asyn=any、chronous=time) という。IEEE1394 ネットワークの非同期フレームは、IEEE1394 トランザクション層のサービスによりフレームの到達が保証される確実な伝送が行なわれる。しかし、接続対象である IEEE802.3 ネットワークのフレームは、非同期であるが伝送中のフレームの損失に対する保証は行なわれていない。本章では、このような伝送概念の相違から IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう場合の問題点とその対応について論じる。その後、接続されたセグメント間でサービスを共有する方式について論じる。

5.1 伝送概念の相違とその対応

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう目的は、

- 異なる規格のネットワーク上で発達した上位層サービスを透過的に利用すること
- IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行するリアルタイム伝送の手続きを行なうこと

であった。

上記の目的を遂行するために、第 4 章では IEEE1394、IEEE802.3 ブリッジにレイヤ構造の概念を導入し、異なるネットワーク間で要求される情報の相違をブリッジ内で調整した。

本節では、伝送概念の相違を起因とする IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームのヘッダ情報と最大ペイロード長の相違を比較し調整する。その後、リンク速度の異なる IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のフレーム伝送において、スループットを向上させる調停方式を提案する。

5.1.1 ヘッダ情報の調整

多くのネットワークにおいて、フレーム伝送に必要な情報は誤り訂正符合を除いてヘッダ部分に集約される。そのため、データリンク層で異なるネットワークを接続する場合に問題となるのが、ヘッダ情報の相違である。IEEE では、MAC 副層以下の異なる IEEE802 規格のネットワークを接続するため、IEEE802.1D 規格を策定している。IEEE802.1D 規格は、それぞれのネットワークにより異なるヘッダ情報を、共通に利用するデータ構造である中間フォーマットに置き換え、送出ポートの決定後、送出するネットワークの持つヘッダフィールドに合わせ再度置き換える仕組みを持つブリッジである。本節では、このフレーム変換方式を応用し、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう方式を提案する。

IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームの相違

IEEE1394 非同期フレームは、IEEE1394 トランザクション層によるサービスを前提とし、ヘッダ中に多くのトランザクション情報を含む。しかし、IEEE802.3 ネットワークはプロトコルスタックに忠実であり、上位層である IEEE802LLC 層の利用する情報は、IEEE802.3 フレームのペイロードの先頭部分に配置される。

IEEE1394 非同期フレームのフィールドは、

- 宛先識別子 (destination_ID)
- トランザクション情報
 - トランザクションラベル (tl)
 - リトライコード (rt)
 - トランザクションコード (tcode)
 - 宛先オフセット (destination_offset)
 - 応答コード (rcode)
 - 拡張トランザクションコード (extended_tcode)
- 優先度 (pri)
- 送信元識別子 (source_ID)
- ペイロード長 (data_length)
- CRC(header_CRC、data_CRC)

である。宛先識別子と送信元識別子は、16 ビットで構成された IEEE1394 ノードを一意に識別するアドレスである。16 ビット中の前半 10 ビットはネットワークを、後半の 6 ビットはネットワーク内のノードを識別する。トランザクションラベル、リトライコード、トランザ

クシヨソコォ、宛先オフセツ、応答コォ、拡張トランザクシヨソコォはIEEE1394 トランザクシヨソ層がサービスを提供するため利用する情報である。優先度は、内部バスなどのバックプレーン環境で調停作業に利用される4ビットのフィールドである。本研究ではケーブル環境を対象とし、この時0000₂の固定値である。CRCは、ヘッダ用とデータ用に分かれ、それぞれの対象について誤り訂正を行なう。

これに対しIEEE802.3 フレームフォーマットには、

- 宛先識別子 (destination address)
- 送信元識別子 (source address)
- ペイロード長 (length)
- タグ制御情報 (TCI: Tag Control Information)
 - タグ種別 (802.1Q Tag Type)
 - 優先度 (user priority)
 - 正規フォーマット識別子 (CFI: Canonical Format Indicator)
 - VLAN 識別子 (VID: Virtual lan IDentification)
- CRC

の順でフィールドが並ぶ。宛先識別子と送信元識別子は、48ビットで構成されたノードを一意に識別するハードウェアアドレスである。48ビット中の前半24ビットはIEEEに管理されたベンダー固有のアドレスであり、後半24ビットはベンダーの割り当てたNIC(Network Interface Card)の通し番号である。タグ制御情報は32ビットで構成され、そのうちの3ビットが優先度を、12ビットがVLAN 識別子を現す。CRCはフレーム全体を対象として誤り訂正を行なう。

伝送概念の違いから現れるヘッダ情報の相違を表5.1にまとめる。

表 5.1: ヘッダ情報の相違

含まれる情報	IEEE1394 非同期フレーム	IEEE802.3 フレーム
宛先識別子		
送信元識別子		
タグ制御情報	×	
ペイロード長		
トランザクション情報		×
優先度 (調停用)	(0000 ₂ 固定)	×
CRC	(ヘッダ、データ別)	

IEEE802.1D 規格によるフレームフォーマットの変換

IEEE802.1D 規格に対応したブリッジは、これまでに IEEE802.3 ネットワーク、IEEE802.4 トークンリング、IEEE802.5 トークンバスなど異なる目的から生まれた、伝送概念の異なるセグメントを MAC 副層までの技術で接続する。この規格では、それぞれのネットワークに伝送されるフレームのヘッダ情報から共通するフィールドを抽出し、中間的なデータ構造を持つ中間フォーマットを形成して利用する。異なるネットワーク間で伝送されるフレームは、この中間フォーマットに一時的に置き換えることで中継される。中間フォーマットへの置き換えは、送信元のネットワークの MAC 副層が持つ独特のサービスに利用される情報を除いた情報を抽出することで行なわれる。その後、中間フォーマットに抽出された情報は送信先ネットワークのフレームフォーマットへと置き換えられる。このため、変換の過程で一時的に利用する中間フォーマットに存在する情報は極めて重要であるか、異なるネットワーク間で共通に必要なものとされるものに限られる。中間フォーマットに含まれない情報が送信先のネットワークで必要な場合は、あらかじめ決められた最も安全でふさわしい値が適用される。以下に、IEEE802.1D 規格に定められた中間フォーマットを示し、それぞれのメンバーについて解説する。

```
M_UNITDATA.indication (
    frame_type,
    mac_action,
    destination_address,
    source_address,
    mac_service_data_unit,
    user_priority,
    frame_check_sequence
)
```

frame_type は、通常データフレームであるか、IEEE802.x 規格の MAC 層に特有の制御フレームであるかの識別情報を置き換えるメンバーである。IEEE802.3 規格では、これに相当する情報は必要ないが、IEEE802.4 規格、IEEE802.5 規格ではフレーム制御フィールドがこれに相当する。mac_action は、フレームを受信した時にどのように対応すべきかの情報を置き換えるメンバーである。IEEE802.4 規格に限り、この情報を利用して応答するかどうかを決定する。destination_address、source_address は、それぞれ宛先アドレス、送信元アドレスを置き換えるメンバーである。mac_service_data_unit は、ペイロードに置き換えるメンバーである。user_priority は、優先度を置き換えるメンバーである。IEEE802.4 規格、IEEE802.5 規格の優先度フィールドがこれに相当する。frame_check_sequence は、CRC を置き換えるメンバーであり、これを利用して誤り訂正符合の再計算を省略することができる。

中間フォーマットを用いた相違の調整

802.1D 規格のブリッジは中間フォーマットを利用し、異なるフレームフォーマットを持つ IEEE802 規格のネットワークを接続する。本研究では、この方式を応用し IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の非同期伝送を接続する方式を提案する。IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームの接続に利用する中間フォーマットは、それぞれのネットワークのフレーム伝送において必要な情報に限定したものである。以下に、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で利用する中間フォーマットのデータ構造を示す。

```
asynchronous_unitdata  (
    destination_ID,
    source_ID,
    transaction_infomation(
                                transaction_label,
                                retry_code,
                                transaction_code,
                                response_code,
                                destination_offset,
                                extended_tcode
                                ),
    service_data_unit
)
```

この中間フォーマットは、トランザクション情報をまとめた入れ子のデータ構造を持つ。中間フォーマットを用いて、ブリッジは IEEE1394 ネットワークから到着した非同期フレームを、以下の手順で IEEE802.3 フレームへ変換する。

- (1) IEEE1394 非同期フレームのフィールド情報を中間フォーマットへ渡す
 - IEEE1394 非同期フレームの宛先識別子を destination_ID へ
 - IEEE1394 非同期フレームの各トランザクション情報を入れ子になったデータ構造の対応するメンバーへ
 - IEEE1394 非同期フレームの送信元識別子を source_ID へ
 - IEEE1394 非同期フレームのペイロードを service_data_unit へ
- (2) 中間フォーマットのメンバーを、IEEE802.3 フレームへ渡す
 - 中間フォーマットの destination_ID を宛先識別子へ
 - 中間フォーマットの source_ID を送信元識別子へ
 - 中間フォーマットのトランザクション情報をペイロードの先頭へ

- 中間フォーマットの service_data_unit から計算されたバイト数をペイロード長へ
- 中間フォーマットの service_data_unit の情報をトランザクション情報に続くペイロードへ

(3) IEEE802.3 フレームの優先度を 0 に設定する

これに対して IEEE802.3 ネットワークから到着したフレームは、以下の手順で IEEE1394 非同期フレームへ変換される。

(1) IEEE802.3 フレームのフィールド情報を中間フォーマットへ渡す

- IEEE802.3 フレームの宛先識別子を destination_ID へ
- IEEE802.3 フレームの送信元識別子を source_ID へ
- IEEE802.3 フレームのペイロードの先頭に含まれるトランザクション情報を入れ子になったデータ構造の対応するメンバーへ
- IEEE802.3 フレームのペイロードを service_data_unit へ

(2) 中間フォーマットのメンバーを、IEEE1394 非同期フレームへ渡す

- 中間フォーマットの destination_ID を宛先識別子へ
- 中間フォーマットの各トランザクション情報を対応するフィールドへ
- 中間フォーマットの source_ID を送信元識別子へ
- 中間フォーマットの service_data_unit から計算されたバイト数をペイロード長へ
- 中間フォーマットの service_data_unit の情報をペイロードへ

(3) IEEE1394 フレームの優先度を 0000_2 に設定する

中間フォーマットを介した IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームの変換を図 5.1 に示す。

宛先識別子と送信元識別子

IEEE1394 ネットワークでは 16 ビットの識別子により送信ノードと受信ノードを識別する。これに対して、IEEE802.3 ネットワークでは、製造時に割り当てられた 48 ビットの識別番号で送信ノードと受信ノードを識別する。そのため、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の非同期伝送には、アドレスを変換するテーブルが必要になる。

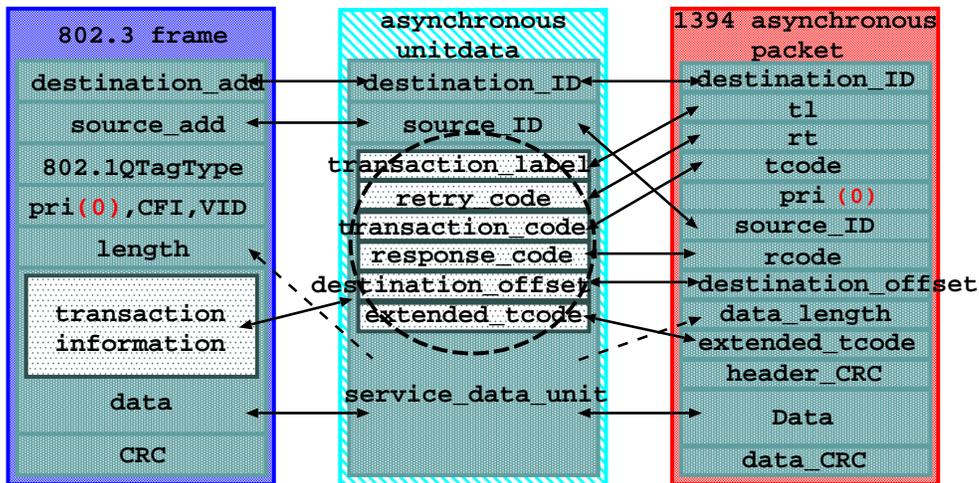


図 5.1: 中間フォーマットを用いた非同期フレームの変換

優先度

IEEE1394 非同期フレームの優先度は、バス環境における調停作業パラメータを格納するフィールドである。これに対し IEEE802.3 フレームの優先度は、IEEE802.1Q 規格により追加されたフィールドである。IEEE802.1Q 規格では、利用方法については定められていないため、通常 0 がデフォルト値として利用されている。

IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームとも、意味合いは異なるが優先度フィールドの値は固定で与えられるため、中間フォーマットのメンバーにこれらの情報は必要ない。

トランザクション情報

IEEE1394 非同期フレームに存在し、IEEE802.3 フレームに存在しない情報にトランザクション情報がある。トランザクション情報はそれぞれのトランザクション毎に異なり、IEEE1394 トランザクション層がサービスを実行するため欠かせない情報である。このため、IEEE802.1D 規格のブリッジが行なう、共通に必要なとしない情報をあらかじめ決められた値で置き換える処理では適切なサービスの実行が望めない。そのためブリッジは、IEEE1394 ネットワークから到着する非同期フレームのトランザクション情報を、IEEE802.3 フレームのペイロードの先頭に挿入する。IEEE1394 ノードと非同期伝送を行なう IEEE802.3 ノードは、トランザクション情報をペイロードの先頭に含んだフレームを扱う必要がある。

CRC

IEEE1394 規格のフレームは、ヘッダ、ペイロードそれぞれに CRC が計算される。これに対して、IEEE802.3 規格の CRC は、フレーム全体を対象に計算される。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で計算する CRC の対象が異なるため、中間フォーマットのメンバーに再計算の省略を目的として CRC を追加することはできない。そのため、ブリッジは送出するネットワークのフレームフォーマットを形成した後、CRC を再計算する。

5.1.2 フレーム長の調整

IEEE1394 ネットワークの非同期フレームの最大フレーム長は、伝送速度によって異なる。これは、送信ノードが用意するバッファサイズを減少させることが目的であり、アイソクロナスサイクルの半分の時間 (約 $62\mu\text{sec}$) で送信することができる最大の 2^n ($n = 1, 2, \dots$) と定義されている。

IEEE1394 ネットワーク非同期フレームの最大ペイロード長を表 5.2 にまとめる。

表 5.2: IEEE1394 非同期フレームの最大ペイロード長

伝送速度	最大ペイロード長 (bytes)
S25(24.576Mbps)	128
S50(49.152Mbps)	256
S100(98.304Mbps)	512
S200(196.608Mbps)	1024
S400(393.216Mbps)	2048

一方の IEEE802.3 ネットワークの最大ペイロード長は、速度によって変わることはなく一定である。これは、伝送速度が最小フレーム間 間隔で決定するためである。

IEEE802.3 ネットワークの最大ペイロード長を表 5.3 にまとめる。

表 5.3: IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長

伝送速度 (Mbps)	最大ペイロード長 (bytes)	最小フレーム間 間隔 (μsec)
10	1500	9.6
100	1500	0.96
1000	1500	0.096

フレームを送受信するノード間での透過性を高めるため、最大ペイロード長の大きいセグメントから小さいセグメントへフレームを中継する際、本研究で提案するブリッジは適

切なサイズへのフラグメント処理を行なう。

5.1.3 リンク速度の調整

IEEE1394 ネットワークは、同一セグメントに属する全てのノードでネットワークの帯域を共有する半二重の伝送形態をとる。これに対し本研究で接続対象とする IEEE802.3 ネットワークは、それぞれのノードが帯域を占有する全二重の伝送形態である。

本節では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の伝送形態の相違から生じるリンク速度に関する問題を指摘し、その改善方式の提案を行なう。

1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリンク速度

IEEE1394 ネットワークは、他ノードと帯域を共有するための調停作業が必要であり、IEEE1394 規格に定められた調停作業では、送信要求を持つノードの数を基準に公平なフレーム送出権の分配が行なわれている。一方、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間を接続するブリッジは、IEEE1394 インターフェイスを持つ IEEE802.3 ノードであり、IEEE802.3 ネットワークを代表して調停作業に参加する唯一のノードである。このため、IEEE802.3 ネットワークから複数のノードがブリッジを介して IEEE1394 ネットワークへフレーム伝送を行なう場合、従来の IEEE1394 ネットワークの調停作業では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の送信要求を持つノードの数において公平性を損なう恐れがある。

この説明を補足するため、ブリッジが IEEE802.3 ノードの送出するフレームを中継し、IEEE1394 ネットワークへ送出する際のスループットを計算機によりシミュレーションする。シミュレーションで利用したフレームサイズの分布は、表 5.4 の通りである。

表 5.4: IEEE802.3 ネットワーク上のフレームサイズの分布

フレーム長 (byte)	64	65-128	129-256	257-512	513-1024	1025-1500
出現頻度 (%)	23.24	10.28	31.48	6.02	5.49	23.49
分割後の数 (S100)	1	1	1	1-2	2-3	3
分割後の数 (S200)	1	1	1	1	1-2	2
分割後の数 (S400)	1	1	1	1	1	1

S100 から S400 までの IEEE1394 ネットワークにおいて、送信要求を持つノード数がブリッジのスループットに及ぼす影響を図 5.2 に示す。ブリッジのスループットは、IEEE1394 ネットワーク内の送信要求を持つノード数の増加に従い減少している。これより、半二重の IEEE1394 ネットワークで複数のノードが通信を開始した場合、IEEE802.3 ネットワークからのフレーム伝送は、必要な帯域の確保が困難になることが予想される。言い換えると、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間を接続する場合、S100 を基

準とし 2 倍のオーダで増加する IEEE1394 規格と、1Mbps から 10 倍のオーダで増加する IEEE802.3 規格の仕様上のリンク速度の問題に加え、送信要求を持つ IEEE1394 ノード数の増加がリンク速度に新たな問題を生じさせることがわかる。

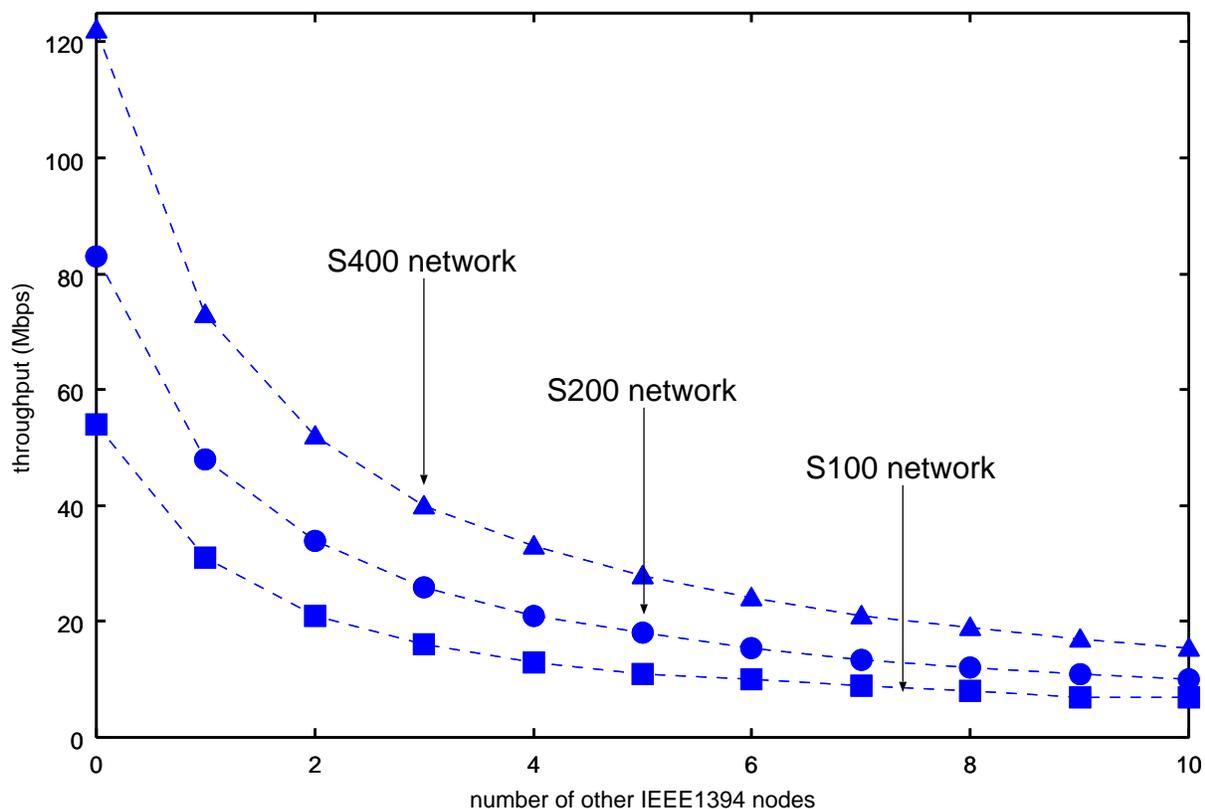


図 5.2: 参加ノード数に対するブリッジのスループット

図 5.2 において、ブリッジが唯一の送信要求を持つノードとなる状況においても、規格上のスループットに到達していないのは、最大ペイロード長の制限によるフレームの分割とトランザクション間のギャップが主な原因である。

1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの帯域管理

IEEE1394 ネットワークのケーブル環境では、フレームを送出するノードを決めるため調停作業が行なわれる。この調停作業は公平調停 (fairness arbitration) と呼ばれ、同一セグメントに属す全ての送信要求ノードに対して公平に送出権の割り当てを行なう。全ての送信要求ノードに送出権が割り当てられるまでの期間を公平インターバル (fairness interval) といい、各ノードは公平インターバルの開始に出現する最も長いギャップ (arbitration reset gap) によりインターバルの区切りを認識する。送信要求を持つノードは公平なフレーム送出を約束するため、インターバルの開始を認識するとレジスタ (arbitration_enable) 内

のフラグをセットし調停に参加する。その後、送出権を得て公平インターバルの間にフレームの送出を行なったノードは、送出が済んだことを示すためフラグをクリアし次のインターバルを待つ (図 5.3)。

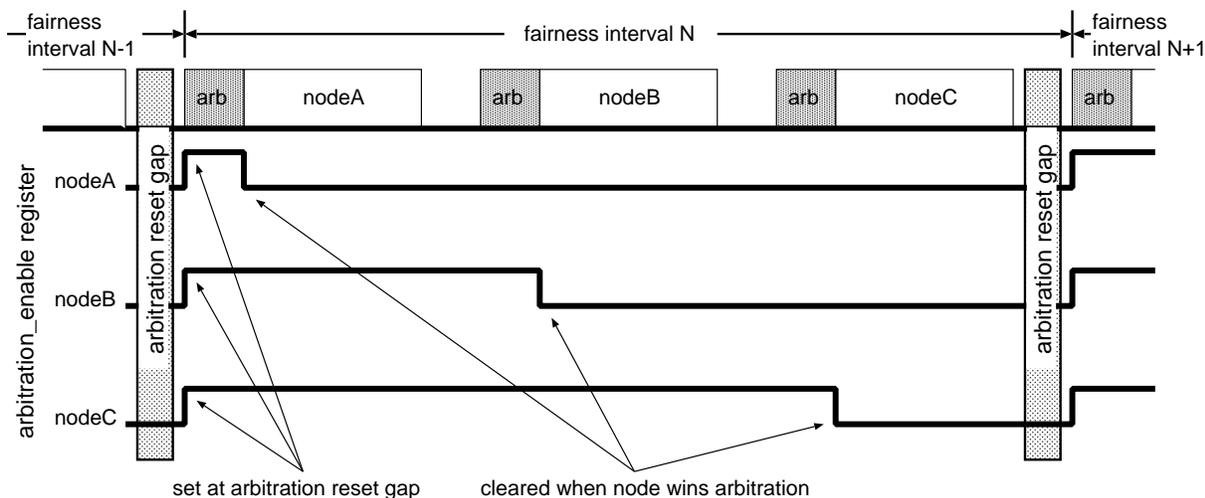


図 5.3: IEEE1394 ネットワークの公平調停 (fairness arbitration)

これに対し、全二重 IEEE802.3 ネットワークではそれぞれのノードが帯域を占有することができるため、調停作業は必要ない。しかし、ネットワークがブリッジされた環境では出力可能レートに対して入力レートが上回ることがあるため、ブリッジは上流の装置に向かって出力レートの抑制を依頼する機能を持つ必要がある。

1394 ネットワーク、802.3 ネットワーク間の公平調停方法

IEEE802.3 ネットワークにある複数のノードが、ブリッジを介して IEEE1394 ネットワークへフレーム伝送を行なう場合、IEEE802.3 ネットワークから公平調停に参加するノードはブリッジただ1つであり公平なフレーム送出権の分配が行なわれない。そこで、本研究では IEEE1394 規格に定められた公平調停を、IEEE802.3 ネットワークに属した送信ノードを含めた形態へ拡張する方式を提案する。この調停方式の特徴は以下の通りである。

- トラフィック量を基準に公平な調停を行なう
- ブリッジと IEEE1394 ネットワークに属する他すべてのノードで損失を分配する

ノード数ではなく、トラフィック量を基準に帯域を分配するため、各ノードが送出するトラフィック量をユニット数で換算する。IEEE1394 規格の1秒は8000 サイクル(1 サイクルは、125 μ sec)で構成され、各サイクルは6144のユニットから成る。また、IEEE1394 規格では

伝送速度に関して式 (5.1) の通り、1 ユニットは S1600 のネットワークで 4byte(1quadlet) を転送する単位と定めている。

$$4\text{byte} \times 8\text{bit} \times 6144\text{unit} \times 8000\text{cycle} = 1572.864\text{Mbps}(S1600) \quad (5.1)$$

各伝送速度について、転送に必要なユニット数を表 5.5 にまとめる。

表 5.5: 伝送速度と伝送に必要なユニット数

速度	4byte 転送に必要なユニット	1byte 転送に必要なユニット
S1600	1 unit	1/4 unit
S800	2 unit	1/2 unit
S400	4 unit	1 unit
S200	8 unit	2 unit
S100	16 unit	4 unit

次に、ブリッジの損失と IEEE1394 ネットワークの他ノードの損失を均等に保つために、それぞれの損失をユニット数を用いて表す。ユニット数を用いて表す損失は、

- ブリッジの損失 L_{bridge}
- IEEE1394 ネットワークの他ノードの損失 L_{other}

である。ブリッジの損失とは、ブリッジへ IEEE802.3 ネットワークから流入したフレームが IEEE1394 ネットワークへ出力されず蓄積されるため生じる損失である。また、IEEE1394 ネットワークの他ノードの損失とは、提案する方式によるブリッジの優先的なフレーム出力 (priority frame) により、IEEE1394 ネットワークの他ノードが従来の調停方式であれば送出可能であったフレームの送出を見送るため生じる損失である。

1byte の転送に必要なユニット数を S

$$S = \begin{cases} 4, & S100 \\ 2, & S200 \\ 1, & S400 \\ 0.5, & S800 \\ 0.25, & S1600 \end{cases} \quad (5.2)$$

非同期フレームの送信と確認通知を含めた非同期トランザクションの合間に必要なギャップ時間 $10\mu\text{sec}$ (subaction gap) をユニット数に換算し G とする。

$$G = 6144\text{unit} \div 125\mu\text{sec} \times 10\mu\text{sec} \quad (5.3)$$

$$= 491.52\text{unit} \quad (5.4)$$

また、ブリッジと他の IEEE1394 ノードの損失を比較するインターバル数を m (図 5.4)、インターバル内にブリッジが IEEE1394 ネットワークへフレームを送出する回数を n 、ブリッジが IEEE1394 ネットワークへ送出的る各フレームのサイズを P 、インターバル内に IEEE802.3 ネットワークからブリッジへ流入するフレーム数を l 、IEEE802.3 ネットワークからブリッジへ流入する各フレームのサイズを F とすると、ブリッジの損失 L_{bridge} は

$$L_{bridge} = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{k=1}^l (F_{ik}S + G) - \sum_{j=1}^n (P_{ij}S + G) \right\} \quad (5.5)$$

IEEE1394 ネットワークに属する他ノードの損失 L_{other} は

$$L_{other} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=2}^n (P_{ij}S + G) \quad (5.6)$$

となる。

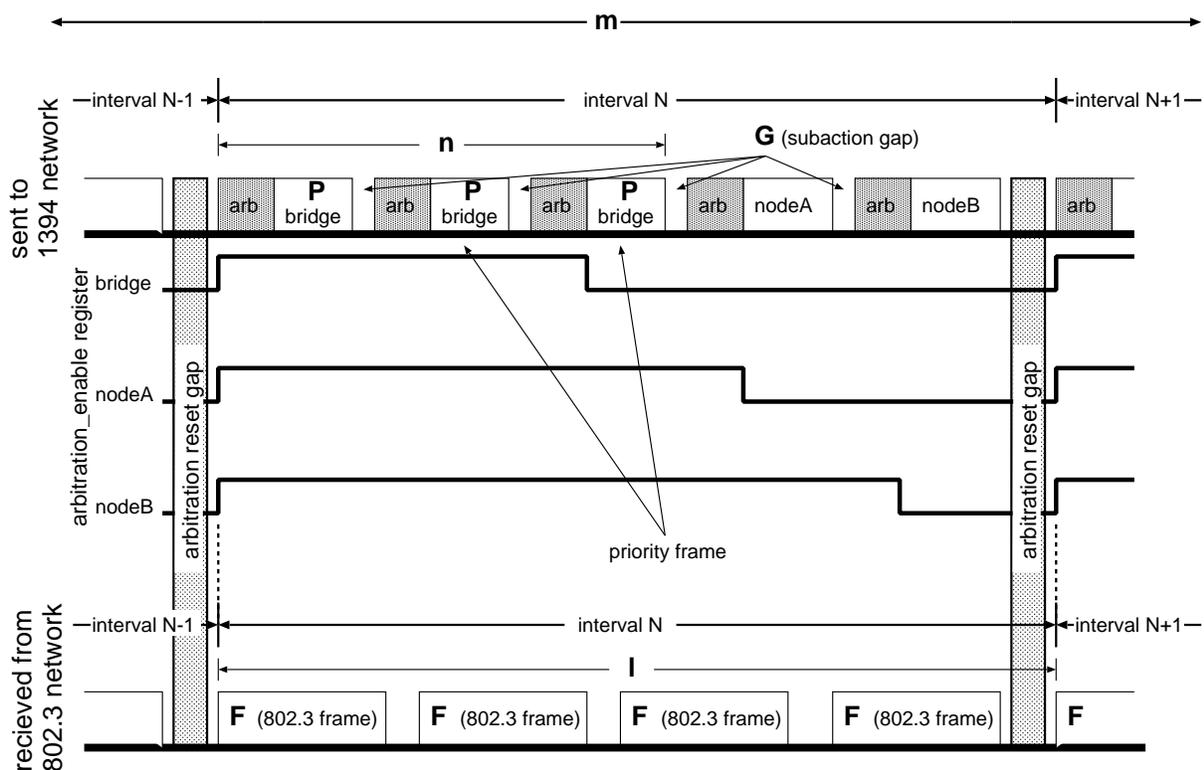


図 5.4: 提案型の調停方式の概略

このようにユニット数で換算した損失を基準とし、式 (5.7) に従い次回のインターバルにおけるブリッジの優先的なフレーム送出回数を決定する。フレームの送出回数は、ブ

リッジに蓄積されたフレームの平均サイズ \bar{F} の送出に必要なユニット数をもとに、損失の差分から算出する。

$$n_{m+1} = \begin{cases} n - \frac{L_{other} - L_{bridge}}{\bar{F}S + G}, & L_{other} > L_{bridge} \\ n, & L_{other} = L_{bridge} \\ n + \frac{L_{bridge} - L_{other}}{\bar{F}S + G}, & L_{other} < L_{bridge} \end{cases} \quad (5.7)$$

IEEE802.3 ネットワークへ公平調停を拡張した効果

図 5.5 に、本研究で提案した調停方式を用いて、ブリッジと他に 2 つの IEEE1394 ノードがフレーム伝送を行なう場合のスループットを示す。破線は従来の IEEE1394 規格の調

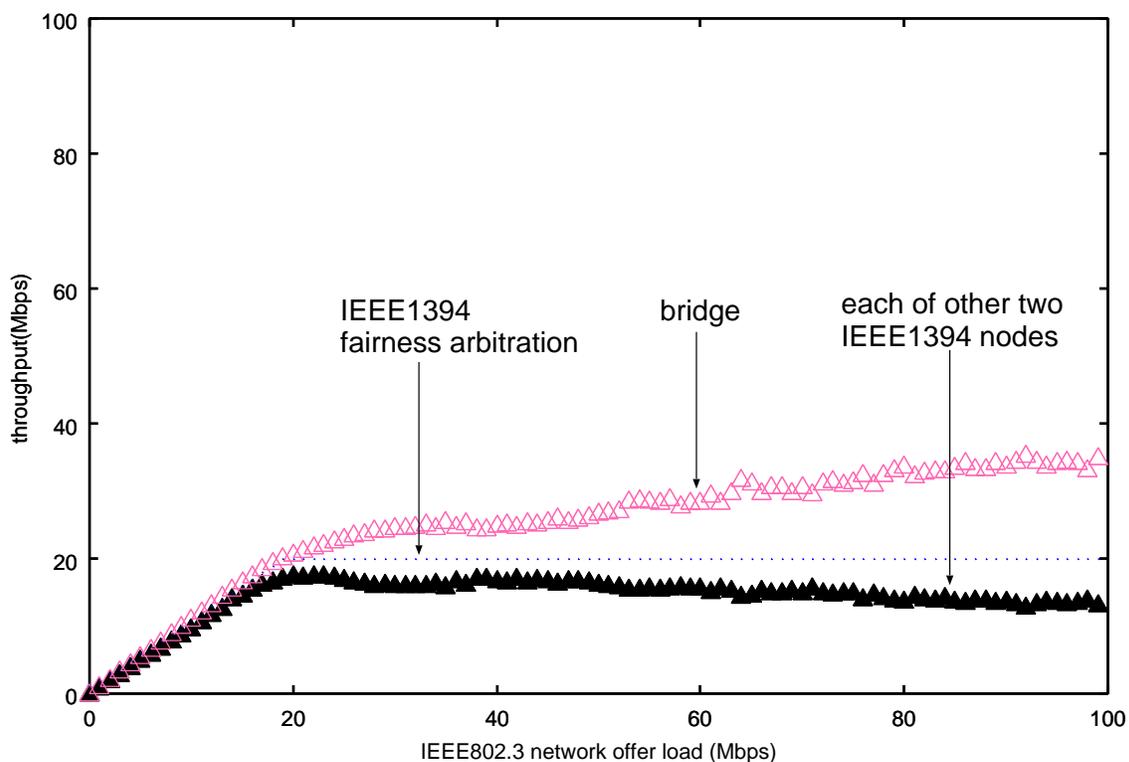


図 5.5: IEEE802.3 からのトラヒック量に対するスループット

停方式によるスループットであり、提案型の調停方式では、IEEE802.3 ネットワークからのトラヒック量が増加すると、ブリッジがより多くのフレームを IEEE1394 ネットワークへ送出していることがわかる。また、ブリッジのスループット増加の割合と比べ、他の 2 つの IEEE1394 ノードのスループットが穏やかに低下していることから、提案型の調停方式では複数のノード間で損失を共有するため、それぞれのノードへの負担が少ないことがわかる。

S100、S200、S400 の IEEE1394 ネットワークへ 100Mbps の IEEE802.3 ネットワークを接続し、提案型の調停方式を用いた場合に送信要求を持つ IEEE1394 ノードの数がブリッジのスループットに与える影響をシミュレーションした。このシミュレーションは、ブリッジの他に送信要求を持つ IEEE1394 ノードの数を 0 から 10 まで設定し、各設定で図 5.5 に相当するシミュレーションを行なった結果から最大スループットを採用したものである。

- S100 ネットワークを比較した結果を、図 5.6 に示す。

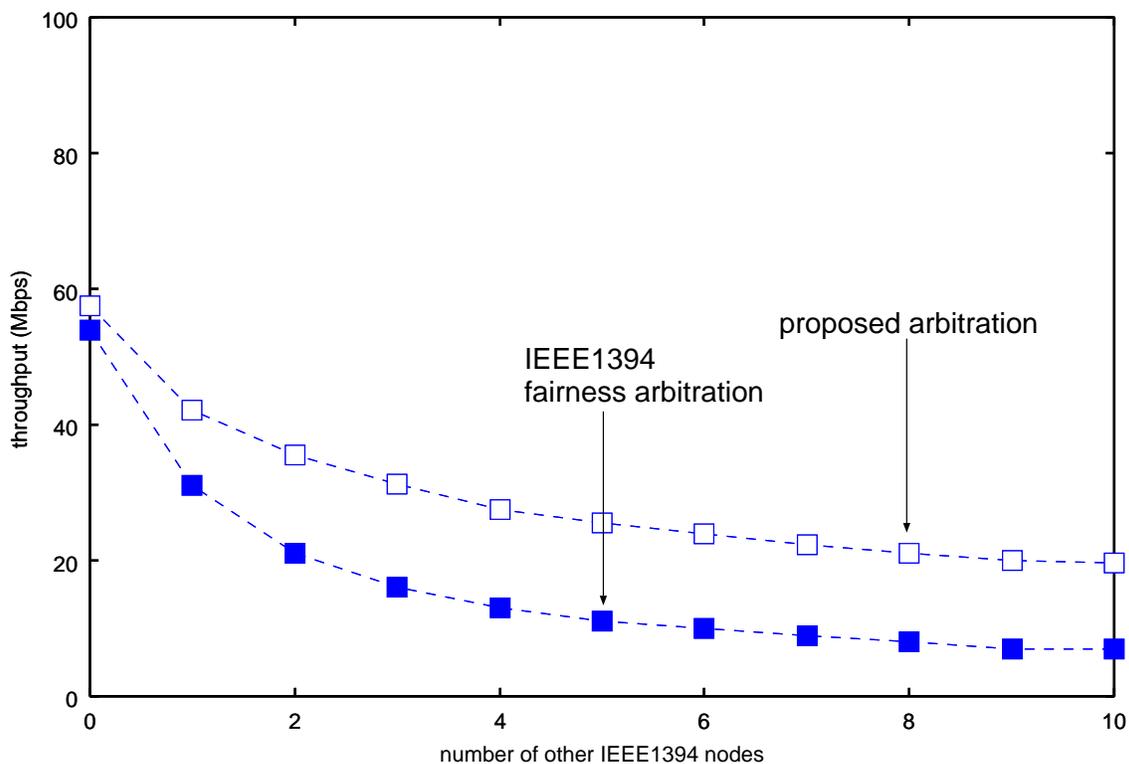


図 5.6: 提案型調停を用いた S100 ネットワークのスループット

- S200 ネットワークを比較した結果を、図 5.7 に示す。

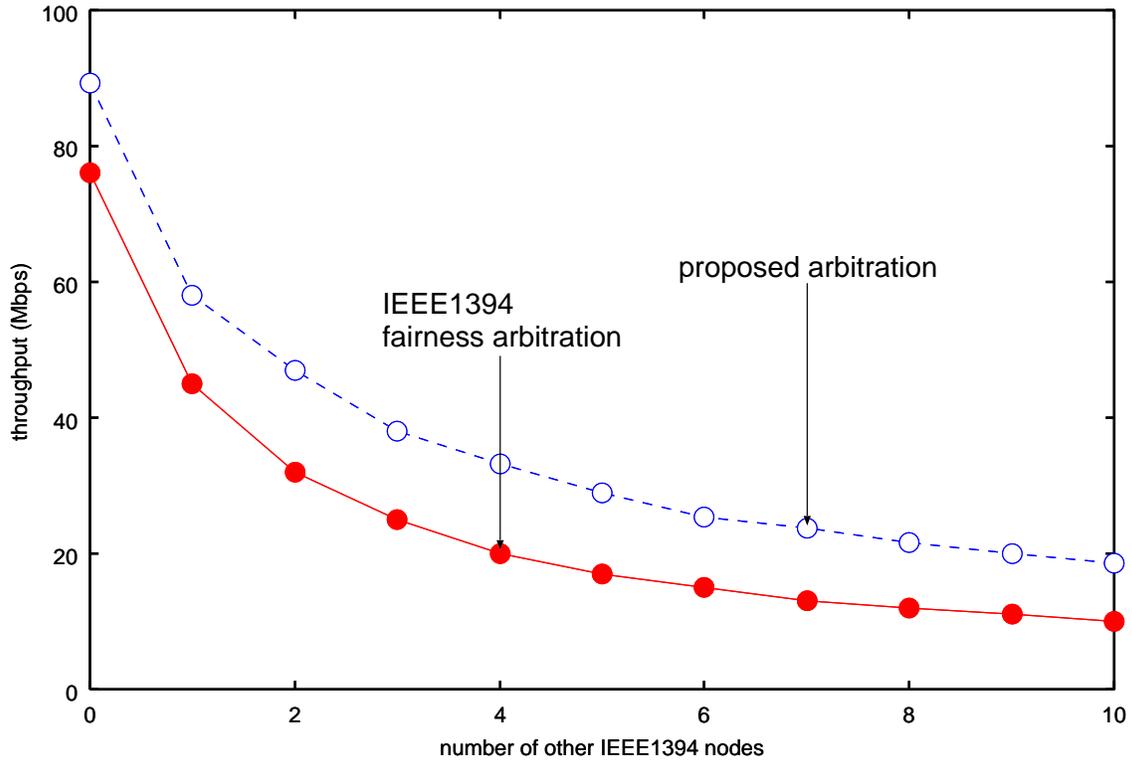


図 5.7: 提案型調停を用いた S200 ネットワークのスループット

- S400 ネットワークを比較した結果を、図 5.8 に示す。

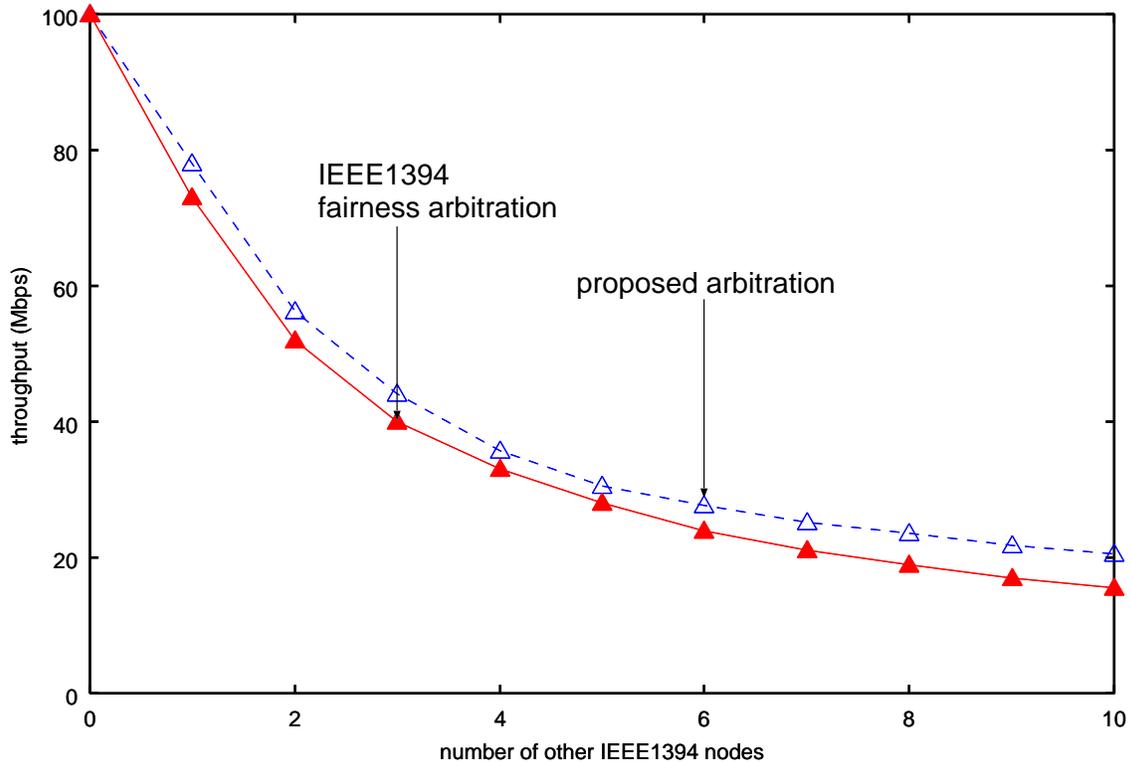


図 5.8: 提案型調停を用いた S400 ネットワークのスループット

本研究で提案した調停方式により、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリンク速度に関する問題が改善される。セグメント間のリンク速度の相違が原因で、要求フレームの再送やタイムアウトによるトランザクション終了が頻繁に起きる IEEE1394 ノード、または同様な原因により PAUSE フレームが出現しデータリンクレベルでの伝送速度を抑制される IEEE802.3 ノードにおいて、利用者へより快適なサービスを提供することができると考えられる。特に、IEEE802.3 ネットワーク側にサーバを置き、IEEE1394 ネットワーク側に複数のクライアントを置いた FTP、HTTP などのサービスにおいて連続的な非同期通信を行なう場合、本研究で提案した調停方式は効果を発揮すると考えられる。

5.2 上位層サービスの実行

これまで、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で非同期伝送を行なう方式について説明してきた。ここでは、IEEE1394 規格の上位層サービスであるトランザクションと、一般にネットワーク層で利用される IP プロトコルに焦点を合わせ、非同期伝送により接続された IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で透過的にサービスを実行する方式について検討する。

5.2.1 IEEE1394 トランザクションサービス

アプリケーションから利用されるトランザクションは、以下の 3 形態であった。

- 単一トランザクション
- 分割トランザクション
- 連結トランザクション

単一トランザクションは十分速く確認通知を返すことができる書込みトランザクションで利用され、連結トランザクションは、十分に速く応答フレームが返るリード、ロックトランザクションで利用される。これに対して分割トランザクションは、フレームを受信するノードの応答に時間がかかる場合のすべてのトランザクション(書込み、書込み、ロックトランザクション)で利用される。これは、分割トランザクションが、トランザクションの実行中に次のトランザクションを開始することができ、他の 2 つのトランザクションが、完了するまで新たなトランザクションを開始できない欠点を補うためである。ここでは、このような IEEE1394 トランザクション層の技術仕様を考慮し、分割トランザクションを IEEE802.3 ネットワークへ拡張する方式を提案する。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の分割トランザクション

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でトランザクションサービスを実行する場合、応答ノードの処理時間に加え、ブリッジによる遅延、フレームが複数のネットワーク間を往復するために要する伝送遅延を考慮しなくてはならない。単一トランザクション、または連結トランザクションを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のトランザクションで利用した場合、フレームが異なるセグメントを伝送される間、リンク速度の違いからフレームがブリッジのバッファで送出を待つ間なども、一連のトランザクションが完了するまで、トランザクションを要求したノードと同じネットワークに属するすべてのノードが次のトランザクションを開始することができない。このことは、IEEE1394 ネットワークのスループットを低下させる要因となる。

また、本研究で接続対象とする IEEE802.3 ネットワークには、IEEE1394 規格の技術仕様のように、要求フレームに続いて確認通知を返すギャップ期間やそのための帯域を保証

する技術仕様はない。この伝送概念の相違は、IEEE1394 ネットワークの非同期伝送にトランザクション層が存在することが大きな要因である。

本研究では、IEEE1394 トランザクションサービスにおいて帯域を有効に利用することを目的に、IEEE1394 トランザクションを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行する方式を提案する。ここで提案する方式は、IEEE1394 トランザクションサービスの提供する分割トランザクションの枠組みを応用するものである。

IEEE1394 ネットワークの分割トランザクション

IEEE1394 ネットワークでは、応答ノードの処理待ち時間を有効利用し複数のトランザクションを同時に実行するため、分割トランザクションが用いられる。

分割トランザクションは、図 5.9 のように要求フレームが送信された後、一時的な実行中を意味する確認通知 (Ack_Pending) が返され、その後、しばらくして本来の意味ある応答フレームが返されるトランザクションである。実行中にある各トランザクションを管理するため、要求ノードはレジスタに持つタイムアウト値を利用する。タイムアウト値を過ぎても応答フレームが返されない場合、そのトランザクションは失敗とみなされる。この他に トランザクションが失敗する要因には、他の 2 つのトランザクションと共通して要

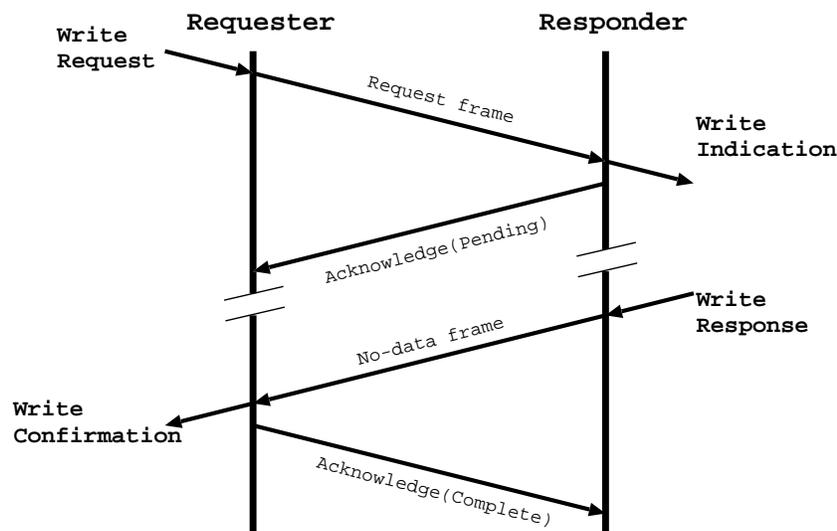


図 5.9: IEEE1394 分割トランザクション (書込み)

求フレームの宛先がビジー状態であった場合がある。この場合、要求ノードには混雑を意味する確認通知 (Ack_Busy_X) が返される。この時、要求ノードはレジスタに登録された再送回数を越えない限り、時間をおいて要求フレームを再送する。この再送回数を越えた場合、そのトランザクションは失敗する。

IEEE1394 トランザクションの拡張

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で分割トランザクションを用いる目的は、帯域を有効利用することであった。また、IEEE802.3 ネットワークへIEEE1394 トランザクションを拡張する場合、IEEE802.3 規格に確認通知に相当する概念がないことが問題であり、透過的なサービスを実現するためにこれを調整する必要があった。そこで本研究では、ブリッジがトランザクションを管理することにより、IEEE1394 トランザクション層、IEEE802.3 のデータリンク層の間でトランザクションを実現する方式を提案する。ブリッジがトランザクションを管理することにより、IEEE1394 ネットワークのトランザクションサービスは、応答待ち時間が削減され、IEEE802.3 ネットワークのフレーム伝送は既存の技術仕様のままトランザクションサービスの実行が可能になる。

以降、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で実行するトランザクションを、IEEE802.3 ネットワークから要求される場合、IEEE1394 ネットワークから要求される場合に分け説明する。

IEEE802.3 ネットワークから要求されるトランザクション

本研究で提案するブリッジは、IEEE802.3 ネットワークからトランザクションを要求するフレームが到着した場合、図 5.10 の通りフレームを中継する。この時、ブリッジがフ

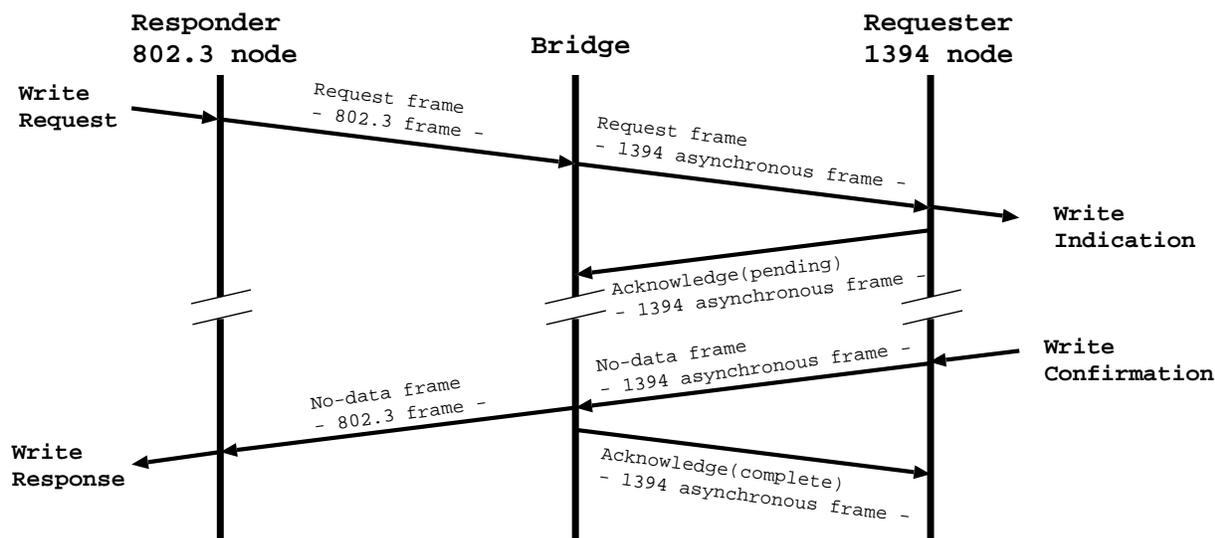


図 5.10: IEEE802.3 から IEEE1394 への分割トランザクション (書込み)

レームを中継する手順は、以下の通りである。

- (1) IEEE802.3 ネットワークから要求フレームが到着する

- (2) トランザクション情報を含む IEEE802.3 フレームを IEEE1394 非同期フレームに変換し送出する
- (3) 実行中を意味する確認通知が IEEE1394 ネットワークから返される
- (4) IEEE1394 ネットワークから応答フレームが到着する
- (5) IEEE1394 非同期フレームを IEEE802.3 フレームに変換し送出する
- (6) 完了を意味する確認通知を IEEE1394 ネットワークへ送出する

トランザクションの開始から終了までの状態遷移を、図 5.11 に示す。

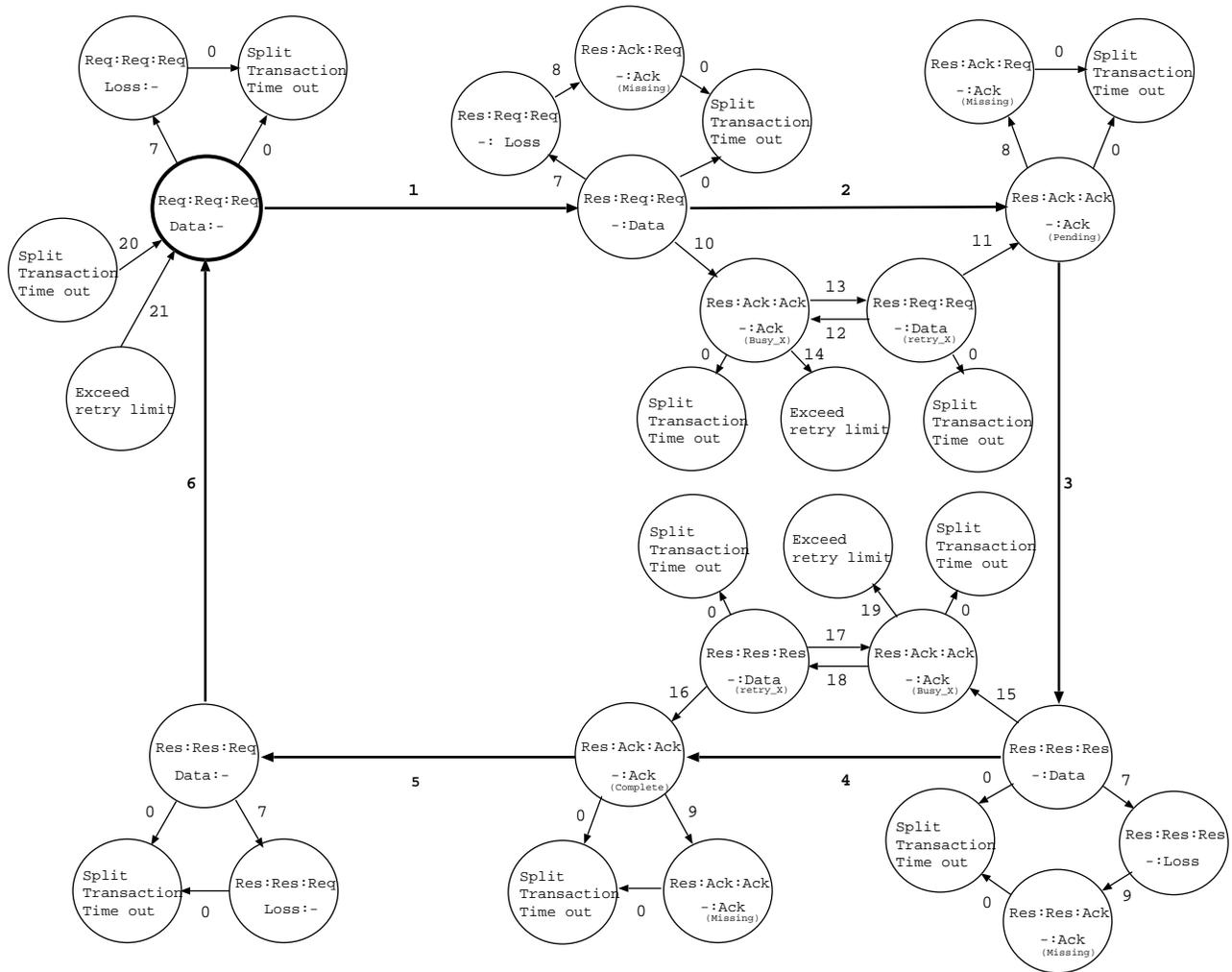


図 5.11: IEEE802.3 から IEEE1394 への分割トランザクションの状態図

この状態図では、円で表されたそれぞれの状態について、上段に3つ、下段に2つ、コロンで区切られた5つのラベルがふられている。それぞれのラベルは、上段の左から順に IEEE802.3 ノード、ブリッジ、IEEE1394 ノード、下段の左から IEEE802.3 ネットワーク、IEEE1394 ネットワークを現している (図 5.12)。

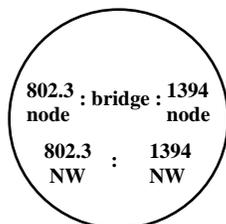


図 5.12: 状態図の凡例 (1)

最初のラベルのである IEEE802.3 ノードは要求 (Req)、応答 (Res) のいずれかに対応する。2、3 番目のラベルであるブリッジと IEEE1394 ノードは、要求 (Req)、応答 (Res)、確認通知 (Ack) のいずれかに、4 番目のラベルである IEEE802.3 ネットワークは、データ送出 (Data)、データ損失 (Loss)、アイドル (-) のいずれかに、5 番目のラベルである IEEE1394 ネットワークは、データ送出 (Data)、データ損失 (Loss)、確認通知送出 (Ack)、アイドル (-) のいずれかに対応している (表 5.6)。

表 5.6: ラベルの持つ記号

	node			network			
	Req	Res	Ack	Data	Loss	Ack	-
1. 802.3 node							
2. bridge							
3. 1394 node							
4. 802.3 network							
5. 1394 network							

この図の初期状態は、太線で囲まれた (Req:Req:Req:Data:-) に選ばれている。この状態は、トランザクションを要求する IEEE802.3 ノードが要求フレームを送出した直後であり、ブリッジと IEEE1394 ノードが要求フレームを期待し、要求フレームが IEEE802.3 ネットワークにある状態である。正常な IEEE802.3 ネットワークからの分割トランザクションは、遷移 1、2、3、4、5、6 の順で行なわれる。遷移 1 により、状態は (Res:Req:Req:-:Data) となる。この状態は、ブリッジが要求フレームを受け、IEEE1394 ネットワークへ中継するフレームを送出した直後の状態である。その後、遷移 2 により状態は、IEEE1394 ノードが要求フレームを受信し実行中の確認通知を返した状態へ、遷移 3 により IEEE1394 ノード

ドが応答フレームをブリッジへ返した状態へ、遷移 4 によりブリッジが完了の確認通知を IEEE1394 ネットワークへ送出した状態へ、遷移 5 によりブリッジが応答フレームを IEEE802.3 ネットワークへ送出した状態へ、遷移 6 により初期状態へ移り、一連のトランザクションが終了する。

トランザクションに応答する IEEE1394 ノードが混雑している場合、要求ノードである IEEE802.3 ノードに代わりブリッジが要求フレームの再送を行なう。このように、IEEE1394 インターフェイスを持つブリッジがトランザクションを管理するため、IEEE802.3 ノードは、IEEE1394 トランザクション層の行なう処理から解放され、従来のデータリンク層サービスで IEEE1394 ノードに要求し、応答することができる。IEEE1394 ノードが混雑している時の状態遷移は、遷移 10 により状態 (Res:Ack:Ack:-:Ack_Busy_X) へ移り、その後、遷移 11 により状態 (Res:Ack:Ack:-:Ack_Pending) となり IEEE1394 ノードが要求フレームを受け入れるまで、遷移 12、遷移 13 を繰り返す。

IEEE1394 ネットワークが要求フレームを紛失すると、遷移 7 により状態 (Res:Req:Req: -:Loss) へ移り、その後、遷移 8 により状態 (Res:Ack:Req: -:Ack_Missing) へ移る。これは IEEE1394 非同期伝送の技術仕様であり、データフレームに続いて確認通知が返されない場合、確認通知フレームの紛失として扱いトランザクションを終了するためである。IEEE1394 ネットワークが確認通知を紛失すると、遷移 8 により状態 (Res:Ack:Req: -:Ack_Missing) へ移り、その後のタイムアウトによりトランザクションは終了する。

IEEE802.3 ネットワークが要求フレームを紛失すると、遷移 7 により状態 (Req:Req:Req:Loss: -) へ移る。フレームを紛失して終了した全てのトランザクションは、遷移 0 によりタイムアウトを経て初期状態へ戻る (遷移 20)。

IEEE1394 ネットワークから要求されるトランザクション

本研究で提案するブリッジは、IEEE1394 ネットワークからトランザクションを要求するフレームが到着した場合、図 5.13 の通りフレームを中継する。この時、ブリッジがトランザクションを中継する手順は、以下の通りである。

- (1) IEEE1394 ネットワークから要求フレームが到着する
- (2) IEEE1394 非同期フレームを IEEE802.3 フレームに変換し送出する
- (3) 実行中を意味する確認通知を IEEE1394 ネットワークへ送出する
- (4) IEEE802.3 ネットワークから応答フレームが到着する
- (5) IEEE802.3 フレームを IEEE1394 非同期フレームに変換し送出する
- (6) 完了を意味する確認通知を IEEE1394 ネットワークから受ける

IEEE1394 ネットワークから IEEE802.3 ネットワークへ要求されるトランザクションの状態遷移を図 5.14 に示す。

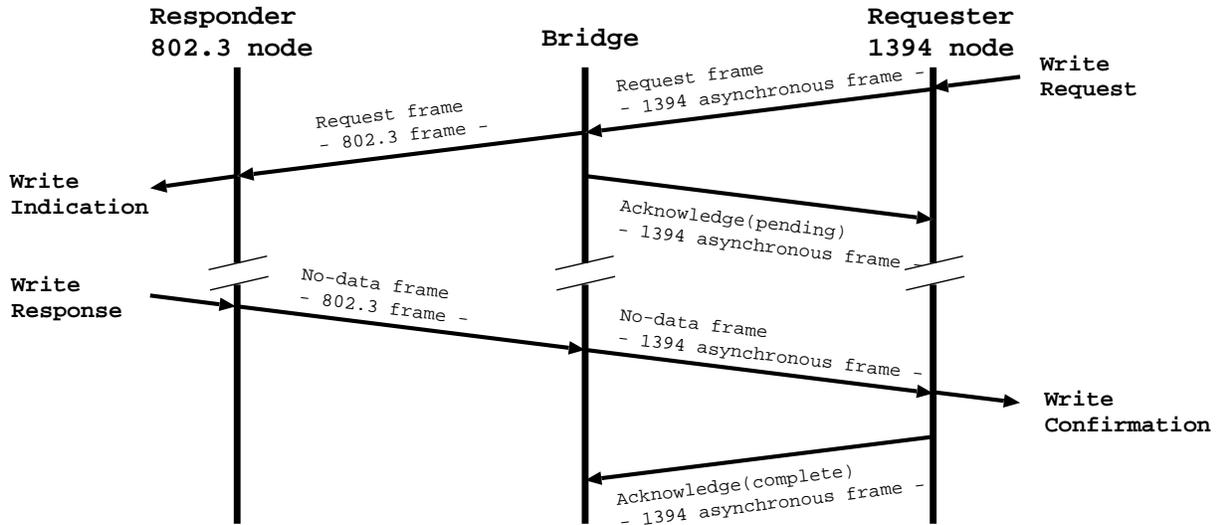


図 5.13: IEEE1394 から IEEE802.3 への分割トランザクション (書込み)

各状態は、図 5.15 に示す通り 5つのラベルを持ち、それぞれのラベルの割り当ては上段の左から順に IEEE1394 ノード、ブリッジ、IEEE802.3 ノード、下段の左から IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークである。

それぞれのラベル名に対応する記号は、表 5.6 と同様である。

この図の初期状態では、太線で囲まれた (Req:Req:Req:Data: -) に選ばれている。この状態は、トランザクションを要求する IEEE1394 ノードが要求フレームを送信した直後であり、ブリッジと IEEE802.3 ノードが要求フレームを期待し、要求フレームが IEEE1394 ネットワークにある状態である。正常な IEEE1394 ネットワークからのトランザクションは、遷移 1、2、3、4、5、6 の順で遷移する。遷移 1 は IEEE1394 ノードによる要求フレームの送出であり、ブリッジがこの要求フレームを受る。その後、遷移 2 により、ブリッジは実行中の意味を持つ確認通知を IEEE1394 ネットワークへ送出し、遷移 3 により、IEEE802.3 ノードへ要求フレームを送出する。トランザクションに指定された処理の終了後、遷移 4 により IEEE802.3 ノードは応答フレームをブリッジへ送出する。遷移 5 により、ブリッジは応答フレームを中継し IEEE1394 ノード送出する。遷移 6 により、ブリッジに完了の意味を持つ確認通知が返され一連のトランザクションが終了する。

5.2.2 IP サービス

今日、さまざまなアプリケーションや上位層サービスが利用する IP プロトコルは、IP アドレスで宛先を指定したパケット伝送である。しかし、データリンク層のハードウェアアドレスはそれを理解しないため、実際のパケット送信にはインターフェイスの持つハードウェアアドレスと IP アドレスをマッピングする必要がある。このため、IP アドレスが

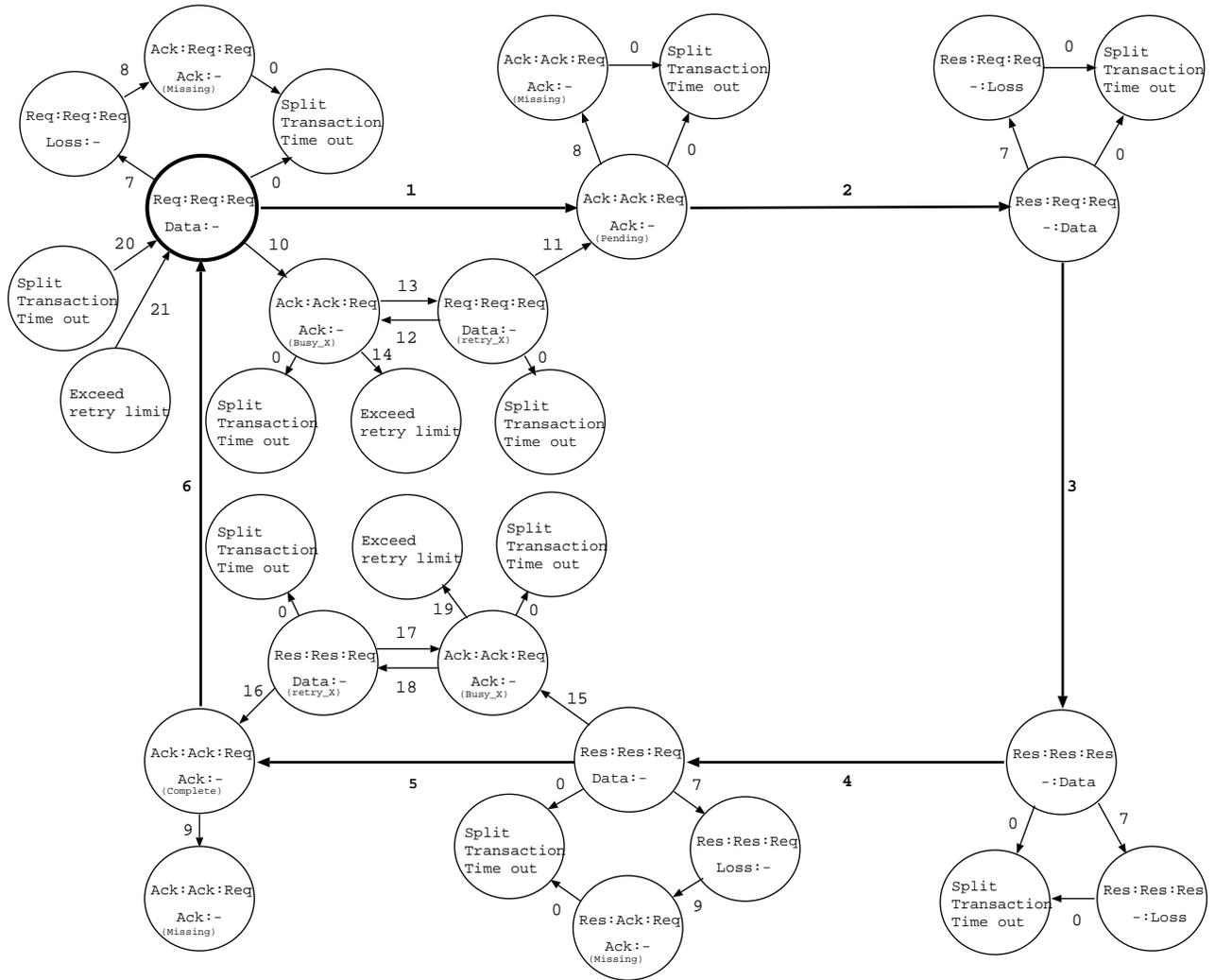


図 5.14: IEEE1394 から IEEE802.3 への分割トランザクションの状態遷移

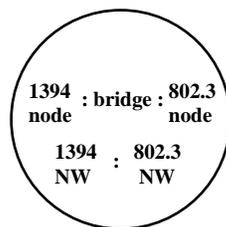


図 5.15: 状態図の凡例 (2)

ら対応するハードウェアアドレスへの動的なマッピングに ARP が利用される。

IETF では、これらのプロトコルについて IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク上での利用に関する技術仕様を策定している。ここでは、IETF の定める技術仕様に従い、ARP、IP プロトコルを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で透過的に利用する方式について論じる。

IEEE1394 ネットワーク上での ARP と IP プロトコル

ARP は、実行にデータリンク層にブロードキャストを要求する。IEEE1394 ネットワークのブロードキャストは、IEEE1394 非同期ストリームを用いて行なわれる。IEEE1394 非同期ストリームは、IEEE1394 ネットワークの非同期期間中に伝送される確認通知の必要ないフレームであり、ブロードキャストに適した性質を持つ。

IEEE1394 非同期フレームを用いて IP パケットを伝送する場合、IETF では書込みトランザクションを利用することを定めている。書込みトランザクションは IEEE1394 リンク層に応答フレームを返さないため、最も IEEE802.3 ネットワーク上で IP パケットを伝送する形態に近いトランザクションである。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の ARP

IEEE802.3 ネットワークにある要求ノードから、IEEE1394 ネットワークの宛先ノードに対する ARP の実行を図 5.16 に示す。ブリッジによる ARP 要求と ARP 応答の中継は、以下の通りである。

- (1) 要求ノードが、IEEE802.3 フレームで ARP 要求をブロードキャストする。
- (2) ブリッジが ARP 要求を変換し、IEEE1394 非同期ストリームで送信する。
- (3) 宛先ノードが、ARP 要求を受信する。
- (4) 宛先ノードが、IEEE1394 非同期ストリームで ARP 応答を返信する。
- (5) ブリッジが ARP 応答を変換し、送信ノードへ IEEE802.3 フレームで返信する。
- (6) 要求ノードが、ARP 応答を受信する。

これに対して IEEE1394 ネットワークにある要求ノードから、IEEE802.3 ネットワークの宛先ノードに対する ARP 実行を図 5.17 に示す。ブリッジによる ARP 要求と ARP 応答の中継は、以下の通りである。

- (1) 要求ノードが、IEEE1394 非同期ストリームで ARP 要求を送信する。
- (2) ブリッジが ARP 要求を変換し、IEEE802.3 フレームでブロードキャストする。
- (3) 宛先ノードが、ARP 要求を受信する。

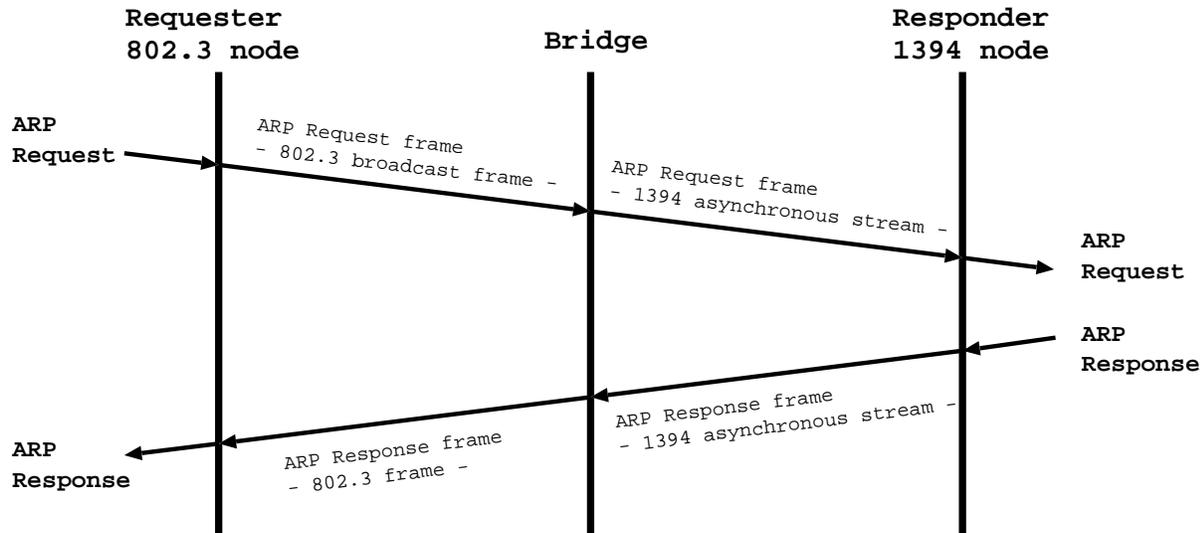


図 5.16: IEEE802.3 から IEEE1394 への ARP

- (4) 宛先ノードが、IEEE802.3 フレームで ARP 応答を返信する。
- (5) ブリッジが ARP 応答を変換し、IEEE1394 非同期ストリームで返信する。
- (6) 要求ノードが、ARP 応答を受信する。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間の IP プロトコル

IEEE802.3 ネットワークから、IEEE1394 ネットワークへの IP パケットの伝送を図 5.18 に示す。ブリッジは、以下の通り IP パケットを中継する。

- (1) 送出ノードが、IEEE802.3 フレームを用いて IP パケットを送出する。
- (2) ブリッジが IEEE802.3 フレームを変換し、IEEE1394 非同期フレームで書込みトランザクションを要求する。
- (3) 宛先ノードが、IP パケットを受信し、確認通知を返す。

これに対して IEEE1394 ネットワークから、IEEE802.3 ネットワークへの IP パケットの伝送を図 5.19 に示す。ブリッジは、以下の通り IP パケットを中継する。

- (1) 送出ノードが、IEEE1394 非同期フレームの書込みトランザクションを用いて IP パケットを送出する。
- (2) ブリッジが確認通知を返し、受信した IEEE1394 非同期フレームを変換して IEEE802.3 フレームを送出する。

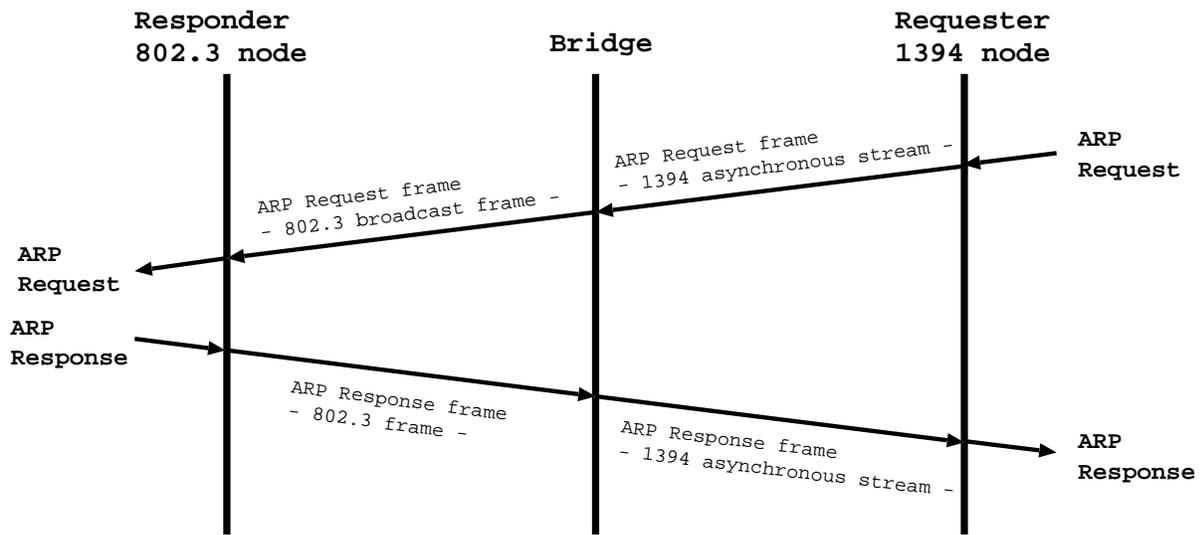


図 5.17: IEEE1394 から IEEE802.3 への ARP

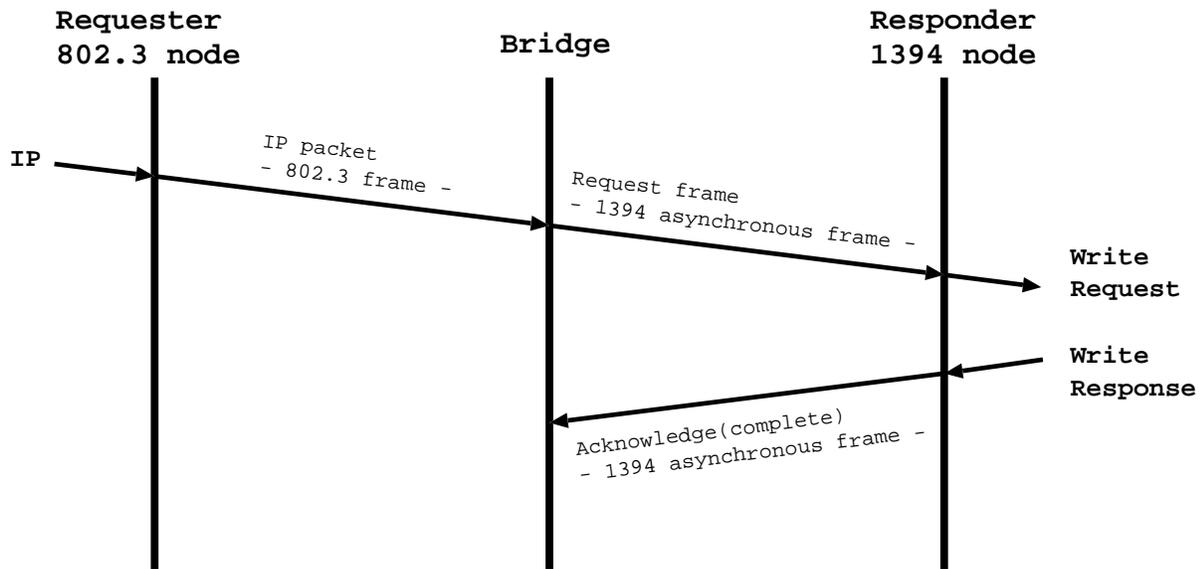


図 5.18: IEEE802.3 から IEEE1394 への IP プロトコル

(3) 宛先ノードが、IP パケットを受信する。

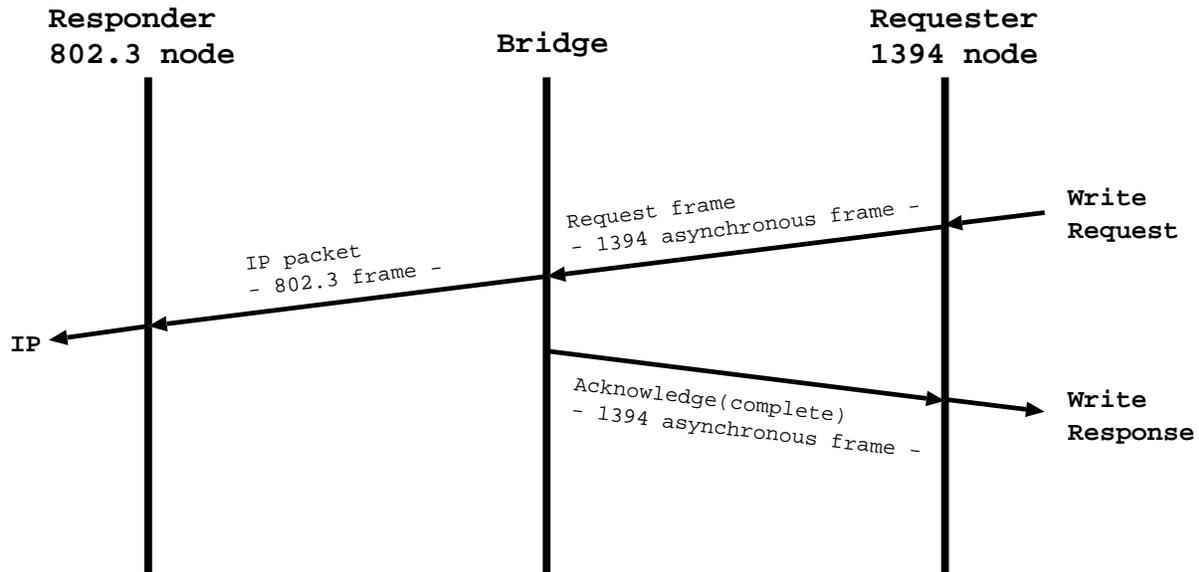


図 5.19: IEEE1394 から IEEE802.3 への IP プロトコル

5.3 まとめ

本章では、第3章に示した非同期伝送を行なう IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項

- IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームを交換すること
- IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長の相違を解消すること
- IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリンク速度の相違を緩和し、スループットの低下を抑えること
- IEEE1394 ネットワークのトランザクション層と IEEE802.3 ネットワークのデータリンク層の相違を解消すること

に対して

- IEEE802.1D 規格に定められた中間的なデータ構造を介したフレーム交換を応用した、IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームの交換

- フラグメント処理による最大ペイロード長の調整
- IEEE1394 ネットワークでの調停作業をトラフィック量を基準に改善した調停方式による、リンク速度の相違の緩和
- 第4章で、上位層サービスの枠組みとして定めたプロトコルスタックを利用する
 - トランザクションサービス
 - IP プロトコル
 - ARP

について、トランザクション層が存在するため確認通知を必要とする IEEE1394 ネットワークと、そうでない IEEE802.3 ネットワーク間での透過的なサービスの遂行

といったそれぞれへの対応方式について論じた。第6章では、非同期フレームを利用してコネクションを確立するリアルタイム伝送について論じる。

第 6 章

リアルタイム伝送

IEEE1394 ネットワークは映像や音声を途切れなく伝送することを目的として、必要な帯域幅を予約しネットワーク内で同期したフレーム伝送を行なう。IEEE1394 規格では、これをアイソクロナス伝送 (isochronous : iso=same、chronous=time) という。しかし、接続対象である IEEE802.3 規格にはこのような伝送概念は存在せず、非同期にフレーム伝送が行なわれている。本章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でリアルタイム伝送を行なうため、IEEE802.3 ネットワークへ遅延なくフレームを送出する経路管理機構を導入する。その後、接続されたセグメント間で同期的なフレーム伝送を行なう方式について論じる。

6.1 伝送概念の相違とその対応

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でリアルタイム伝送を行なう目的は、

- IEEE1394 ネットワーク上で行なわれるリアルタイム性のあるフレーム伝送を、IEEE802.3 ネットワークへ拡張し、品質の高い映像や音声のサービスを異なるセグメントを通じて利用すること

であった。

上記の目的を遂行するため、第 4 章ではブリッジに IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のプロトコルスタックの相違を解消するレイヤ構造を導入し、第 5 章ではリアルタイム伝送の手続きに必要となる非同期フレームを IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で伝送する方式を説明した。

以降の本節では、IEEE802.3 ネットワークにリアルタイム性のあるフレーム伝送を導入し、IEEE1394 アイソクロナス伝送とブリッジ接続する。その後、この方式により伝送されるフレームの IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でのヘッダ情報の相違を比較し調整する。

6.1.1 IEEE802.3 ネットワークへのコネクションの導入

IEEE802.3 規格には、IEEE1394 規格のアイソクロナス伝送に相当する概念がない。そのため、IEEE802.3 ネットワークでリアルタイム性を必要とするデータ伝送を行なう場合、VLAN と高機能スイッチを併用したチャンネル毎の帯域確保や遅延を吸収するためのバッファリング処理が用いられる。近年では、このような帯域管理を集中的に行ない、サービスに必要な帯域を End-to-End で提供する方式が提案されている。本研究ではこのような経路管理機構を用いて、IEEE1394 規格の持つコネクションの概念を IEEE802.3 ネットワークへ導入する方式を提案する。

IEEE1394 アイソクロナス伝送

IEEE1394 規格のアイソクロナス伝送では、あらかじめ帯域とチャンネルを確保する必要がある。この手続きは CMP と呼ばれ IEC(International Electrotechnical Commission) により仕様が策定されている。

CMP は、まずはじめに IEEE1394 ネットワーク内で使用する帯域とチャンネル番号の予約を行なう。IEEE1394 ネットワークでの資源予約はアイソクロナスリソースマネージャのレジスタを介して行なわれ、このレジスタを他ノードが参照することで重複した資源の予約が回避される。アイソクロナスリソースマネージャは、アイソクロナス伝送を行なうために必要な機能をまとめたモジュールであり、アイソクロナス伝送を行なう IEEE1394 ネットワーク内で必ず一つだけ動作している必要がある。アイソクロナス伝送に必要なレジスタのうち、帯域を管理するレジスタが BANDWIDTH_AVAILABLE レジスタである。このレジスタは、アイソクロナス伝送に利用可能なユニット数の残りをカウントする役割を持ち、IEEE1394 規格に定められた全ユニットの 80% に当たるユニットを管理の対象とする。これに加え、チャンネルを管理するために必要となるのが CHANNELS_AVAILABLE レジスタである。このレジスタは 64 ビットで構成され、それぞれのビットが 64 ある各チャンネルに相当する。各チャンネルの使用状況はレジスタのビットのオン、オフで表されている。アイソクロナスリソースマネージャのレジスタは、IEEE1394 非同期フレームを用いたロックトランザクションにより更新される。

IEEE1394 ネットワークでの資源予約が成功した後、アイソクロナスフレームの送信要求ノードは、プラグという概念を用いて受信ノードとのコネクションを確立する。プラグは、IEEE1394 ネットワーク上の信号を IEEE1394 デバイスへと受渡しするための論理的なインターフェイスであり、具体的には PCR(Plug Control Register) により実現される。PCR は入力用の iPCR(input Plug Control Register) と出力用の oPCR(output Plug Control Register) に分別でき、それぞれレジスタのフィールドにプラグのオン、オフ、チャンネル番号、伝送速度、コネクション数などの情報を持つ。アイソクロナスフレームの送信要求ノードは、フレームの送出インターフェイスの生成のため oPCR を内部的に設定し、受信ノードには IEEE1394 非同期フレームを用いたロックトランザクションにより iPCR の設定を行なう。

アイソクロナスフレームの送信要求ノードが、CMP に従いコネクションを確立する手

順を以下にとめる。

- (1) アイソクロナスリソースマネージャの BANDWIDTH_AVAILABLE レジスタに利用する帯域幅を予約する
- (2) アイソクロナスリソースマネージャの CHANNELS_AVAILABLE レジスタに利用するチャンネル番号を予約する
- (3) 受信ノードの iPCR と送信要求ノードの oPCR が持つ channel フィールドに利用するチャンネル番号を設定する
- (4) 送信要求ノードの oPCR が持つ data_rate フィールドに利用する伝送速度を設定する
- (5) 受信ノードの iPCR と送信要求ノードの oPCR が持つ point-to-point_connection_counter フィールドをインクリメントし、現在利用されているコネクションの数を更新する

IEEE802.3 ネットワークの帯域管理

一方の IEEE802.3 ネットワークの経路管理機構は、

- インターフェイスモジュール
- 経路選択モジュール
- ネットワーク設定モジュール
- データベースモジュール

から構成される。インターフェイスモジュールは、アプリケーションや他の上位層モジュールからの要求を受け、実行結果を返すインターフェイスとなる機能を持つ。実際にサービスを提供するエンジンは、経路選択モジュールとネットワーク設定モジュールである。経路選択モジュールは、ネットワークのトポロジマップ、ネットワーク機器の設定情報から最適な経路を探索する。本研究で接続対象とする IEEE802.3 ネットワークは、伝送媒体を共有する半二重の伝送形態をとらないため、よりコストの低い経路を探索することが必要である。最適経路の決定後、ネットワーク設定モジュールによりネットワーク機器の設定が行なわれる。機器へ設定するパラメータは、インターフェイスモジュールから提供されるサービス品質を満たす帯域幅である。データベースモジュールは、経路選択モジュールが利用するトポロジマップと、ネットワーク設定モジュールが操作する機器の制御仕様に関する情報を提供する。

以下に、IEEE802.3 ネットワークの経路管理機構が End-to-End で帯域を確保する手順を示す。

- (1) インターフェイスモジュールは、送信ノードと受信ノードのアドレスを経路選択モジュールへ、確保する帯域幅をネットワーク設定モジュールへ渡す

- (2) 経路選択モジュールは、データベースモジュールからトポロジマップとネットワーク機器の設定情報を取得し、要求された帯域の取得が可能な最適経路を選択する
- (3) ネットワーク選択モジュールは、経路選択モジュールから受け取った最適経路上に設置されたネットワーク機器にインターフェイスモジュールが要求する帯域を設定する
- (4) ネットワーク設定モジュールは、データベースモジュールのネットワーク設定情報を更新する
- (5) インターフェイスモジュールへ経路設定の完了を報告する

ある送信ノードから受信ノードまでを流れる特定のトラヒックに対して、End-to-Endで利用可能な帯域幅を保証するため、そのトラヒックを一意に識別する必要がある。このトラヒックの識別子として利用されるのが、IEEE802.1Q規格に定められたVID(Virtual lan IDentification)である。IEEE802.1Q規格に対応したネットワーク機器は、VID毎にトラヒックを識別し、異なる帯域を与える仕組みを有している。リアルタイム性の要求されるフレーム伝送を行なうため、IEEE802.3ネットワークの経路管理機構はこの機能を有効に活用する。つまりIEEE802.3ネットワークの経路管理機構では、IEEE1394規格のチャンネルに相当する概念をVIDにより実現し、必要な帯域幅の確保はIEEE802.1Q規格に対応した機器の帯域保証機能により実現している。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のコネクション確立

CMPによるIEEE1394アイソクロナス伝送を行なう手続きと、IEEE802.3ネットワークの経路管理機構の用いる手続きは異なる。しかし、それぞれのネットワークでリアルタイム性の要求されるデータ伝送に必要な情報は、トラヒックを識別するチャンネル番号とサービス品質を満足する帯域幅であった。言い換えると、チャンネル番号の設定と帯域幅の確保はそれぞれのネットワークに共通して必要であり、伝送概念の違いや実装の違いから異なる方式で手続きが行なわれている。そこで本研究では、ブリッジの上位層にこれらの情報を異なるネットワーク間で共有する機能を持たせ、IEEE1394ネットワーク側でのCMPによるアイソクロナス伝送のプラグ設定とIEEE802.3ネットワーク側での経路管理機構による最適経路選択と帯域幅の確保を連続して行なう方式を提案する。IEEE1394ネットワーク、IEEE802.3ネットワークを跨ぐリアルタイム伝送の要求に対して、それぞれのネットワークでの手続きは既存の方式を用い、ブリッジはチャンネルと帯域に関する情報を共有する仕組みを提供する。

情報共有の簡略化を目的として、ブリッジはIEEE1394アイソクロナス伝送でトラヒックのチャンネル番号と帯域幅を管理するアイソクロナスリソースマネージャの機能と、IEEE802.3ネットワークの経路管理機構で上位モジュールからの要求を受けるインターフェイスモジュールを持つ。ブリッジは異なる規格のセグメントヘリアルタイム伝送の要求があった場合、チャンネル番号と帯域幅に関する情報をアイソクロナスリソースマネージャ、またはインターフェイスモジュールへ渡しコネクションの確立を依頼する。以下に、

IEEE1394 ノードから IEEE802.3 ノードへのリアルタイム伝送の要求があった場合の手続きを示す。

- (1) アイソクロナスリソースマネージャ(ブリッジ)のレジスタにチャンネル番号と必要な帯域幅が予約される
- (2) 異なるセグメントへのPCR 設定要求に対して、ブリッジが iPCR を設定しアイソクロナスフレームを代理受信する手続きを行なう
- (3) ブリッジは、IEEE802.3 ネットワークの経路管理機構のインターフェイスモジュールにレジスタから読み取った帯域幅をパラメータとして渡し、最適経路の探索と帯域の確保を依頼する
- (4) 経路が決定しネットワーク機器への必要な帯域幅の設定が行なわれた後、インターフェイスモジュールはブリッジに使用した VID を返す
- (5) ブリッジは、IEEE1394 アイソクロナスフレームのチャンネル番号と IEEE802.3 フレームの VID によりトラヒックをマッピングしリアルタイム伝送を実行する

IEEE802.3 ノードから IEEE1394 ノードへのリアルタイム伝送の要求があった場合の手続きを以下に示す。

- (1) IEEE802.3 ネットワークの経路管理機構の経路選択モジュールが、最適経路上に IEEE1394 ネットワークと接続されたブリッジが存在することを確認する
- (2) ネットワーク設定モジュールはデータベースモジュールから得た制御方法を参考に、ブリッジがトラヒック識別に必要とする VID と要求された帯域幅をパラメータとして渡し接続を依頼する
- (3) ブリッジは、レジスタを介してチャンネル番号と必要な帯域幅を予約する
- (4) ブリッジは内部的に oPCR を設定した後、宛先ノードの iPCR を設定する
- (5) IEEE1394 ネットワークでのチャンネル確立後、ブリッジは IEEE802.3 フレームの VID と IEEE1394 アイソクロナスフレームのチャンネル番号によりトラヒックをマッピングしリアルタイム伝送を実行する

6.1.2 ヘッダ情報の調整

前節では、VID と 802.1Q 規格に対応したネットワーク機器を用いて、経路の識別と帯域の確保を行なった。この情報は、ブリッジを介して接続する IEEE1394 ネットワークのコネクション確立に利用される。しかし、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で伝送されるフレームのヘッダ情報は異なるため、それらを記述するフィールドはマッチしない。本節では、IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームを

ブリッジ接続する際に問題となるフレームフォーマットの相違をまとめ、これを調整する方式を説明する。第5章では、IEEE802.1D 規格で策定された中間フォーマットを用いてヘッダ情報を変換する方式を紹介し、IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームをブリッジ接続する方式を提案した。ここで説明する方式は、これを応用するものである。

IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレームの相違

IEEE1394 アイソクロナスフレームは、チャンネルをトラヒックの識別子としたリアルタイム伝送を実現するフレームフォーマットであり、IEEE802.3 フレームは本来そのような目的を持つフォーマットではない。そのため IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレーム間ではフィールドの情報が異なる。IEEE1394 アイソクロナスフレームは、

- ペイロード長 (data_length)
- タグ (tag)
- チャンネル (channel)
- トランザクションコード (tcode)
- 同期コード (sy)
- CRC(header_CRC、data_CRC)

の順でフィールドを持つ。タグとトランザクションコードは、IEEE1394 非同期フレームから IEEE1394 アイソクロナスフレームを識別するために与えられ、それぞれ 00_2 、 $0xA$ の固定値をとる。チャンネル番号はアイソクロナス伝送を行なうトラヒックを一意に識別する番号であり、プラグにより IEEE1394 デバイスと接続される。同期コードは、映像データと音声データの識別などにアプリケーションが自由に利用するフィールドである。CRC は、IEEE1394 非同期フレームと同じくヘッダを対象とした CRC、ペイロードを対象とした CRC に分かれる。

これに対し IEEE802.3 フレームのフィールドは、宛先識別子 (destination address)、送信元識別子 (source address)、ペイロード長 (length)、タグ制御情報 (tag control information)、CRC が先頭から並ぶ。宛先識別子と送信元識別子は 48 ビットのハードウェアアドレス、タグ制御情報は 12 ビットの VLAN 識別子、CRC はフレーム全体を対象としたものであった。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリアルタイム伝送に用いられるヘッダ情報の相違を表 6.1 にまとめる。

中間フォーマットを用いた相違の調整

IEEE802.1D 規格に定められた異なるネットワーク間の接続では、それぞれのフレームの持つヘッダフィールドに共通した情報を抽象化した中間フォーマットが用いられた。IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレーム間の接続もこの方式を応用し、

表 6.1: リアルタイム伝送に必要なヘッダ情報の相違

含まれる情報	IEEE1394 アイソクロナスフレーム	IEEE802.3 フレーム
宛先識別子	×	
送信元識別子	×	
タグ制御情報	×	
チャンネル番号		×
ペイロード長		
タグ	(00 ₂ 固定)	×
トランザクションコード	(0xA 固定)	×
同期コード		×
CRC	(ヘッダ、データ別)	

中間フォーマットを仲介させたフレーム変換を行なう。以下に、IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレーム間で利用する中間フォーマットのデータ構造を示す。

```
isochronous_unitdata (
    destination_ID,
    source_ID,
    channel/VID,
    service_data_unit
)
```

この中間フォーマットを用いて、ブリッジはIEEE1394 ネットワークから到着したアイソクロナスフレームを、以下の手順でIEEE802.3 フレームへ変換する。

- (1) IEEE1394 アイソクロナスフレームのフィールド情報を中間フォーマットへ渡す
 - IEEE1394 アイソクロナスフレームのチャンネル番号を channel/VID へ
 - IEEE1394 アイソクロナスフレームのペイロードを service_data_unit へ
- (2) コネクション確立時にチャンネル番号にマッピングした宛先識別子を中間フォーマットの destination_ID に、送信元識別子を中間フォーマットの source_ID に追加する
- (3) さらにコネクション確立時にチャンネル番号にマッピングした VLAN 識別子を、中間フォーマットの channel/VID の値と置き換える
- (4) 情報が整った中間フォーマットのメンバーを、IEEE802.3 フレームへ渡す
 - 中間フォーマットの destination_ID を宛先識別子へ
 - 中間フォーマットの source_ID を送信元識別子へ

- 中間フォーマットの channel/VID を VLAN 識別子へ
- 中間フォーマットの service_data_unit から計算されたバイト数をペイロード長へ
- 中間フォーマットの service_data_unit の情報をペイロードへ

(3) IEEE802.3 フレームの優先度を 1 に設定する

これに対して IEEE802.3 ネットワークから到着したフレームは、以下の手順で IEEE1394 アイソクロナスフレームへ変換される。

(1) IEEE802.3 フレームのフィールド情報を中間フォーマットへ渡す

- IEEE802.3 フレームの宛先識別子を destination_ID へ
- IEEE802.3 フレームの送信元識別子を source_ID へ
- IEEE802.3 フレームの VLAN 識別子を channel/VID へ
- IEEE802.3 フレームのペイロードを service_data_unit へ

(2) コネクション確立時に VLAN 識別子にマッピングしたチャンネル番号を、中間フォーマットの channel/VID の値と置き換える

(3) 情報が整った中間フォーマットのメンバーを、IEEE1394 アイソクロナスフレームへ渡す

- 中間フォーマットの channel/VID をチャンネル番号フィールドへ
- 中間フォーマットの service_data_unit から計算されたバイト数をペイロード長へ
- 中間フォーマットの service_data_unit の情報をペイロードへ

中間フォーマットを介した IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレームの変換を図 6.1 に示す。

優先度

IEEE1394 ネットワークでは、非同期伝送とアイソクロナス伝送の 2 つの伝送方式を扱う。これに対して、IEEE802.3 ネットワークの扱う伝送方式は、非同期伝送のみである。このため、ブリッジは IEEE802.3 ネットワークから到着するフレームに対して、どちらの伝送方式を利用し変換、送出手続きの判断が求められる。ブリッジにどちらの伝送方式を利用するかを要求するため、IEEE802.3 フレームは優先度フィールドを用いて非同期伝送、あるいはアイソクロナス伝送を利用する意思を示す必要がある。表 6.2 に、優先度フィールドに使用する値と変換される IEEE1394 ネットワークのフレームフォーマットを示す。

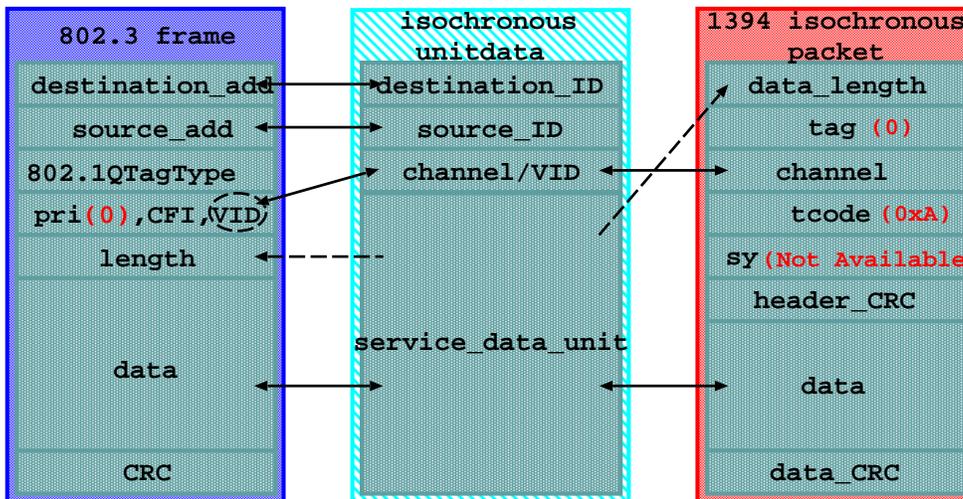


図 6.1: 中間フォーマットを用いたアイソクロナスフレームの変換

表 6.2: 優先値と変換されるフレーム種別

IEEE802.3 優先度フィールド	IEEE1394 フレーム種別
0	非同期フレーム
1	アイソクロナスフレーム

チャンネル番号と VLAN 識別子

チャンネル番号と VLAN 識別子は、それぞれネットワークでトラフィックを一意に識別する情報であり、コネクション確立時にブリッジがマッピングを行なう。この情報の置き換えは、第 4 章で説明した転送データベースに中間フォーマットが送られる前に行なわれる。

ペイロード長

第 5 章では、IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームのペイロード長に関する相違をまとめ、ブリッジが行なう調整について説明した。その調整方式は、ブリッジが最大ペイロード長の小さいセグメントに合わせフラグメント処理を行なうというものであった。IEEE1394 アイソクロナスフレーム、IEEE802.3 フレーム間の接続においても、ブリッジは最大ペイロード長の小さいセグメントに合わせてフラグメントを行なう。

IEEE1394 ネットワークのアイソクロナスフレームの最大ペイロード長を表 6.3 にまとめる。なお、IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長は、表 5.2 に既出である。

表 6.3: IEEE1394 アイソクロナスフレームの最大ペイロード長

伝送速度	最大ペイロード長 (bytes)
S25(24.576Mbps)	256
S50(49.152Mbps)	512
S100(98.304Mbps)	1024
S200(196.608Mbps)	2048
S400(393.216Mbps)	4096

タグ情報とトランザクションコード

タグ情報とトランザクションコードは、IEEE1394 ネットワーク内でアイソクロナスフレームを識別する特定の値をもつ。このため、アイソクロナス伝送用の中間フォーマットから IEEE1394 アイソクロナスフレームへ変換する際、値はパラメータでなく固定で持つことができる。このような理由から、中間フォーマットのメンバーにこれらの情報は必要ない。

同期コード

このフィールドは、アプリケーションが独自に利用規則を定めることができる。しかし、アプリケーションが利用する情報をフレームのヘッダに持つことは、IEEE802.3 ネットワークのプロトコルスタックに違反する。また、本研究でサービスの対象とするリアルタイム伝送は、SD-DVCR、MPEG2-TS であり、これらの上位層サービスでは同期コードを利用しない。このため、本研究で対象とする IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリアルタイム伝送では、このフィールドの利用を禁止する。

6.2 上位層サービスの実行

ここまで、IEEE1394 ネットワークの非同期フレーム、IEEE802.3 ネットワークの非同期フレームを用いて行なうリアルタイム伝送の準備と、リアルタイム伝送を行なうフレームフォーマットの変換方式を説明してきた。ここでは、帯域幅の保証された経路が既に確立された IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で行なわれる、リアルタイム性の要求されるフレームと、確認通知の必要ない IP パケットの伝送に焦点をあて上位層サービスの実行について論じる。

6.2.1 リアルタイム伝送

第 4 章では、リアルタイム伝送を利用する上位層サービスの枠組みを定め、CIP 層を利用する映像フォーマットである SD-DVCR、MPEG2-TS の伝送は、IEEE1394 アイソ

クロナスフレームと IEEE802.3 フレームを用いて伝送されることを説明した。IEEE1394 アイソクロナスフレームは IEEE1394 トランザクション層を利用しないため、IEEE802.3 フレームとの交換は IEEE1394 リンク層と IEEE802.3MAC 層の間で行なわれる。また、IEEE1394 アイソクロナスフレームはより新しいフレームの受信を狙いとし、IEEE1394 トランザクション層を利用しないため、確認通知を必要としない。このため、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリアルタイム伝送のフレーム交換は、非同期伝送でのフレーム交換と比べ単純である。

IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のリアルタイム伝送

本章の前半に説明した方式により IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間のコネクションが既に確立されていることを前提に、IEEE802.3 ネットワーク上の送信ノードから IEEE1394 ネットワーク上の宛先ノードへの SD-DVCR、MPEG2-TS といった映像情報フォーマットを含んだフレームの伝送を図 6.2 に示す。映像情報フレームの伝送は、以下の通りである。

- (1) 送信ノードが、IEEE802.3 フレームを用いて映像情報フレームを送出する
- (2) ブリッジが IEEE802.3 フレームを変換し、IEEE1394 アイソクロナスフレームを送出する
- (3) 宛先ノードが、映像情報フレームを受信する (IEEE1394 アイソクロナスフレームを受信するため、確認通知を返す必要がない)

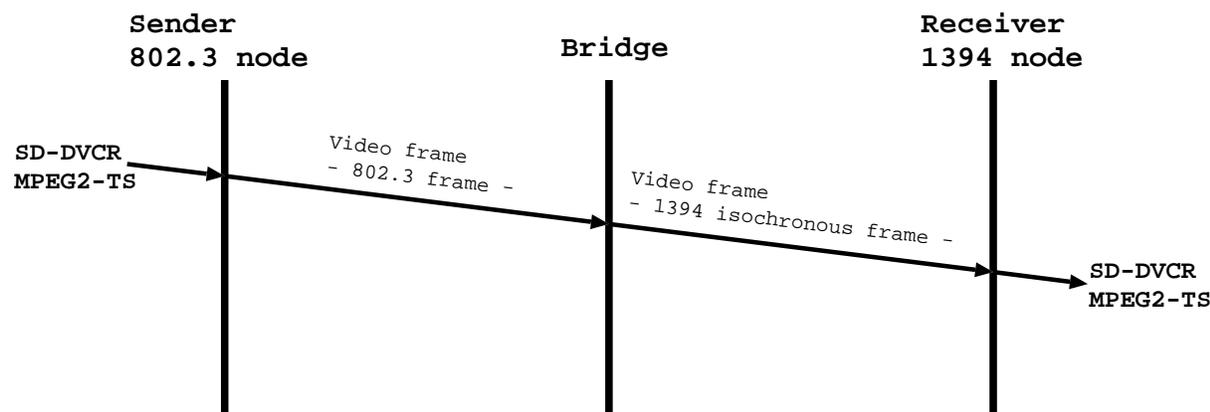


図 6.2: IEEE802.3 から IEEE1394 への映像情報フレーム

これとは反対に、IEEE1394 ネットワーク上の送信ノードから IEEE802.3 ネットワーク上の宛先ノードへの映像情報フレームの伝送を図 6.3 に示す。映像情報フレームの伝送は、以下の通りである。

- (1) 送信ノードが、IEEE1394 アイソクロナスフレームを用いて映像情報フレームを送出する (IEEE1394 アイソクロナスフレームを送出するため、確認通知は返されない)
- (2) ブリッジが IEEE1394 アイソクロナスフレームを変換して IEEE802.3 フレームを送出する
- (3) 宛先ノードが、映像情報フレームを受信する

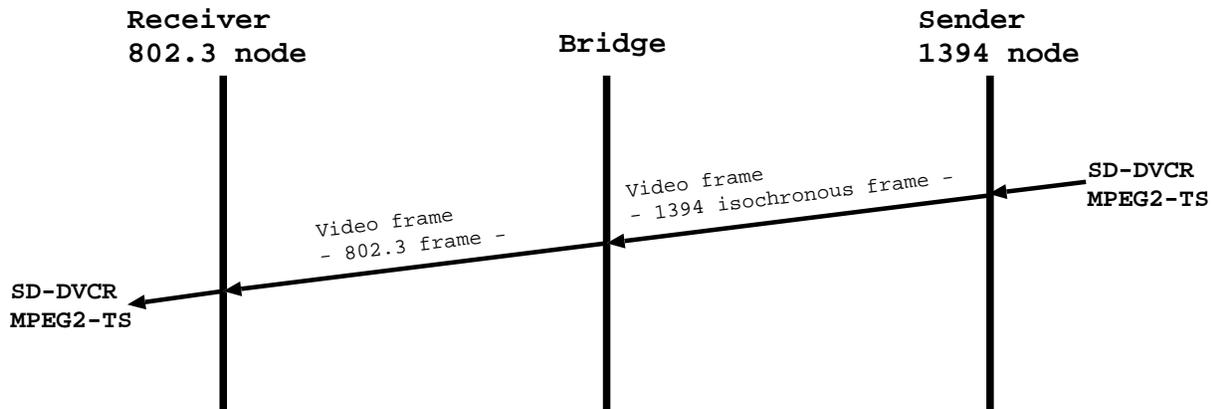


図 6.3: IEEE1394 から IEEE802.3 への映像情報フレーム

6.2.2 IP サービス

第 5 章では、IEEE1394 非同期ストリームを用いて IEEE1394 ネットワーク上の IP 対応デバイスに対して ARP を実行し、IEEE1394 非同期フレームを利用した IP パケットの伝送を実現した。しかし、IEEE1394 非同期フレームを利用した場合、IEEE1394 ネットワーク内のノード数の増加によるスループットの低下や、トランザクションサービスの確認通知と再送処理による IEEE1394 トランザクション層からの信頼性の提供など、従来の IP パケット伝送にはない問題が現れた。ここでは、IETF により策定された IEEE1394 アイソクロナスフレームによる IP パケットの伝送方式を用いて、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で IP プロトコルを実行する方式について説明する。

IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用した IP パケット伝送

IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用した IP パケット伝送には、ARP と CMP が必要である。ARP は第 5 章で説明した通り、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワークの異なるセグメント間でハードウェアアドレスと IP アドレスのマッピングに利用される。ここでは、CMP により IEEE1394 ネットワーク内のコネクションが既に確立されていることを前提に、IEEE802.3 ネットワーク上の送信ノードから、IEEE1394 ネット

ワーク上の宛先ノードへの IP パケット伝送を図 6.4 に示す。IP パケットの伝送は、以下の通りである。

- (1) 送信ノードが、IEEE802.3 フレームを用いて IP パケットを送出する
- (2) ブリッジが IEEE802.3 フレームを変換し、IEEE1394 アイソクロナスフレームを送出する
- (3) 宛先ノードが、IP パケットを受信する (IEEE1394 アイソクロナスフレームを受信するため、確認通知を返す必要がない)

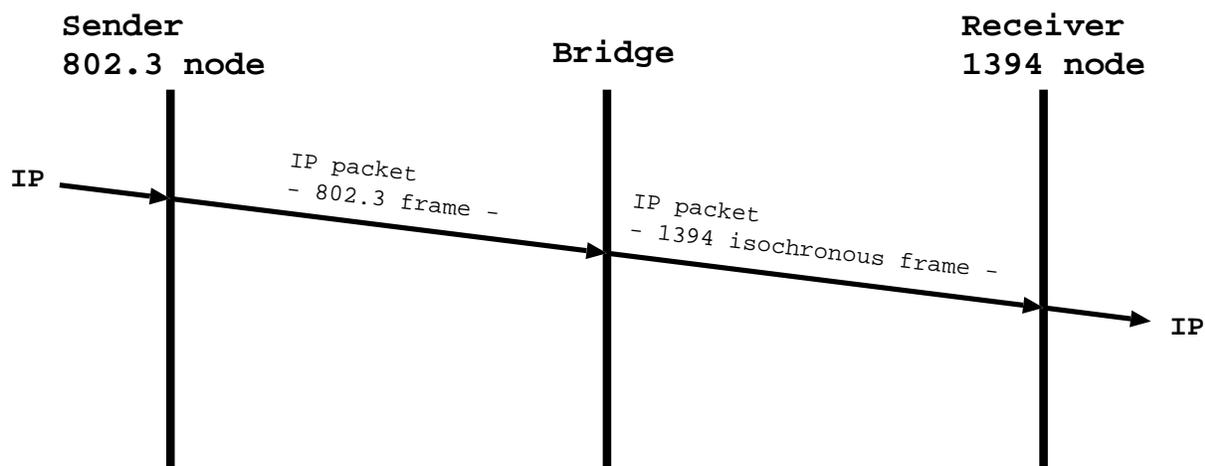


図 6.4: IEEE802.3 から IEEE1394 への IP プロトコル

これとは反対に IEEE1394 ネットワーク上の送信ノードから、IEEE802.3 ネットワーク上の宛先ノードへの IP パケット伝送を図 6.5 に示す。IP パケットの伝送は、以下の通りである。

- (1) 送信ノードが、IEEE1394 アイソクロナスフレームを用いて IP パケットを送出する (IEEE1394 アイソクロナスフレームを送出するため、確認通知は返されない)
- (2) ブリッジが IEEE1394 アイソクロナスフレームを変換して IEEE802.3 フレームを送出する
- (3) 宛先ノードが、IP パケットを受信する

IEEE1394 アイソクロナスフレームを IP パケット伝送に利用する場合、コネクションを事前に確立する必要がある。しかし、IEEE1394 アイソクロナス伝送の枠組みを利用するため、IEEE1394 非同期フレームを利用した場合と比べ

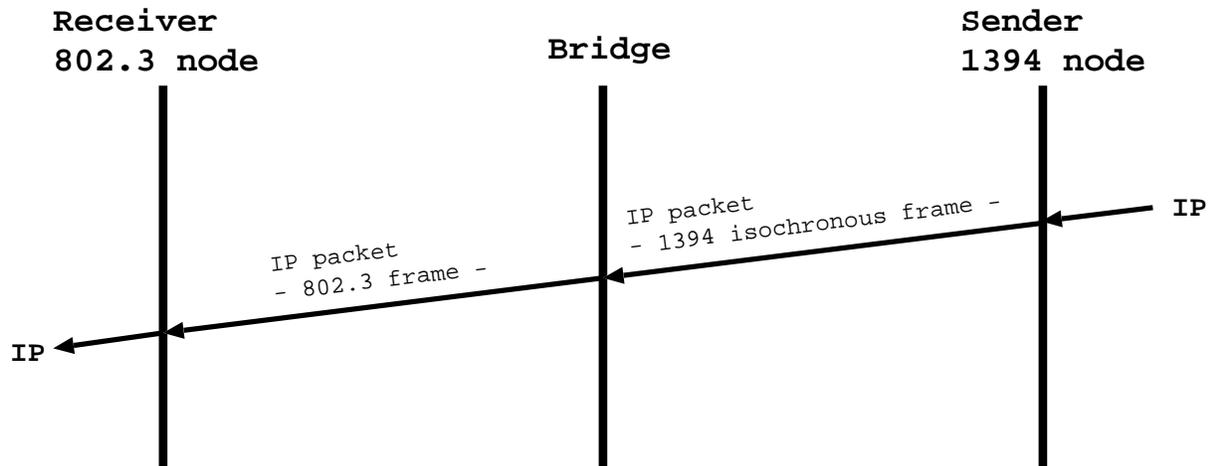


図 6.5: IEEE1394 から IEEE802.3 への IP プロトコル

- 予約した帯域が保証される
- パケット伝送の保証は、従来の IP パケットと同様に上位層で提供することになる

といったメリットが生まれる。また、CMP によるコネクションは幾重にも重ねて張ることができるため、IEEE1394 アイソクロナスフレームを利用した IP パケット伝送は、IP マルチキャストに応用することができる。

6.3 まとめ

本章では、第 3 章に示したリアルタイム伝送を行なう IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項

- コネクションを確立し、IEEE1394 ネットワークのアイソクロナス伝送と IEEE802.3 ネットワークのリアルタイム伝送を接続すること
- IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームを交換すること
- IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームの最大ペイロード長の相違を解消すること

に対して

- IEEE1394 ネットワークのアイソクロナス伝送で標準的に利用される CMP と、IEEE802.3 ネットワークで帯域幅を保証した End-to-End の経路を提供する経路管理機構を利用し、第 4 章で上位層サービスの枠組みとして定めたプロトコルスタックを利用する

- SD-DVCR、MPEG2-TS
- IP プロトコル

の透過的なサービスの実行

- IEEE802.1D 規格に定められた中間的なデータ構造を介したフレーム交換を応用した、IEEE1394 アイソクロナスフレームと IEEE802.3 フレームの交換
- フラグメント処理による最大ペイロード長の調整

といったそれぞれへの対応方式について論じた。第 7 章では、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構へ残された課題について論じる。

第 7 章

今後の課題

本研究では、家庭内映像系伝送媒体の主要規格である IEEE1394 規格と、家庭内情報系伝送媒体の主要規格である IEEE802.3 規格を接続し、異なる規格のネットワークに位置するユーザやアプリケーションへ魅力的なサービスを提供することを目的とし、前章までは、この目的を遂行するため定めた要求事項への対応に焦点をあてて論じてきた。本章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でのより透過的なサービスを実現するための機能について検討する。

7.1 非同期伝送におけるアドレスマッピング

第 5 章では、IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレームの交換に中間的なデータ構造である `asynchronous_unitdata` を用いてヘッダ情報の相違を解消すること、`asynchronous_unitdata` のメンバーである `destination_address`、`source_address` は宛先アドレス、送信元アドレスを置き換えるメンバーであることを説明した。また、IEEE1394 ネットワークでは 16bit の識別子でノードが識別され、IEEE802.3 ネットワークでは 48bit の識別子でノードを識別するため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構にはこれらの識別子をマッピングするアドレス変換テーブルが必要になることを説明した。

しかし、IEEE1394 ネットワークで割り当てられるノードの識別子は、ケーブルの抜き差しで起きるバスリセットのたび新たに割り当てられるものである。これは、IEEE1394 ネットワークがサポートするプラグ&プレイ機能を実現するバス管理によるものである。このようなバス管理からアドレス変換テーブルの頻繁な更新を避けるため、IEEE P1394.1 として議論されている IEEE1394 ネットワークを接続するブリッジ機構では

- EUI-64(64-bit Extended Unique Identifier)[5]

を利用し、ハードウェア固有の値を識別子とする方式が検討されている。

EUI-64 は、24bit のベンダ識別子とベンダーが割り当てる 40bit の拡張識別子で構成され、48bit の MAC アドレスを構成する 24bit のベンダー識別子と 24bit の拡張識別子の間に 0xFFFF とパディングする MAC アドレスの置き換え (カプセル化) 方式が定められた識別子である。

今後、IEEE P1394.1 で議論されているアドレス変換テーブルの方式に合わせ、IEEE802.3 ネットワークの識別子と IEEE1394 ネットワークの識別子をマッピングする適切な方式を検討していく。

7.2 IEEE802.3 インターフェイスからのリアルタイム伝送

第6章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間で帯域幅を予約した End-to-End の経路を確保する方式を説明した。これは、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構及び、IEEE802.1Q 規格に対応した高機能スイッチのフレーム送出スケジューリング機能を、リアルタイム伝送を行なうアプリケーションシステムへ End-to-End で提供する方式である。第2章で説明した SD-DVCR フォーマット、MPEG2-TS フォーマットなどの映像情報を扱うアプリケーションシステムがこの方式を利用する。

このようなアプリケーションシステムを構成する IEEE1394 インターフェイスを持つ AV 機器は、 $125\mu\text{sec}$ に定められた IEEE1394 規格のアイソクロナスサイクルに間に合う高速なフレーム送出を行なうことができる設計がなされている。しかし IEEE802.3 インターフェイスを持つ計算機は、必ずしも IEEE1394 規格のアイソクロナスサイクルに間に合うフレームの送出ができるわけではない。つまり、IEEE802.3 インターフェイスを持つ計算機は、リアルタイム性の要求される映像フレームを送出するノードとして十分な機能を持たない場合がある。

以降、計算機から送出されるフレーム間隔の揺らぎについて tcpdump を用いて調査した結果をまとめる。

7.2.1 フレーム送出間隔の揺らぎ

本節では、IEEE802.3 規格と類似した Ethernet 規格のインターフェイスを持つ計算機

- Sun Blade 100
- Sun GP400S

を用いて、Ethernet 上で SD-DVCR フォーマットに CIP ヘッダを追加したサイズに相当するフレームを、SD-DVCR 規格で定められた送出間隔である $125\mu\text{sec}$ 毎に送出し、そのフレーム送出間隔をマイクロ秒の精度を期待できる SPARC の tcpdump で計測した結果をまとめる。

それぞれの計算機では solaris8 が動作し、Ethernet インターフェイスのリンク速度は 100Mbps である。また、Ethernet 上へフレームを送出するプログラムの送出間隔の設定には、tcpdump と同じ精度の高いタイマーへアクセスする gettimeofday 関数を利用している。

Sun Blade 100

- (1) 実験プログラムのフレーム出力を計測した tcpdump の出力から、連続した 1000 個の送出フレームを x 軸にとり、1 つ前のフレームとの送信間隔の揺らぎを $125\mu\text{sec}$ を基準として y 軸に表した結果を図 7.1 に示す。

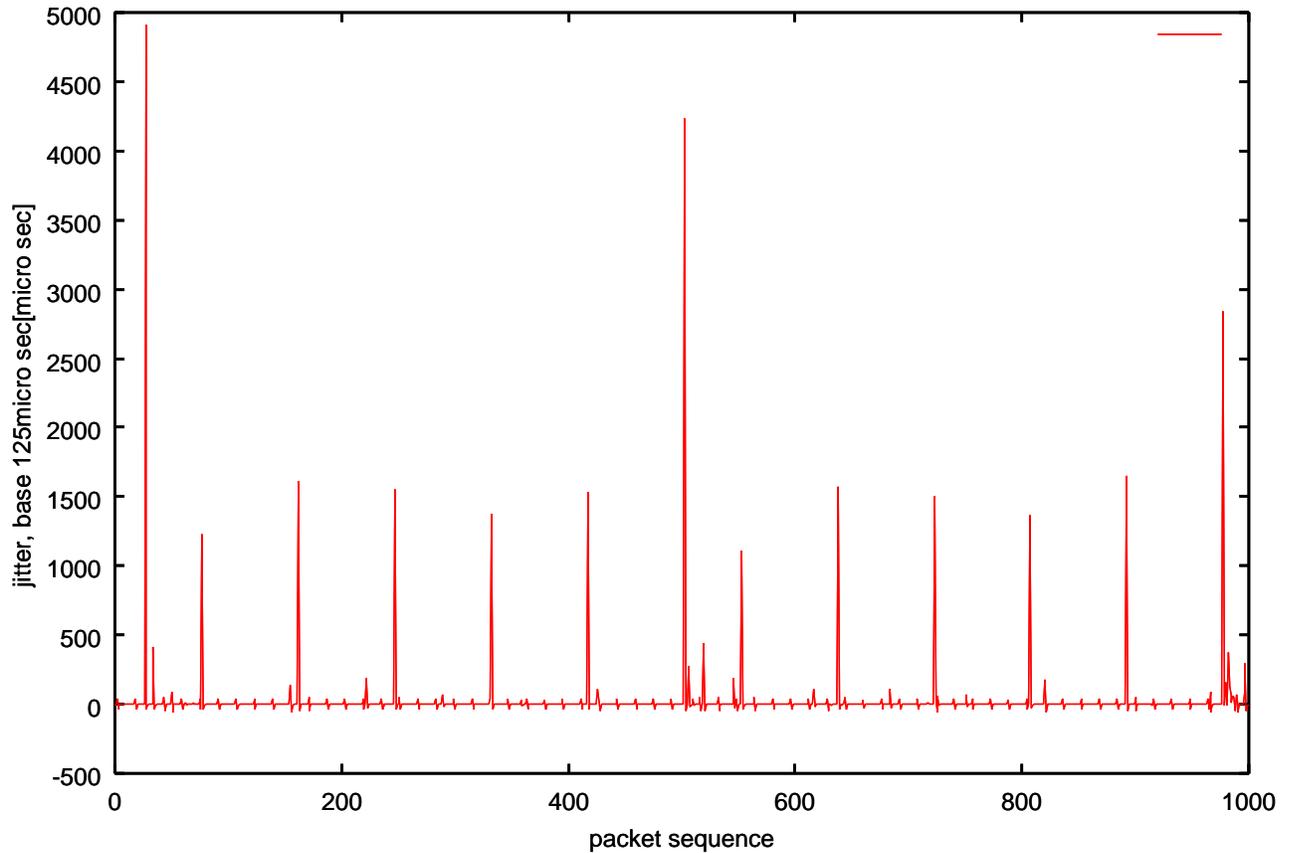


図 7.1: Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (1)

- (2) 実験プログラムのフレーム出力を 10 秒間計測した tcpdump の出力から、 $125\mu\text{sec}$ を基準に 1 つ前のフレームとの送信間隔の揺らぎを x 軸にとり、その揺らぎの発生頻度を y 軸に表した結果を図 7.2 に示す。

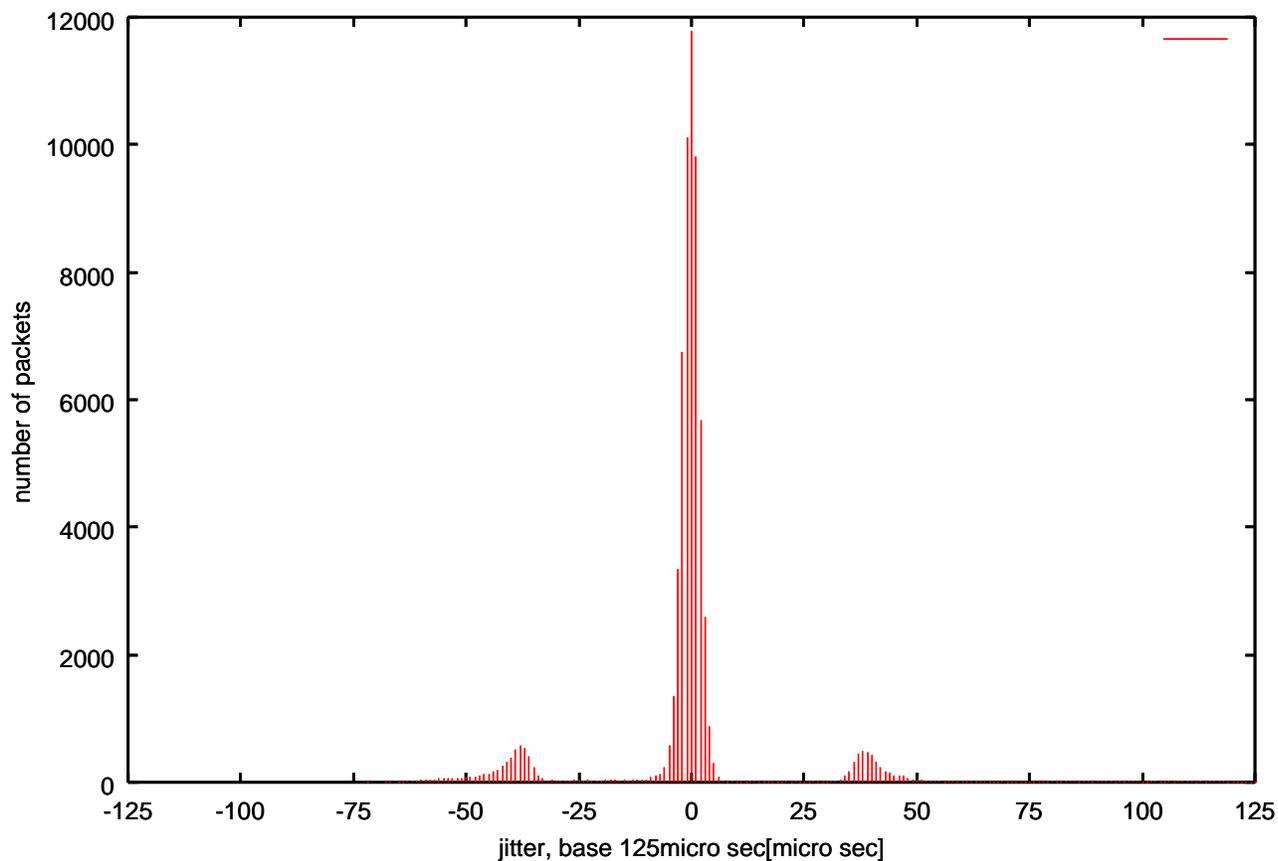


図 7.2: Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (2)

(3) 図 7.2 で示した結果の y 軸を拡大し、発生頻度の少ない大きな揺らぎを x 軸に表した結果を図 7.3 に示す。

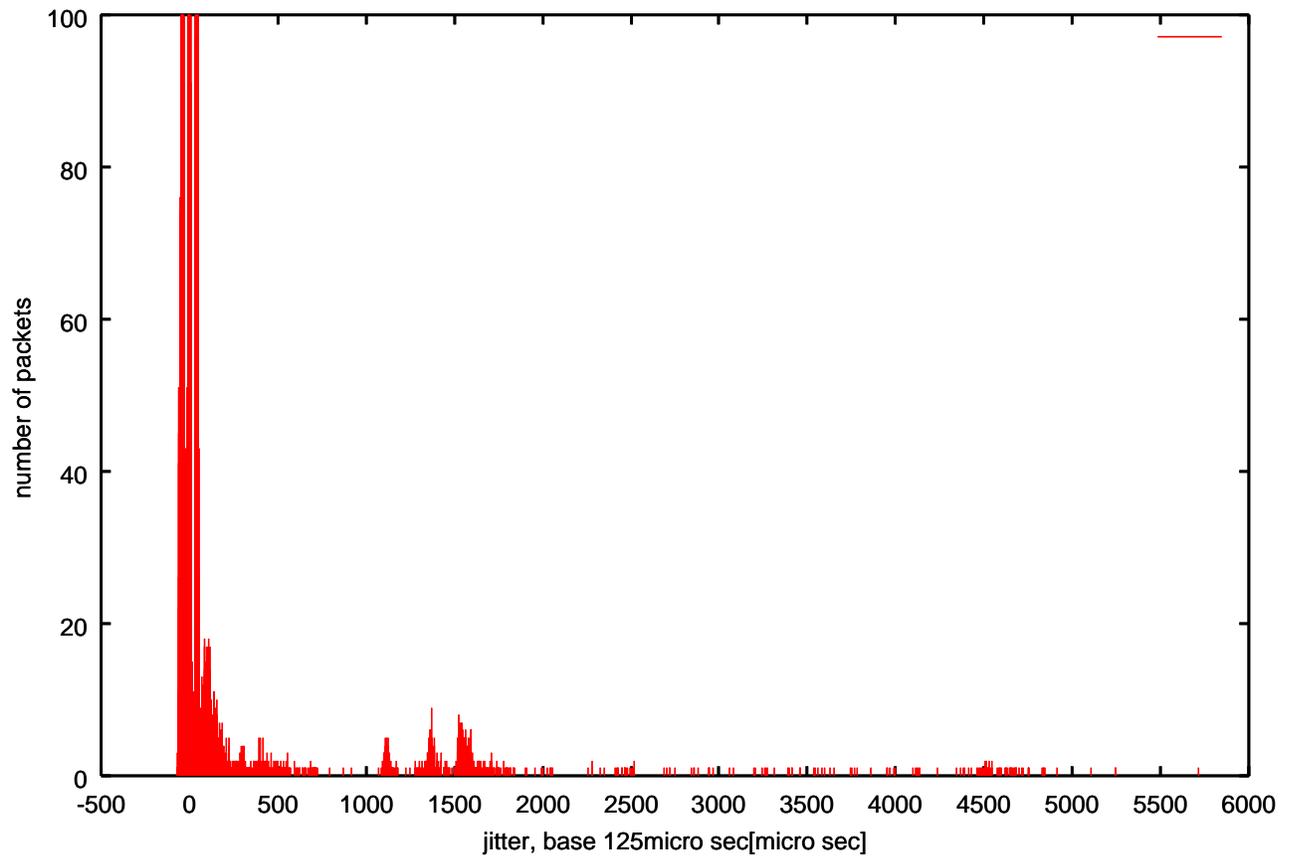


図 7.3: Sun Blade 100 の送出するフレーム間隔の揺らぎ (3)

Sun GP400S

- (1) 実験プログラムのフレーム出力を計測した tcpdump の出力から、連続した 1000 個の送出フレームを x 軸にとり、1 つ前のフレームとの送出間隔揺らぎを $125\mu\text{sec}$ を基準として y 軸に表した結果を図 7.4 に示す。

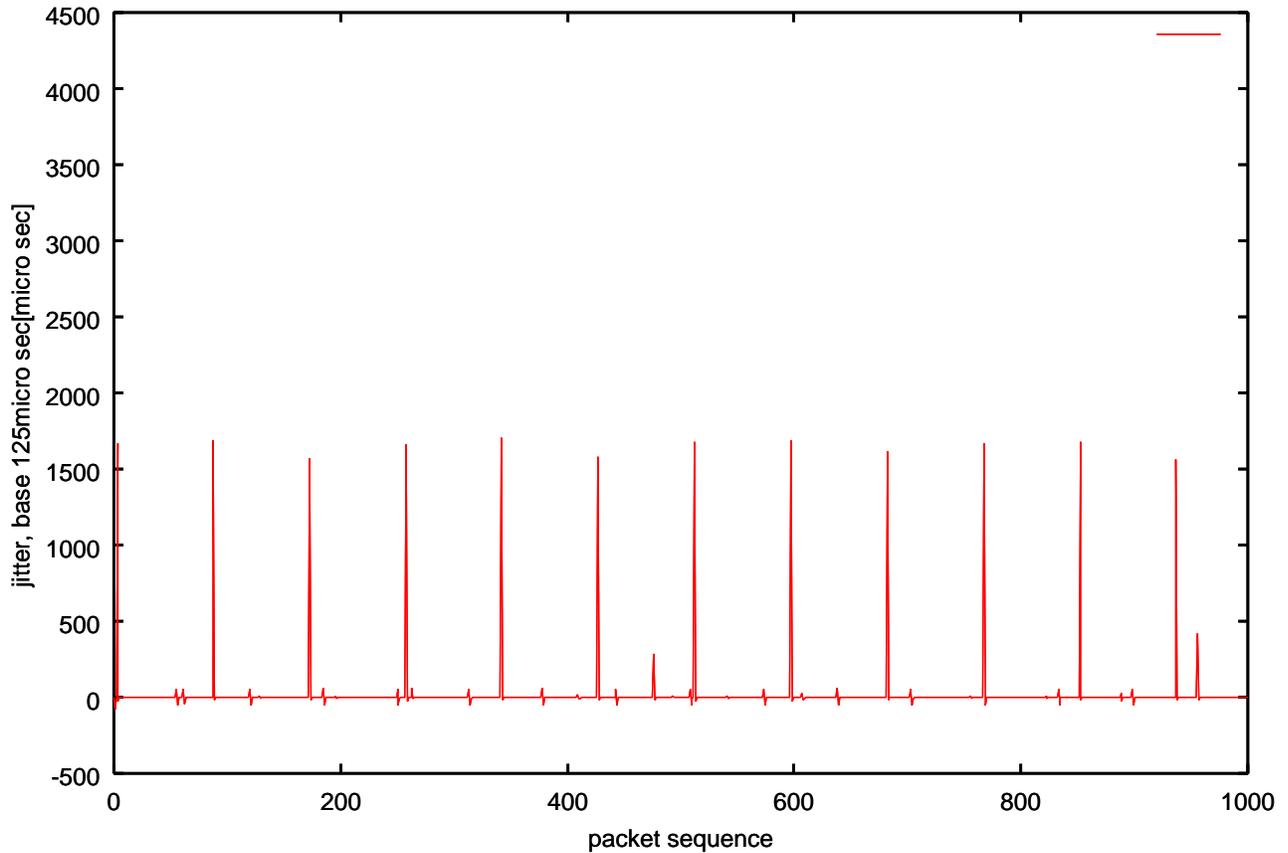


図 7.4: Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (1)

- (2) 実験プログラムのフレーム出力を 10 秒間計測した tcpdump の出力から、 $125\mu\text{sec}$ を基準に 1 つ前のフレームとの送出間隔の揺らぎを x 軸にとり、その揺らぎの発生頻度を y 軸に表した結果を図 7.5 に示す。

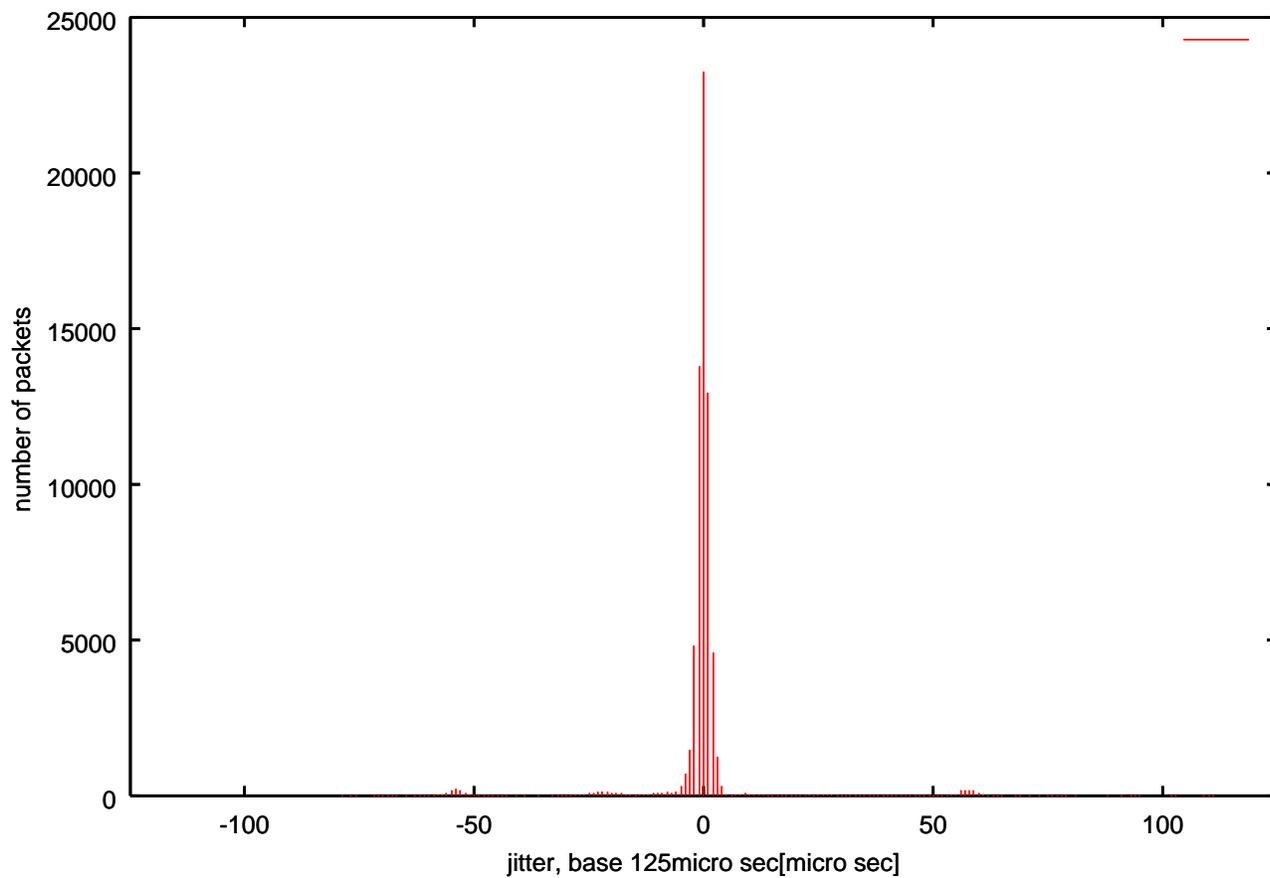


図 7.5: Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (2)

- (3) 図 7.5 で示した結果の y 軸を拡大し、発生頻度の少ない大きな揺らぎを x 軸に表した結果を図 7.6 に示す。

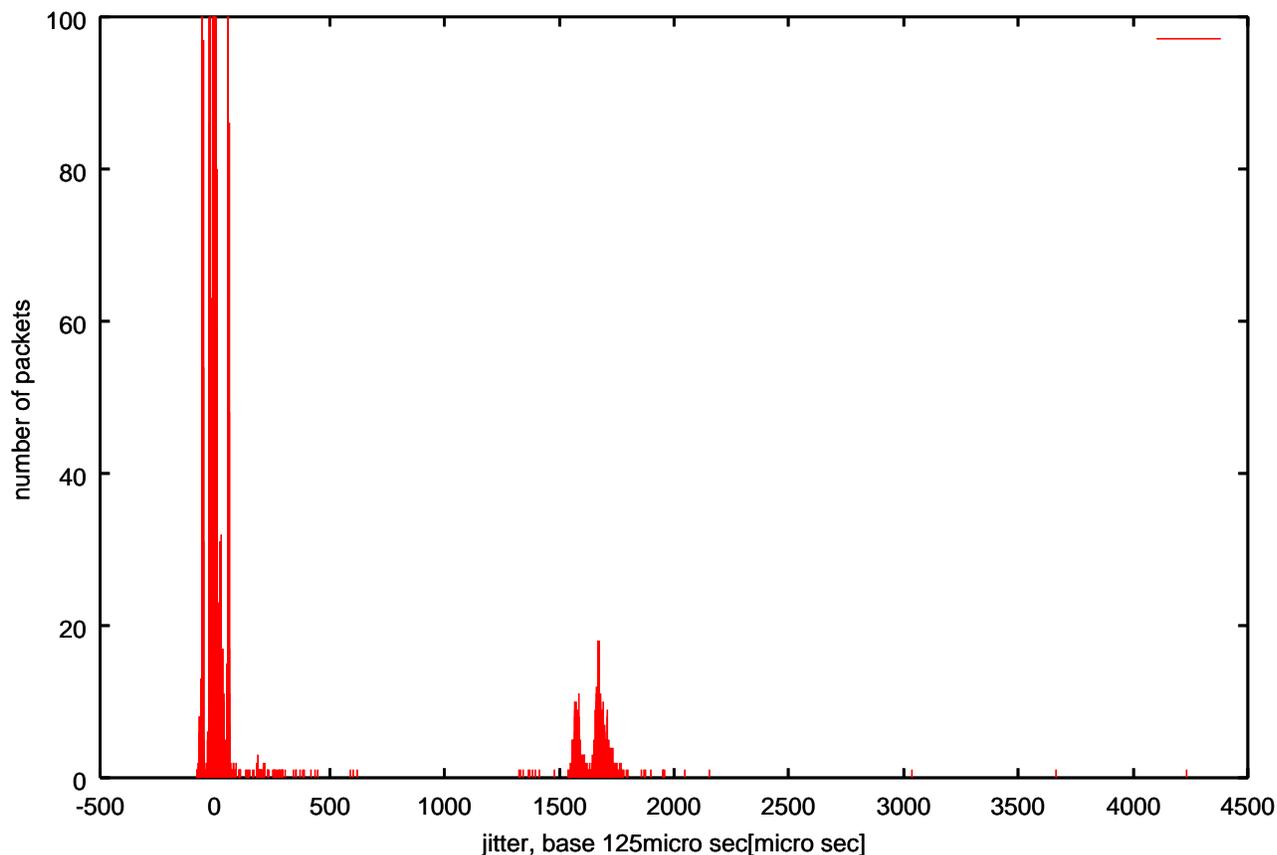


図 7.6: Sun GP400S の送出するフレーム間隔の揺らぎ (3)

7.2.2 結果のまとめ

同じオペレーティングシステムが 500MHz で動作する Sun Blade 100 と、400MHz で動作する Sun GP400S を比較した結果、400MHz で動作する Sun GP400S の方が精度の良い間隔でフレーム送出を行っていることが明らかになった。同一ベンダーの提供する CPU 速度の速い後継モデルでの精度が低下していることから、フレーム送出間隔は、オペレーティングシステムのスケジューリング機能だけでなく、インターフェイスを通過するまでのデバイス設計にも依存していると考えられる。

このような問題を抱えると考えられる IEEE802.3 インターフェイスに対しては、設計者が、リアルタイム伝送に対応する適切なバッファリング処理、または精度の高いフレーム送出を行なうデバイスの設計を検討しなくてはならないと考えられる。

7.3 まとめ

本章では、IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でのより透過的なサービスを実現するための機能として

- EUI-64 を用いたアドレスマッピング方式
- IEEE802.3 インターフェイスからフレーム送出間隔

についての課題を検討した。

第 8 章

おわりに

本論文では、家庭内映像系伝送媒体の主要規格である IEEE1394 規格と、家庭内情報系伝送媒体の主要規格である IEEE802.3 規格を接続し、異なる規格のネットワークに位置するユーザやアプリケーションへ魅力的なサービスを提供するため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構への要求事項を定め、それぞれへの対応方式を提案した。

非同期伝送における IEEE1394 トランザクション層と IEEE802.3 MAC 層間のフレーム交換を行なうため、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構の内部にレイヤ構造の概念を導入し要求される情報の相違を解消した。導入したレイヤ構造は、上位層に想定するサービス、プロトコルの既存プロトコルスタックを破綻させないものとした。また、IEEE1394 非同期フレームと IEEE802.3 フレームのヘッダ情報の相違を解消するため、IEEE802.3 MAC 層以下の異なる IEEE802.x 間のフレームを交換する IEEE802.1D ブリッジに定められた方式を応用し、中間的なデータ構造を介した IEEE1394 非同期フレーム、IEEE802.3 フレーム間の交換方式を提案した。また、最大ペイロード長の相違を解消するため、フラグメント処理により上位層へ透過的なサービスを提供する方式について検討した。さらに、リンク速度の相違を解消するため、半二重伝送を行なう IEEE1394 ネットワークと全二重伝送を行なう IEEE802.3 ネットワークを接続する場合の問題を指摘し、トラフィック量を基準とした IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構による調停方式の提案を行なった。この提案については、計算機シミュレーションによりリンク速度の相違が緩和されることを確認した。

また、映像情報フレームの途切れない送受信を狙いとした IEEE802.3 ネットワークへのリアルタイム伝送の拡張については、IEEE802.1Q、IEEE802.1Q に対応した高機能スイッチ、これらの高機能スイッチの配備を前提に適切な経路と予約帯域幅のパラメータを設定する経路確立機構を用い、IEEE1394 アイソクロナス伝送で利用される CMP と連携した IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間での経路確立方式を提案した。IEEE1394 ネットワーク、IEEE802.3 ネットワーク間でリアルタイム伝送を行なう際のヘッダ情報、最大ペイロード長の相違の解消については、非同期伝送での対応と同様に中間的なデータ構造を介したフレーム交換、IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構によるフラグメント処理を提案した。

本研究では、ECHONET に代表される家電ネットワークの現状及び、家電ネットワークの構成要素として、映像系伝送媒体の主要規格である IEEE1394 規格と、情報系伝送媒体の主要規格である IEEE802.3 規格の技術動向から、妥当性のある方式の提案を行ってきた。今後、本研究で提案する IEEE1394 - IEEE802.3 ブリッジ機構がハードウェア実装され、これまでに互換性のなかった家電製品、コンピュータ間の相互接続や、独立した環境で取得、利用されていた情報を共有する魅力的な家電ネットワークを構築する中心的な役割を担う装置となることを期待する。

謝辞

本研究を進めるにあたって、終始御指導を賜りました指導教官である丹康雄助教授に心から感謝致します。

幾つもの適切な意見や助言を頂きました丹研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 1394 Trade Association, AV/C Digital Interface Command Set General Specification, Version 3.0, 1998
- [2] ECHONET CONSORTIUM, ECHONET 規格書 Version 1.0
- [3] IEEE, IEEE Standard for a High Performance Serial Bus, IEEE Standard 1394-1995, 1995
- [4] IEEE, Part3: Carrier sense multiple access with collision detection(CSMA/CD) access method and physical layer specifications, IEEE Standard 802.3, 2000
- [5] IEEE, GUIDELINES FOR 64-BIT GLOBAL IDENTIFIER (EUI-64[tm]) REGISTRATION AUTHORITY, May 2001
- [6] IEEE, Part2: LAN/MAN management, IEEE Standard 802.1B, 1995
- [7] IEEE, Part3: Media Access Control(MAC) Bridges, IEEE Standard 802.1D, 1998
- [8] IEEE, Virtual Bridged Local Area Networks, IEEE Standard 802.1Q, 1998
- [9] IEC, Consumer audio/video equipment - Digital interface - Part 1: General, 1998
- [10] IEC, Consumer audio/video equipment - Digital interface - Part 2: SD-DVCR data transmission, 1998
- [11] IEC, Consumer audio/video equipment - Digital interface - Part 4: MPEG2-TS data transmission, 1998
- [12] J. Postel, J. Reynolds, A Standard for the Transmission of IP Datagrams over IEEE 802 Networks. RFC1024, Internet-Engineering Task Force, Feb 1988
- [13] P. Johansson, IPv4 over IEEE 1394. RFC2734, Internet-Engineering Task Force, Dec 1999
- [14] The HAVi Organization, The HAVi Specification Version 1.0, 2000

- [15] 大林隆之, 丹康雄, Vlan による帯域管理を利用したビデオ伝送ネットワークシステム, 情報処理学会 第 62 回 全国大会, 2001

付録

以下に、Ethernet インターフェイスを持つ計算機から、SD-DVCR フォーマットの映像情報に相当するフレーム伝送を行なったプログラムの中心部分を抜粋する。

```
/* ----- */
int
main(int argc, char **argv){

    int                sockfd;                /* ソケット */
    struct sockaddr_in servaddr;

    struct timeval     TimeVal;              /* 時間 */
    long unsigned int  oldusec = 0;
    long unsigned int  oldsec = 0;

    char                buf[BUFSIZ] = ""; /* 送信メッセージ */

    /* エラーチェック */
    if (argc != 2)
        fprintf(stderr, "usage: udp_client <ipaddr>");

    /* ソケットの設定 */
    bzero(&servaddr, sizeof(servaddr));      /* 初期化 */

    servaddr.sin_family = AF_INET;           /* 宛先の設定 */
    servaddr.sin_port = htons(10000);
    /* inet_pton(AF_INET, argv[1], &servaddr.sin_addr); */
    servaddr.sin_addr.s_addr = inet_addr(argv[1]);

    sockfd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
```

```

/* 送信メッセージの設定 */
message_read(buf);
fprintf(stderr, "buf length = %d\n", strlen(buf));

/* 送信間隔のための設定 */
if (gettimeofday(&TimeVal, NULL) == -1){
    perror("gettimeofday");
    exit(1);
}
oldusec = TimeVal.tv_usec;
oldsec = TimeVal.tv_sec;

/* 一定間隔でのパケットの送信 */
while (1){
    if ((TimeVal.tv_usec - oldusec) >= PACKET_INTERVAL ||
(oldsec < TimeVal.tv_sec &&
(TimeVal.tv_usec + (1000000 - oldusec)) >= PACKET_INTERVAL)){

        /* UDP パケットの送信 */
        sendto(sockfd, buf, PACKET_SIZE, 0,
(struct sockaddr *)&servaddr, sizeof(servaddr));

        /* 送信時間の記録 */
        oldusec = TimeVal.tv_usec;
        oldsec = TimeVal.tv_sec;

    }

    /* 時間の更新 */
    gettimeofday(&TimeVal, NULL);

}

return 0;

}
/* ----- */

```