

IEEE1394ブリッジの開発

5C-4

土門 渉 松田淳一 千葉和樹* 山崎俊太郎

NEC C&C メディア研究所

*) NEC C&C LSI 開発本部

1 はじめに

デジタル放送用受信機やビデオカメラ、あるいはパーソナル・コンピュータなど、種々のマルチメディア端末が現在家庭に急速に普及しつつある。さらに、これら複数の端末を相互に接続したネットワークを宅内に構築し、より高度なサービスを享受することへの期待が高まっている。このようなホームネットワークを実現する手段として、豊富な API を持ち、マルチメディア情報との親和性が高い IEEE1394[1][2]（以下、1394）が非常に注目を集めている。

今後、宅内に広くおよぶ 1394 ネットワークが構築され、そこに接続される端末が増加すると、バスリセットによる通信の阻害や帯域の枯渇、ネットワーク効率の低下などの問題が懸念される。これらの問題を解決するには、1394 ネットワークを複数のセグメントに分割する 1394 ブリッジ[3]を利用することが有効と考えられる。今回、この 1394ブリッジの試作機を世界に先駆けて開発し、その基本動作を確認したのでここに報告する。

2 1394ブリッジの必要性和利用例

1394では、IDの設定などを一切すること無しに、新たな機器を運用中のバスに接続して使用することが可能である（Hot-Plug-In と Plug-and-Play）。これらの機能は、特別なスキルを持たない一般ユーザが扱うネットワークのインタフェースとして極めて重要である。しかし、機器の挿抜や

起動などをトリガとしてバスをリセット/再構成することによりこれらの機能が実現されているため、機器の挿抜のたびにそれまで行われていた通信が中断されてしまうという問題を含んでいる。この問題は、再送手順を持たないリアルタイム系（アイソクロナス）転送モードでは特に深刻である。

また、1394 はバスであるため、ある機器間での通信で消費される帯域資源の影響は全体におよぶ。例えば、市販のデジタル・カムコーダを接続する場合、2 ch のデジタル映像を転送するだけで、他の 1394 機器がサポートする速度に依らず、リアルタイム通信用の帯域資源はほぼ枯渇してしまう。

さらに、ネットワークの規模が大きくなると、増大するパケットの伝搬遅延に応じてパケット間の無信号時間（ギャップ）を増やす必要がある。そのため、規模の増加に伴って実効スループットが低下するか、あるいは伝搬遅延により規模の制限を受けるといった問題があった。

これらの問題は、複数の 1394 バスを構成し、それらをブリッジで相互接続して全体のネットワークを構築することにより全て解決することができる。例えばバスリセットは物理層同士が互いに接続されたひとつのバスでのみ発生するため、他のバスにおける通信がこれで阻害されることはない。また、バスを越えて通信する必要があるトラフィックのみを選択的に転送する機能をブリッ

ジに持たせることにより、ネットワーク全体で利用可能な帯域資源が増大する。さらには、バス毎に最適なギャップを設定することにより、より効率的なネットワークの利用が可能となる。

これらの特徴を持つ 1394 ブリッジの、ホームネットワークにおける利用例を図 1 に示す。ここでは、ネットワークを部屋毎にセグメント化する「情報分電盤」として 1394 ブリッジが用いられている。これにより、他の部屋におけるバスリセットやローカルなトラフィックの影響を受けずにネットワークを運用することができる。さらに、部屋間の接続に不可欠な 1394 長距離[4][5]で発生する転送遅延を分断して部屋内トラフィックの効率化を図ることが可能となる。

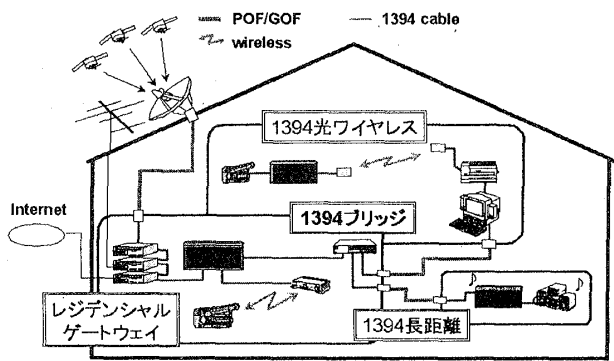


図 1 ホームネットワークにおける 1394 ブリッジの利用例

なお 1394 では、ノード ID を用いて各機器(ノード)が認識される。このノード ID は、ひとつのバス内で割り当てられる 6 ビットのフィジカル ID と、バスを互いに識別する 10 ビットのバス ID とから構成される。これらのうちのフィジカル ID のみが従来規格[1][2]では利用されていたのに対し、ブリッジを用いればバス ID まで活用することができる。即ち、接続可能なノードの数を 63 台から約 6 万 4 千台と飛躍的に増加させることが可能となる。従って、ホームネットワークだけではなく、多数の 1394 機器の接続を必要とする業務用途においても 1394 ブリッジは極めて有効である。

3 1394 ブリッジの技術課題と対策

1394 ブリッジ方式は以下に示される 3 つの項目に大別される。既存の 1394 規格との整合性が高く、かつ簡単な方法でこれらの方式を実現することが 1394 ブリッジにおける技術課題である。

- ・ アシンクロナス・パケットのバス間転送方法
- ・ ストリーム・パケットのバス間転送方法
- ・ ネットワークの構成手順

なお、1394 ブリッジ方式は、IEEE P1394.1 において現在標準化作業が進められており、草案規格[6]が発行されている。しかし、現在は作業の途中段階であるため、いくつかの課題についてはまだ解決されていない。そこで筆者らは、P1394.1 のドラフトを参考にしつつ、独自の方法を盛り込むことでブリッジ方式を考案した。以下、方式全体を概説しながら、独自部分を中心に説明する。

3.1 1394 ブリッジのプロトコル・スタック

はじめに、方式検討に用いた 1394 ブリッジのプロトコル・スタックを図 2 に示す。異なるバスに各々接続されるポータルを 2 つ備えた 2 ポータルブリッジを検討モデルとした。各ポータルは、物理層・リンク層・トランザクション層・シリアルバス管理層を備え、通常の 1394 ノードとして機能する。

これら既存の層の上位に、ブリッジ層ならびにポータル制御層が実装される。ブリッジ層は、両

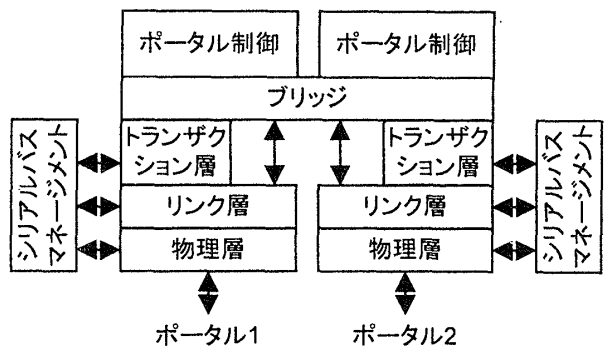


図 2 1394 ブリッジのプロトコル・スタック

ポータルのトランザクション層間でのアシンクロナス・パケットの転送と、リンク層間でのストリーム・パケットの転送とを行う。このポータル間転送の際には、後述するように、パケットの一部のフィールドの値を変換する。一方のポータル制御層は、ネットワーク構成などのためにポータル自身が他のノードと行う通信を制御する。

3.2 アシンクロナス・パケット転送方法

今回適用したアシンクロナス・パケットのバス間転送方式を図 3に示す。図において、バスの間に挿入されている円はブリッジを示し、その中の半円がひとつのポータルを示している。

バスを越えて転送されるアシンクロナス・パケットを受信するポータルは、送信ノードに対して `ack_pending` または `ack_complete` を返す。通常これらの `acknowledge` は受信ノードにより返されるが、転送経路上のポータルが返すことにより、パケットが送信されてから `acknowledge` が返るまでの時間により制限されるネットワークの規模を拡張することができる。リクエスト・パケットの送信ノードは、`ack_pending` を受信することによりトランザクションをペンディング状態とするが、このペンディングされたトランザクションのタイムアウトには、既存の機器も含めて全ての 1394 ノードが有する `SPLIT_TIMEOUT` レジスタの値を用いる。なお、リクエスト・パケットを受信したノード 2 が、`ack_complete` によりトランザクションを完了させた場合 (`unified transaction`) には、それを受信したポータルが代わりにレスポンス・パケットを作成してノード 1 に送信する。

また本方式では、バス間転送されるべきアシンクロナス・パケットを選択するために、1023 ビットのルーティング・マップを各ポータルが持っている。ポータルは、ローカルバス（自分が接続されているバス）上を転送されるパケットの宛先 ID のバス ID フィールドの値が i ($i=0\sim 1022$) の時、ルーティ

ング・マップの i 番目のビットを調べる。このビットが 1 であればパケットをブリッジ層に上げ、0 であれば無視する。

なお各ノードは、自分が接続されている以外のバスで発生するバスリセットを検出することができない。このバスリセットが発生すると、受信ノードに割り当てられたフィジカル ID が変わり、アシンクロナス・パケットが別のノードに受信されてしまう可能性がある。この問題に対しては、バスリセットが発生しても値が変化しない仮想ノード ID (Virtual node ID) を各ノードに割り当て、バスを越える通信ではこの仮想ノード ID を用いて互いを識別する方式が P1394.1 で検討されている。ただし、既存規格に準拠したノードはリアルなノード ID しか理解していないため、リアル/仮想のノード ID をバス間転送時にポータルが変換する。本方式では、ポータル以外のノードは割り当てられたバス ID の値を知らないものとし、上記ノード ID 変換時にバス ID の変換も同時に行う。即ち例えば、送信ノードは送信 ID のバス ID フィールドにローカルバスを示す 1023 を格納し、そのパケットを他のバスに転送するポータルがそのバス ID をユニークな値に変換する。

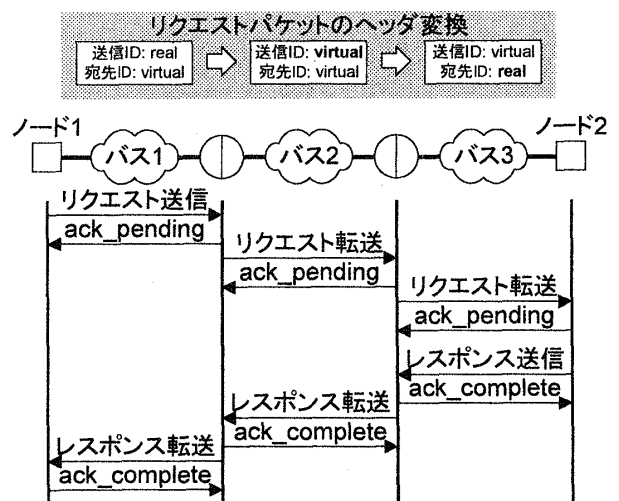


図 3 アシンクロナス・パケットのバス間転送方式

3.3 ストリーム・パケット転送方法

(アイソクロナスおよびアシンクロナス)ストリーム・パケットのバス間転送方法を図 4に示す。ストリーム・パケットは、ヘッダに書かれるチャンネル番号によって互いに識別されるため、ストリーム転送用ルーティング・マップはこのチャンネル番号依存なものとなる。本方式では、P1394.1 の草案に記載される STREAM_CONTROL を用いている。

ストリーム転送用のリソース(チャンネル番号および帯域)は既存規格にて定義されるアイソクロナス・リソース・マネージャ(IRM)により管理されるため、バス間転送を行う際には転送経路上の全てのバスの IRM から事前にリソースを確保する必要がある。その後、ブリッジのルーティング・マップが設定され、経路が確立されてからストリームの転送が開始される。バスにより獲得されたチャンネル番号が異なる場合には、ポータルが適宜番号を変換しながら転送する。

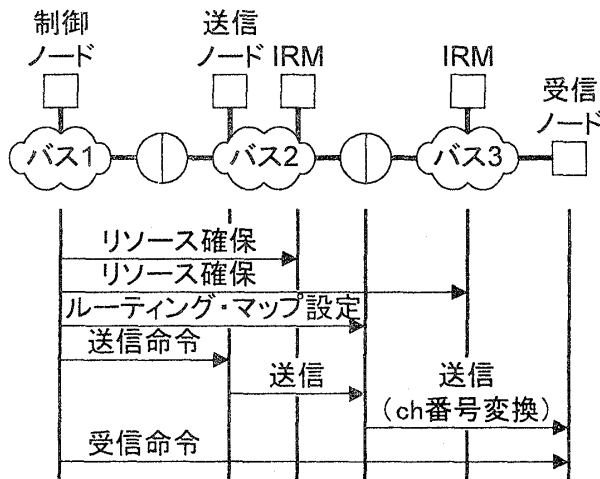


図 4 ストリーム・パケットのバス間転送方式

3.3.1 バス間同期方法

アイソクロナス・ストリームは、公称 125 μ s 周期のサイクル毎に転送できるパケットのサイズ(帯域)を予め確保することにより、リアルタイム転送を可能としている。従って、この転送を行う場合には、ノード間でサイクルの同期が確立されてい

なくてはならない。既存の規格では、バスにひとつ決定されるサイクルマスタがバス上の全ノードにサイクルスタートパケットを同報することによって、この同期が確立されている。従って、複数のバスでネットワークが構成される場合には、各バスのサイクルマスタ間で同期を確立する機能を新たに追加すればよい。

この同期方法は未だ規格審議中であったため、独自の方法を用いた。筆者らが用いたバス間の同期方法を図 5に示す。既存機器にはサイクルマスタ間で同期を確立する機能が実装されていないため、サイクルマスタをポータルに限定する。また、ネットワーク全体のクロック基準であるネットサイクルマスタは、ユーザの設定によりただ一つが決定される。

本方法では、ネットサイクルマスタを頂点とするツリートポロジをはじめに作成する。このトポロジにおいて、同一ブリッジ内の上流側ポータルが下流側ポータルのクロック基準となる。下流側ポータルは、上流側ポータルが送信する同期信号に基づいて自分の時刻情報(CYCLE_TIMEレジスタ)を同期させる。これにより、全てのバスのサイクル周期がネットサイクルマスタの持つ周期に同期される。

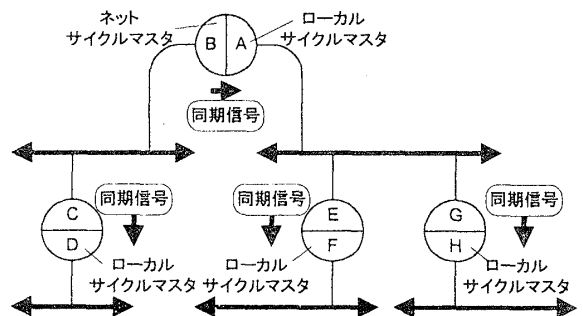


図 5 バス間同期方法

3.4 ネットワーク構成手順

バス間でアシンクロナス・パケットの転送が可能となるように、各バスにバス ID を割り当て、アシンクロナス・パケットのルーティング・マップを設定

するのがネットワーク構成手順である。この手順に関してはブリッジ草案規格が審議中であったため、独自の方法を用いた。筆者らが用いた手順の状態遷移図を図 6 に示す。なおこの図は、ネットワーク全体ではなく、ポータルの状態遷移を表したものである。ポータルは、各自のネットワーク構成の進捗に応じて状態を遷移するため、同一ネットワークにおいてもポータルによって状態が異なっている。

状態遷移図には、既存規格に基づくバスの構成が行われる状態 1 から開始され、構成手順が完了してパケットのバス間転送が可能な状態 5 に至る手順が示されている。途中でバスリセットが発生した場合には状態 1 に戻る。ただし、ネットワーク構成で用いられるパラメータにはバスリセットで値が初期化されないものがあり、バスリセット前の構成状態が保持される。

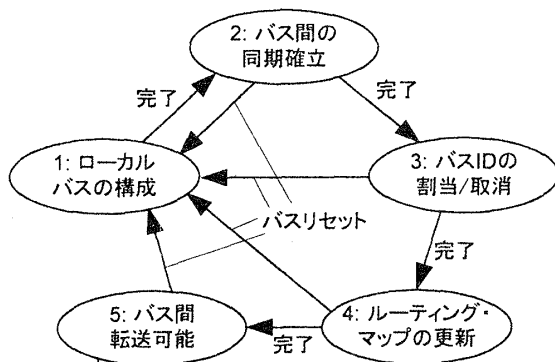


図 6 ネットワーク構成の状態遷移図

各ポータルは、ローカルバスの構成手順が完了すると状態 2 に遷移して、3.3.1で述べたバス間の同期確立を行う。ここでは、ネットサイクルマスタから外側のポータルに向かって同期におけるマスタ/スレーブの役割が順次決定されていく。ブリッジ内の相手ポータルに自分を同期させる役割であるスレーブに割り当てられたポータルは、ローカルバスにおいてサイクルマスタとなるための手順を行う。なお、以上述べたバス間の同期確立手順を簡単にするため、本方式ではネットワ

ークの物理トポロジがループを形成しないものとしている。

バス間同期が確立されたら、状態 3 においてバス ID の割当/取消が行われる。バス ID が既に割り当てられているポータルは、隣接バスの挿抜状態に応じてバス ID の新規割当/取消を管理ノードに要求する。一方バス ID がまだ割り当てられていないポータルは、隣接バス上のポータルからバス ID が割り当てられるのを待つ。その後ポータルは状態 4 に遷移し、状態 3 におけるバス ID 割当/取消を反映するようルーティング・マップを更新する。以上の手順が完了したら、パケットのバス間転送が可能な状態 5 に最終的に遷移する。

4 1394 ブリッジの試作と評価

以上検討した方式を実装した 1394 ブリッジを試作した。外観とハードウェア構成図を図 7 と図 8 にそれぞれ示す。図 8 に示されるとおり、物理層 LSI とリンク層 LSI とを 2 ポータル分実装したコア基板と市販のマイコン・ボードとから試作ブリッジは構成される。今回は、リンク層以下の全てと、トランザクション層およびブリッジ層の各一部をコア基板においてハードウェアで実装し、残りの機能はファームウェアで実装した。コア基板の外観を図 9 に示す。リンク層 LSI には、ブリッジ機能を盛り込んだ新規開発品を使用した。また、物理層には 1394 長距離対応 LSI[7]を用いており、部屋毎にネットワークをセグメント化する情報分電盤をイメージした仕様としている。

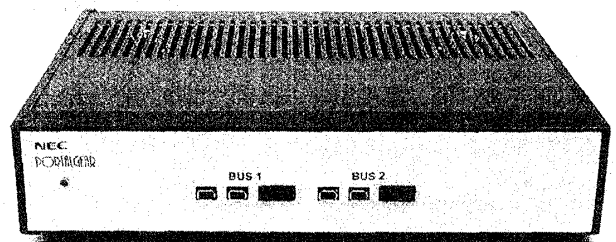


図 7 1394 ブリッジの外観

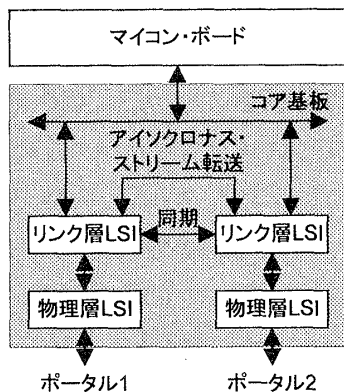


図 8 1394 ブリッジのハードウェア構成図

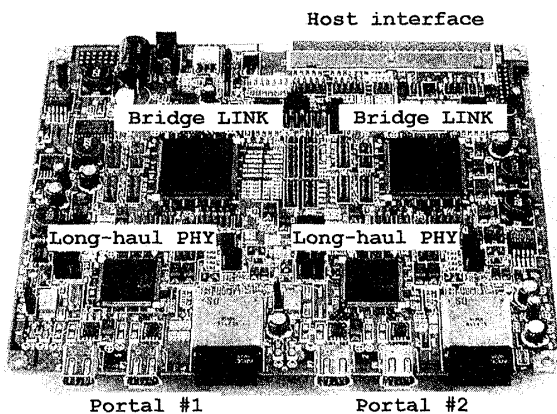


図 9 1394 ブリッジコア基板

今回新規に開発したリンク層 LSI の機能概要を表 1 に示す。P1394a 準拠のリンク機能をベースとし、それにブリッジ独自の機能を追加して LSI を開発した。第一に、自分宛の packet だけではなくバス間転送される packet も受信するために、アシンクロナス・packet ならびにストリーム・packet 用のルーティング・マップを実装し、このマップを用いて受信判断する機能を追加した。バス間転送されるアシンクロナス・packet が受信された場合には、本 LSI が適切な acknowledge を生成して送信ノードに返す。

続いて本 LSI には、アイソクロナス・ストリームのバス間転送を実現するための機能が 3 つ実装されている。まず、2 つのリンク層 LSI 間で前述のバス間同期を確立する機能が備えられている。また、アイソクロナス・ストリームのリアルタイム性

を損なわないよう、マイコンを介さずにリンクチップ間で転送可能な全二重の専用ポートを設けている。本ポートのスループットは双方向で 128 Mbps であり、DV 仕様のデジタル映像であれば同時に 4 ch の転送が可能である。さらに、この DV 等 IEC61883 規格[8]に準拠した AV ストリームを転送する際に必要となる、タイムスタンプの変換機能も実装している。

表 1 ブリッジ用リンク層 LSI の機能概要

- ルーティング・マップを用いたバス間転送パケットのフィルタリング機能
- バス間転送アシンクロナス・packet 受信時の acknowledge 送信機能
- リンク LSI 間のクロック同期機能
- アイソクロナス・ストリームのバス間転送機能(全二重)
- アイソクロナス・ストリームのチャンネル番号・AV ストリームのタイムスタンプ変換機能
- 1394-1995/a リンク層機能

この開発した 1394 ブリッジ装置を用いて、図 10 に示される評価を行った。ここでは、長さ 500 m の石英ガラスファイバ(GI-50)が挿入されたバス 1 およびバス 2 が 1394 ブリッジにより接続されて、1 つのネットワークを形成している。また、DV 仕様のデジタル映像信号を送信するカムコーダがバス 1 に接続され、さらにその映像を受信する PC がバス 1 とバス 2 にそれぞれ 1 台ずつ接続されている。

この評価系において、DV 映像の受信とカムコーダ制御(テープ再生や一時停止などの制御)をバス 2 上の PC にて行うことにより、アイソクロナス・ストリームおよびアシンクロナス・packet のバス間転送が 1394 ブリッジにおいて正常に行われていることが確認された。なお、この時の総伝送距離である 1 km はひとつのバスにおける遅延時間制限を超えた値であり、ブリッジによる遅延分断の効果が実証された。さらに、バス 2 側の PC

に他の機器を接続してバスリセットを発生させてもバス1側のPCにおける受信映像は乱れることが無く、ブリッジによってバスリセットが局所化されていることも併せて確認された。

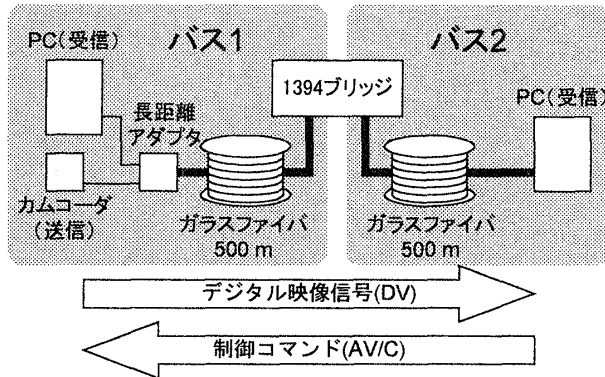


図 10 IEEE 1394 ブリッジ評価系

5 まとめ

IEEE 1394 を用いたホームネットワークにおいて、バスリセットの隔離やネットワークの効率化・大規模化を実現する、IEEE 1394 ブリッジの方式について検討した。さらに、検討方式を実装した試作装置を開発し、アシンクロナス/アイソクロナスパケットのバス間転送・バスリセット隔離・遅延分断などの基本動作を確認した。

参考文献

- [1] IEEE Std 1394-1995, Dec., 1995.
- [2] IEEE P1394a Draft 3.0, Jun., 1999.
- [3] 松田他, "IEEE1394 ブリッジ方式の一提案," 1998年信学総大, B-7-65.
- [4] IEEE P1394b Draft 0.7, Jul., 1999.
- [5] T. Nyu et al, "DEVELOPMENT OF AN IEEE 1394 LONG-HAUL ADAPTER," IEEE ICCE digest, THAM 15.6, Jun., 1999.
- [6] IEEE P1394.1 Draft 0.04, Feb., 1999.
- [7] 丹生他, "S400 対応 IEEE1394 長距離アダプタの開発," 今大会発表予定.
- [8] IEC 61883-1, Feb., 1998.