システムＬＳＩ設計技術　109－5
(2003. 3. 10)

リアルタイムイーサネットとその予備的評価

戸田 賢二[†]　関山 守[†]　Tsun-Ho Liu[‡]

† 産業技術総合研究所 情報処理研究部門 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 つくば中央第二
‡ オハイオ大学

E-mail: † {k-toda, m.sekiyama}@aist.go.jp.jp

あらまし イーサネットのプロトコルを拡張することにより，既存のイーサネットとハードウェア互換でありながら，広範囲な実時間応用をカバーするリアルタイムイーサネットプロトコルの開発を行い，ユビキタスコンピューティングなどに対する安価で実効性のあるリアルタイムネットワークソリューションを提供することを目指している．本稿では，リアルタイムイーサネットの提案とネットワークシミュレータ Opnet による基本性能の評価を行う．

キーワード リアルタイムイーサネット，優先度制御，イーサスイッチ，Opnet

Realtime Ethernet and its Preliminary Evaluation

Kenji TODA[†]　Mamoru SEKIYAMA[†]　and　Tsun-Ho Liu[‡]

† National Institute of Advanced Industrial Science and Technology　Information Technology Research Institute, Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

‡ Ohio University

E-mail: † {k-toda, m.sekiyama}@aist.go.jp.jp

Abstract We are doing research on realtime Ethernet protocol which aims at covering wide application area and having hardware compatibility with existing Ethernet. Our final goal is to provide a versatile realtime network solution for ubiquitous computing with high cost-performance. In this, we describe a basic policy of realtime Ethernet protocol and results of its preliminary evaluation.

Keyword Realtime Ethernet, Priority, Etherswitch, Opnet

1. はじめに

イーサネットは，現在，コンピュータの最も普及した I/O であり，ケーブルでの通信速度は 10/100Mbps に加え 1Gbps も標準的になりつつある．また，無線もモバイル応用，オフィス，家庭などに近年非常な勢いで普及しており，11Mbps に加え 54Mbps も普及が始まっている．利用形態も，インタネットへの接続，機器同士の接続，などが行われているが，IPv6 の導入により IP 電話機をはじめとする組み込み機器応用が爆発的に展開することが期待されている．イーサネットの通信方式は，全てのノードが同じデータを受け取るブロードキャスト方式であり，衝突検出付キャリア検出多重アクセスを行っている．このため，複数のノードが同時にデータを送出しようとした場合，衝突が発生し，データの再送を行わなければならない．従って，時間的な制約のある応用，例えばロボットなどリアルタイム機器の制御，ビデオや音声といった連続メディアの再生，またネットワークが輻輳した場合の緊急通信，などの実現が困難である．

本稿では，イーサネットの接続にスイッチを用いると共に，プロトコルを拡張して優先度制御機構を導入することで，既存のイーサネットと互換性を保ちつつ，有用な制御性を実現する方式について議論する．

2. リアルタイムイーサネットプロトコル

2.1. プロトコルの概要

イーサネットの物理層は，衝突検出付キャリア検出多重アクセスであるが，リアルタイム性の実現には，イーサスイッチの使用を前提とし，ノードや機器と point-to-point で結線することとする．これにより（入力と出力でラインを共有する以外は）パケット衝突を避けることができる．以降はこの状況での議論とする．

優先度制御を実現する方法として，イーサネットのパケットに優先度情報を付与し，パケットの送信の際，優先度の高いものから出力する．イーサスイッチにおいては，経路が干渉した場合，優先度の高いパケット

の通信を先に行う．ノードやイーサスイッチの入力バッファが溢れない状況では，各種のパケットキューの出力を優先度順とすることで，優先度による制御性が損なわれることはない．しかし，これらのキューがオーバフローする状況では，より高い優先度を持つ通信が処理できずに待たされる優先度逆転の現象を招かないための方針を決めておく必要がある．

ノードの入力キューがオーバフローした場合：キューが一種類しかなければ，より高い優先度のパケットが到着した場合，既存のパケットを消去して優先度の高いパケットを受け付ける方法が考えられる．実現の形態としては，優先度の種類毎にバッファを用意できれば，大きな記憶領域が必要となるが，キューの管理は単純となる．また，低い優先度のパケットを消去する代わりに，後ろで高い優先度のパケットが待たされているという情報をその経路の前方のパケットに通知し調停の際，一時的にその高い優先度を用いることで優先度逆転を解消する「優先度先送り方式」[5]（図１参照）の採用も検討している．

イーサスイッチにおいては，経路干渉が起こった場合，例えば同じポートに複数のポートからの転送要求があった場合，現状でも VLAN タグの情報に基づく優先度制御が可能なスイッチがある[1][2][3]．VLAN タグとは，イーサパケットの送信元アドレスの後ろに，４バイトの情報（タグプロトコル識別子２バイト＋タグプロトコル情報２バイト（ユーザプライオリティ３ビット，フォーマット形式表示１ビット，VLAN 識別子１２ビット））を付加したもので，バーチャル LAN の実現に用いられる．これは，指定したポートのグループがそれぞれ独立の LAN を構成している様に扱うことができる機能で，パケットの情報から動的に LAN のグループを切り替えることもできるものであり，ブロードキャストパケットの転送はそのバーチャル LAN 内のみとなる．現状のイーサスイッチにおける優先度制御には，ポート単位で優先度を固定する方式や，VLAN タグのユーザプライオリティに従いパケット毎に優先度制御を行う方式が採用されており，優先度毎にキューを設け，その閾値も優先度で変えるなどの実現がある．

2.2. プロトコルの実際

イーサネットのパケットは，受信ノードの同期用の０と１のパターンが繰り返す（１，０の交番信号）プリアンブル（６４ビット），行き先アドレス（４８ビット），出発アドレス（４８ビット），フレームタイプ（１６ビット），フレームデータ（368～12000 ビット），CRC（３２ビット），からなっている．今回の予備評価では，フレームタイプの１６ビットのうち８ビットを優先度として用いており，イーサパケット生成の際，指定された優先度をパケットに埋め込み，イーサスイッチのパケットバッファを優先度キューとして，優先度の高い順に処理されるようにする．

3. シミュレーション

3.1. ネットワークの接続

シミュレーションに用いた接続を図２に示す．全体構成は，１２個のサブネットノードが中央の１つのイーサスイッチに接続されており，そのスイッチは別のスイッチに接続され，更にそのスイッチはサーバに接続されている．想定している通信形態は，各サブネットが，優先度の異なるパケットを最初のスイッチに送り，最初のスイッチで優先度調停を行い，それをサーバに出力するというものである．イーサスイッチが２段になっているのは，現時点では，イーサスイッチだけに優先度制御機構を入れており，優先度制御を２段で行った場合の効果を調べるためである．

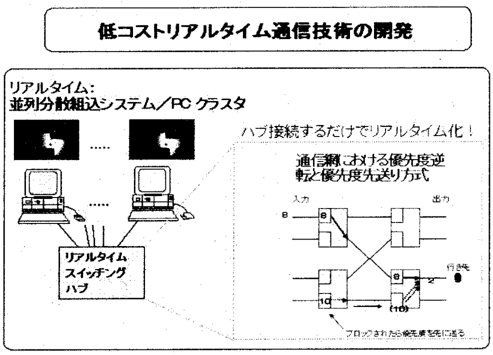

図１．リアルタイムイーサスイッチ

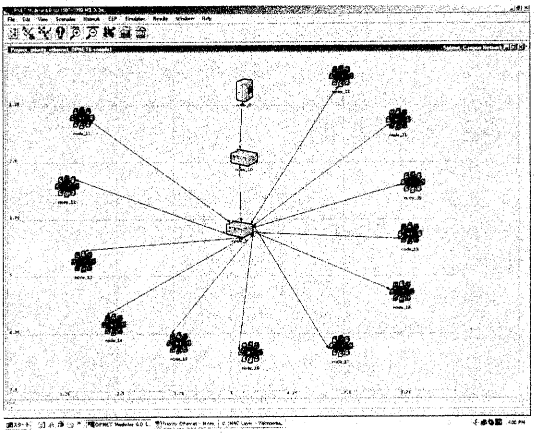

図２．ネットワークの接続

3.2. 条件

全てのサブネットワーク(Lan)は，サーバへデータを送り，優先度以外は同じ設定である．優先度は，Lanの左から右への順に優先度１から１２をセットした．サーバの優先度は最高の１３とした．

以下はシミュレーションのパラメータである．

- Session Information
  - Session Rate (Sessions/Hour): 10000
  - Session Rate PDF: constant
  - Session Duration (min): 1
  - Session Duration PDF: Constant
- Request Information
  - Generation Rate (Request/Hour): 6000
  - Generation Rate PDF: constant
  - Packet Size (Bytes): 50000
  - Packet Size PDF: constant
- Response Information
  - Packet Size (Bytes): zero
  - Packet Size PDF: constant
- Type of Service: Best Effort

Specification of LAN:

- MAC buffer size = 1M bits & 100 packets
- Switching Speed = 500,000

Switch buffer size = 3M bits & 300 packets (イーサスイッチで優先度制御)

- Priority_ethernet_OPENT6-sample1_K
  - Switching Speed = 40,000
  - MAC buffer size = 1M bits & 30 packets

優先度制御は，イーサスイッチのパケットキューを，優先度キューとしただけである．

3.3. 結果

スイッチバッファのパケットサイズの推移を図３に，スイッチバッファでのオーバフローパケット数を図４に示す．スイッチへの負荷が十分あることが観察できる．

Lan の最高優先度と最低優先度の場合の送信レートを図５に示す．シミュレーション時間の経過と共に通信が混み合ってくるためレートは落ちてくるものの，常に優先度制御の効果が表れている．しかし，最低優先度の通信も２０％程度バンド幅を消費している．中間の優先度についても最高と最低の間の値であり，優先度による制御性はあまり高くない．

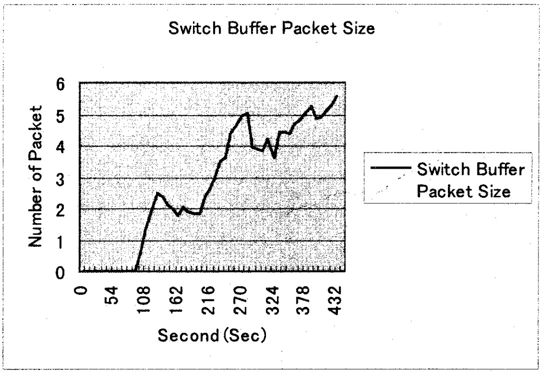

図３．スイッチバッファのパケットサイズ

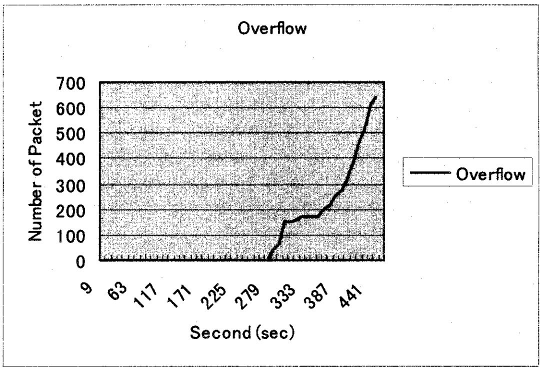

図４．スイッチバッファのオーバフローパケット

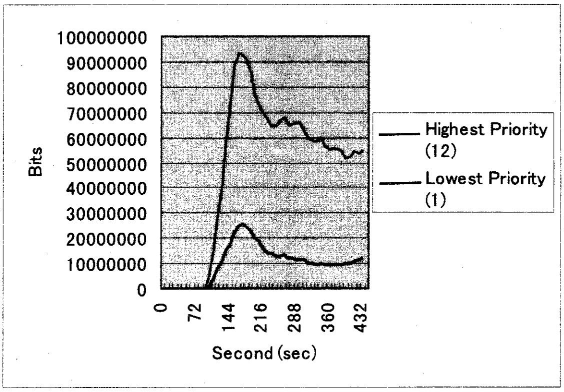

図５．送信レート（最高優先度，最低優先度）

4. 現状と今後の方針

現在，先に述べた予備評価の制御性を向上すべく，ローレベルのキューや制御ロジックの改変を行っている．リアルタイム応用の例として，産総研ヒューマノイドロボットの制御[4]（今後，通信総容量で 6 Mbps 以上，遅延 1 mS 以内程度必要）への要求を満たすことのできるプロトコルとすることを当面の目標とする．シミュレーションでの確認の後は，ＰＣや実験ボードを用いての実証を考えたい．

文　献

[1] Douglas Comer 著（村井，楠本訳），“第二版 TCP/IP によるネットワーク構築 Vol.1,” bit，別冊，共立出版，12 月号別冊，Dec.1991

[2] TCP/IP:
http://www3.mwc.edu/~jhaynes/tcpip.htm.
http://www.faqs.org/faqs/internet/tcp-ip/resource-list/

[3] Internet, Ethernet, TCP/IP:
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/index.htm

[4] 産総研ヒューマノイドロボット
http://www.is.aist.go.jp/humanoid/index_j

[5] 戸田,西田,高橋,山口「優先度先送り方式による実時間相互結合網ルータチップの実現と性能」，情報処理学会論文誌第 36 巻第 7 号、July 1995.