

## イーサネット CoS 制御方式の提案

Proposal on CoS Control Scheme for Ethernet based LAN

堀 賢治 吉原 貴仁 堀内 浩規

Kenji Hori Kiyohito Yoshihara Hiroki Horiuchi

(株) KDDI 研究所

KDDI R&amp;D Laboratories Inc.

## 1. はじめに

近年、ホームネットワークや SOHO (Small Office Home Office) といった、小規模 LAN の普及が進んでいる。LAN において VoIP や TV 電話等のリアルタイムアプリケーションを利用する場合、CoS (Class of Service) 制御が必要となる。CoS 制御を実現する方法として、IEEE802.1p (または IEEE802.1D Annex H) および IEEE802.1Q で規定された優先制御を利用する方式 (以下、IEEE802.1p 方式) がある。IEEE802.1p 方式を実現するには同方式対応のイーサネットハブが必要であるため、同方式に非対応の環境では CoS 制御は困難であった。本稿では IEEE802.1p 方式対応のハブを用いずに同様な CoS 制御を可能とする方式を新たに提案する。また、提案方式を実装し、スループットなどの観点から IEEE802.1p 方式との比較による有効性評価を行う。

## 2. 既存技術

IEEE802.1p 方式による CoS 制御とは、各ホストがイーサネットフレーム送出時に、サービスクラスを表す 3 ビットの優先度値を示すタグを付加すること、および同方式対応のハブ (多くの場合、フレームの優先度値毎に送信レートの異なる複数の送信キューを設けている) を用いることにより、送信レートに相対的な差を生じさせる方式である。

また、IEEE802.3x には、全二重イーサネットにおいてフローコントロール (自律的輻輳制御) 機構 (以下、FC) を実現するための制御フレームが定義されている。これをポーズフレームと呼び、通常はイーサネットハブが、ポートのキュー長を監視し、一定水準以上に長くなると、対向するイーサネットデバイスに向けて送信する。ポーズフレームを受信したデバイスは、ポーズフレーム内に指定された時間だけ送信停止状態となり、これにより輻輳を制御する。

## 3. 提案方式

## 3.1. 基本原理

本稿にて提案する CoS 制御方式は、各ホストがフレームを送出する段階で送信レートの差を生じさせる。以下にその基本原理を示す。

## (1) ポーズフレームによる送信レート制御

2. で述べたポーズフレームを擬似生成し、他ホストに送信することにより、外部ホストから送信レートを制御する。この時ポーズフレーム内の送信停止指定時間 (以下、ポーズ時間) およびポーズフレームの送信間隔 (以下、スリープ時間) の比によって送信レートが定まる。上記提案方式の送信レート制御を、以下擬似 FC と呼ぶ。

## (2) CoS 管理サーバの導入

LAN 上で各々のホストが擬似 FC を行う場合、各ホストの擬似 FC の要求が衝突する恐れがある。例えば、2 台のホストが独立して同時に擬似 FC を開始した場合、お互いに送信レートを制限し合い、2 台とも所望のサービスクラスが得られない。そのため、ホスト間で調停を行うか、若しくは LAN 上で唯一のホストが全ての擬似 FC 処理を行う必要がある。提案方式では、実装の容易さから後者とし、LAN 上で唯一の擬似 FC 処理を行う CoS 管理サーバを新たに導入する。

ホストは CoS 管理サーバへ擬似 FC の開始を要求する際、RSVP [1] を拡張した SBM (Subnet Bandwidth Manager) [2] プロトコルを使用する。尚、CoS 管理サーバの発見にも本プロトコルを使用する。

## 3.2. 提案方式の概略

図 1 のネットワーク構成で、ホスト 1 がホスト 3 への通信に、他のトラフィックに比して高いサービスクラスを求めている場合の提案方式の動作例を示す。

(1) ホスト 1 は CoS 管理サーバ (ホスト 3) へ擬似 FC 処理開始を要求するメッセージ (TCLASS を持つ RSVP メッセージ) を送信する。このとき、要求するサービスクラスをメッセージの TCLASS オブジェクトに挿入する (図 1 (1))。

- (2) CoS 管理サーバの擬似 FC 要求受信部 (図 1 (a)) が要求メッセージを受信すると、サービスクラス抽出部 (図 1 (b)) が擬似 FC 処理に必要なサービスクラス情報を要求メッセージから抽出する (図 1 (2))。ポーズ/スリープ時間決定部 (図 1 (c)) は、サービスクラスとポーズ/スリープ時間の対応表 (図 1 (d)) から、適切なポーズ/スリープ時間を決定する。
- (3) CoS 管理サーバのポーズフレーム生成部 (図 1 (e)) は、(2) で決定されたポーズ/スリープ時間の設定にてポーズフレームを送信する (図 1 (3))。
- (4) ホスト 2 はポーズフレームを受信、間欠送信状態となり、利用可能な送信レートを制限される (図 1 (4))。
- (5) CoS 管理サーバのポーズフレーム生成部 (図 1 (e)) は、一定時間 (この時間は RSVP PATH メッセージのデフォルトのリフレッシュ周期である、30 秒に設定している) 経過後、擬似 FC 処理を終了する (図 1 (5))。

尚、IEEE802.1p 方式のようなイーサネットフレーム毎の CoS 制御とは異なり、本方式はイーサネットデバイス毎の CoS 制御のみ行う。しかし、提案方式とホスト自身のキューイング制御を併用することでフレーム毎の CoS 制御を行うことも可能である。

## 4. 実験

## 4.1. 実験環境

図 1 のネットワーク構成にて、提案方式と既存方式 (IEEE802.1p) の CoS 制御性能比較評価を行った。ホスト 1 に擬似 FC 要求メッセージ送信プログラムを実装する。尚、今回のポーズフレーム生成部の実装ではスリープ時間を 20ms 未満に設定することができない為、スリープ時間を固定してポーズ時間を変化させて評価する。

ホスト 1, 2, および 3 は x86 系 PC であり、イーサネットコントローラは全て intel 製 82559 を使用する。OS には Linux を使用した。本構成において使用したイーサネットハブは IEEE802.1p に対応しており、ポート毎に 2 つの送信キューを具備しており、それぞれ低優先度・高優先度のフレーム送信に割り当てる。2 つのキューの送信は交互に行われるが、その際に両者の送信回数比を設定することにより、送信レートに相対的な差を生じさせることが可能である。イーサネット回線は全て 100Mbps 全二重であり、また、ハブの FC 機構は無効にしている。

## 4.2. CoS 制御時のスループット特性

ホスト 1 とホスト 3 の間に iperf [3] にて udp トラフィック 100Mbps を発生させ、スループットを測定した。同時に、ホスト 3 に繋がるハブのポートにトラフィックが集中・競合する状態を生成するため、ホスト 2 からホスト 3 に向け、iperf にて 100Mbps の udp トラフィックを発生する。この際、下記 (1) および (2) の 2 つの場合について測定を行う。

- (1) IEEE802.1p 方式による CoS 制御を適用。ホスト 1 からホスト 3 へのイーサネットフレームに優先度タグ付け、

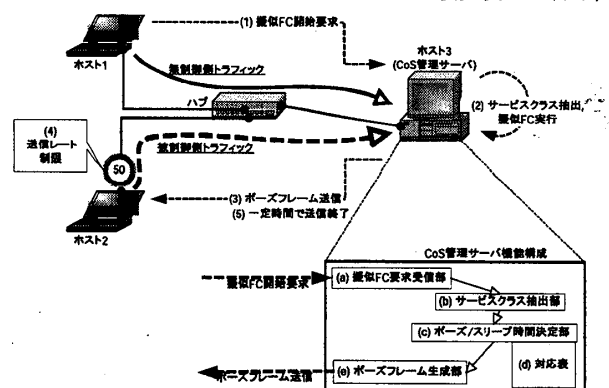


図 1 ネットワーク構成

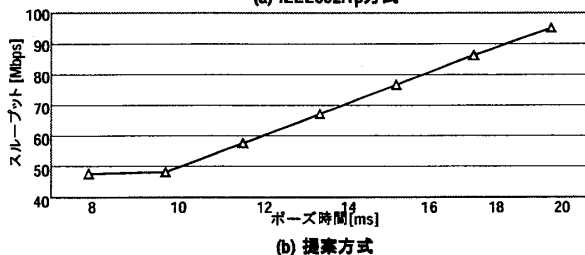
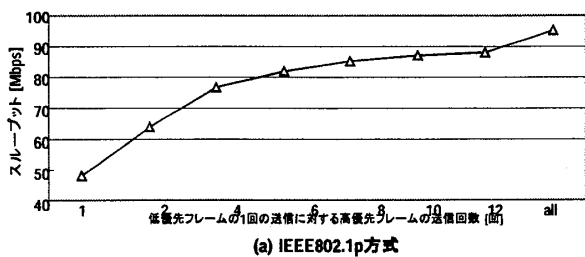


図2 CoS制御時のスループット特性

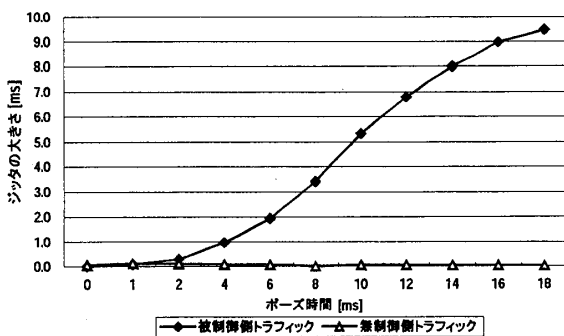


図3 CoS制御時のジッタ特性

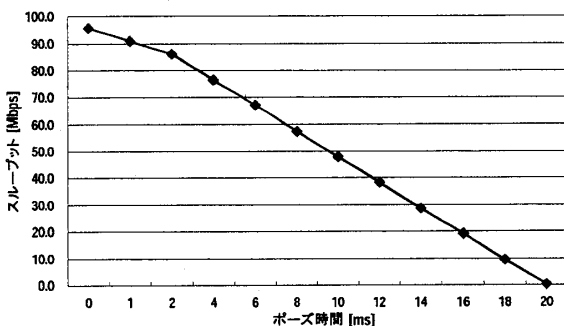


図4 帯域制御性能

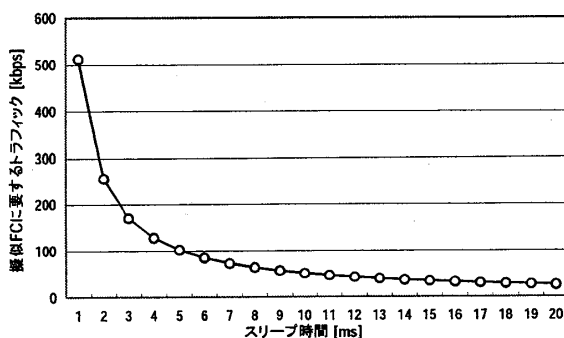


図5 制御トラフィック量

ハブにおいて CoS 制御。2つのキューの送信回数比を 1:1~12 に、または高優先フレームが存在する場合、直ちに全て送信する設定とした場合。

(2) 提案方式による CoS 制御を適用。CoS 管理サーバからホスト 2 に、スリープ時間を 20ms に設定して擬似 FC を実行。ポーズ時間を 8~20ms の間で可変とした場合。

図 2(a) (IEEE802.1p 方式) および 図 2(b) (提案方式) はその実験結果である。図 2 より、提案方式は、IEEE802.1p 方式と

同様に、トラフィックに送信レート優先度を設けることが可能であり、IEEE802.1p 方式に非対応のイーサネット環境における CoS 制御に有効であることが分かる。

#### 4.3. CoS 制御時のジッタ特性

提案方式は被制御ホストが間欠送信状態となるため、通信にジッタが生じる可能性がある。このため、図 1 のネットワーク構成において、4.2. の場合と同様にホスト 2 に対し擬似 FC を実行し、CoS 制御時におけるホスト 1 からホスト 3 までの通信 (無制御側トラフィック) およびホスト 2 からホスト 3 までの通信 (被制御側トラフィック) に発生するジッタを iperf にて測定した。尚、iperf によるジッタ測定は RFC1889 に沿った近似計算である。測定は iperf に 1Mbps の udp トラフィックを発生させて行った。結果を図 3 に示す。図 3 より、提案方式は被制御側トラフィックに生じるジッタが大きいため、被制御側トラフィックにリアルタイムアプリケーションの通信が含まれる場合に考慮が必要であることが分かる。

#### 4.4. 帯域制御性能

提案方式はポーズ/スリープ時間比の設定により、被制御ホストが利用可能な帯域幅の制限にも用いることが可能と考えられる。そこで、図 1 のネットワーク構成において、4.2. と同様にホスト 2 に対し擬似 FC を実行し、被制御側トラフィックに帯域制限を設けた場合のスループット特性を測定した。尚、被制御側トラフィックとして、ホスト 2 において iperf による 100Mbps の udp トラフィックを発生している。ただし 4.2. とは異なり、無制御側トラフィックは発生させていない。実験結果は図 4 に示す。図 4 では、ポーズ時間の設定によってスループットに上限が発生していることが分かる。よって提案方式は送信レートの制限に用いることも可能であることが分かる。

#### 4.5. 制御トラフィック量

ポーズフレームは 1 フレームあたり 64bytes の帯域を消費するため、送出数によっては帯域幅の圧迫が懸念される。そこで、図 5 に、擬似 FC に要する制御トラフィック量 (計算値) を示した。具体的には、1 台のホストを制御する場合に、スリープ時間を変化させた (すなわち、単位時間あたりのポーズフレーム数が増減する場合を想定し、スリープ時間とポーズフレーム数が反比例すると仮定して算出している。図 5 より、スリープ時間が 5ms 以下まで小さくなると、制御トラフィック量は 0.1Mbps 以上になり、無視できないオーダーになることが分かる。また、制御対象が複数となった場合には、制御トラフィック量は制御対象の数に比例する。

#### 5. 考察

4.3. にて評価したジッタの原因は擬似 FC 処理部の実装上の制約に起因する。現在はスリープ時間を 20ms 以下に設定できない。この値をより短くできればポーズ時間も短く設定できるため、被制御側トラフィックに発生するジッタはより小さくなると予想される。しかしながら、スリープ時間を小さくすると 4.5. で評価した制御トラフィック量が増大する。このため、ポーズ/スリープ時間比が大きく、ジッタが大きくなることが予想される場合は、よりポーズ/スリープ時間を短く設定することで、ジッタ発生を避けつつ、制御トラフィックの増大を抑える方式の検討が今後の課題である。

さらに、今回の実験では被制御ホストが 1 台のみの構成であったため、1 台の CoS 制御サーバから複数台のホストを擬似 FC により制御する場合の評価も今後必要である。

#### 6. まとめ

IEEE802.1p 方式に対応しないイーサネット環境における CoS 制御方式について検討を行った。実験の結果、小規模の LAN 環境における CoS 制御に有効であることを示すとともに、今後の課題を明らかとした。

最後に、日頃ご指導頂く (株)KDDI 研究所浅見所長、松島副所長、ならびに水池取締役に感謝する。

#### 参考文献

- [1] Resource ReSerVation Protocol (RSVP) (RFC 2205), <http://www.ietf.org/rfc/rfc2205.txt>.
- [2] SBM (Subnet Bandwidth Manager): A Protocol for RSVP-based Admission Control over IEEE 802-style networks (RFC2814), <http://www.ietf.org/rfc/rfc2814.txt>.
- [3] <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>