

Diffserv ネットワークにおける ECN を用いた受信者主導の輻輳制御方式

福原 政彦[†] 秦野 智也[†] 野田 陽子[†] 重野 寛[†] 岡田 謙一[†]

[†] 慶應義塾大学理工学部 〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
{fukuhara,hatano,yoko,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp

概要:

TCP におけるデータ転送方式は、受信者がデータ送信量を制御できず、受信者の優先するデータを優先的に転送することができない。そこで、本論文ではこの問題を解決する手段として、Differentiated Services(Diffserv) の代表的な転送方式である Assured Forwarding Per Hop Behavior(AF PHB) において受信者主導で TCP データ転送を行う輻輳制御方式を提案する。提案方式では、受信者がフローに対して high または low の優先度を設定し、優先度 high のフローには基本的に Explicit Congestion Notification(ECN) による輻輳制御を行わないことによって優先度 high のフローを優先的に転送する。本論文では、コンピュータシミュレーションにより評価を行い提案方式の有効性を確認する。

Receiver Based Congestion Control Mechanism Using ECN in Diffserv Network

Masahiko FUKUHARA[†], Tomoya HATANO[†], Yoko NODA[†],
Hiroshi SHIGENO[†] and Ken-ichi OKADA[†]

[†] Faculty of Science and Technology, Keio University Hiyoshi 3-14-1, Kouhoku-ku,
Yokohama-shi, 223-8522 Japan
{fukuhara,hatano,yoko,shigeno,okada}@mos.ics.keio.ac.jp

Abstract: In data transfer system in TCP, a receiver is not able to control quantity to transmit data. Therefore, this system is not able to forward the data which a receiver gives priority to with precedence. In this paper, we propose receiver based congestion control mechanism in Assured Forwarding Per Hop Behavior(AF PHB) which is representative transfer system of Differentiated Services(Diffserv) as a means to solve this problem. In our system, a receiver sets high or low priority degree for flows. Flows of priority degree high are forwarded with precedence by not controlling them by Explicit Congestion Notification(ECN) basically. In this paper, we evaluate our system by a computer simulation and confirm the effectiveness of our system.

1 背景

TCP [5] におけるデータ送信量は、ウィンドウサイズによって決定されている。ウィンドウサイズは、送信側のパラメータである輻輳ウィンドウサイズ、送信バッファサイズ、受信バッファサイズである受

信ウィンドウサイズの最小値によって定義される。しかし、実際には送信バッファサイズや受信ウィンドウサイズは大きな値になる場合が多くウィンドウサイズに反映されることは少ない。従って、ウィンドウサイズはほとんどの場合送信側のパラメータである輻輳ウィンドウサイズによって制御されてい

る．このことから，TCP のデータ転送方式は送信者主導であるといわれる．

送信者主導のデータ転送方式の問題点は，受信者がデータ送信量を制御することができないという点である．例えば，受信者にとって優先度の高い TCP フローのデータ送信量を他のフローよりも増加させ，優先的に転送するということができない．様々なフローの相対的な重要度を認知しているのは送信者ではなく受信者であると考えられる．よって，サービスを受受する受信者のニーズがデータ転送において反映されるべきである．

以上のことから，TCP のデータ転送方式は送信者主導ではなく，受信者主導で行われる方が望ましいと考えられる．受信者主導のデータ転送方式では，受信者が優先するフローを優先的に転送することが可能となり，受信者にとって非常に有益である．また，送信者主導のデータ転送方式では成しえなかったネットワークの輻輳の問題を解決できる可能性も秘めていると考えられる．

本論文では，Differentiated Services(Diffserv) [3] [6] の代表的な転送方式である Assured Forwarding Per Hop Behavior(AF PHB) [2] において受信者主導で TCP データ転送を行う輻輳制御方式を提案する．提案方式は，Explicit Congestion Notification(ECN) [4] を利用できることを前提とする．

本論文の構成は以下の通りである．まず第 2 章で提案方式である受信者主導の輻輳制御方式について述べ，第 3 章で提案方式の有効性を示すためにコンピュータシミュレーションによる評価を行う．そして，第 4 章にて結論と今後の課題について述べる．

2 提案方式

TCP における輻輳制御方式は，輻輳が起こった場合にすべてのフローについてウィンドウサイズを縮小させデータ送信量を減少させる方式である．つまり，輻輳の影響をすべてのフローに公平に割り振る方式であるといえる．しかし，このことが必ずしも受信者にとって有益であるとは限らない．むしろ，輻輳の影響をそれぞれのフローに対してあえて不公平に割り付ける方が受信者のニーズに応えられる場合も数多くある．

優先するフローに対して輻輳の影響が少なくなる

のであれば他のフローに対してその影響が多くなったとしても受信者にとって有益なことである．このことから，受信者のニーズに応える輻輳制御方式として輻輳の影響を不公平にフローに割り付ける方式，つまり差別的な輻輳制御方式が適していると考えられる．差別的な輻輳制御を行うことにより，優先するフローに対する輻輳の影響を最小限に抑えることができる．

提案方式ではアプリケーションの種類により優先度を分類する．具体的には，アプリケーションにおけるポート番号により，優先度を分類する．TCP では送信側のポート番号により送信側のアプリケーションの種類を識別することができる．このことを利用すれば，アプリケーションと優先度を対応付けることが可能である．

2.1 優先度の設定方法

提案方式では，受信者が優先してデータ転送を行いたいアプリケーションのポート番号をあらかじめ優先度 high のポート番号として設定しておく．例えば，http のフローを優先的に転送したい場合は，http のポート番号である 80 を優先度 high のポート番号として設定しておく．優先度 high のポート番号に設定することができるポート番号の数に制限はない．しかし，優先度 high のアプリケーションは絶対的に優先されるわけではなく，あくまで優先度 low のアプリケーションに対して相対的に優先されるので，そのことを考えた上で優先度を設定する必要がある．優先度 high のポート番号に設定されていないポート番号は優先度 low のポート番号として設定される．

このようにあらかじめ優先度を設定しておくことによって，コネクションが確立された時点で送信側のポート番号からそのフローの優先度を識別することができる．

2.2 輻輳制御方式

ECN ではネットワーク内で輻輳が発生した場合，内部ルータはパケットに輻輳発生信号を記入し，そのパケットを受け取った受信者は ACK に輻輳通知信号を記入する．輻輳通知信号を受け取った送信者は，パケットが損失した場合と同じように輻輳制御

を行い、輻輳ウィンドウを縮小させデータ送信量を減少させる。このように、ECN 信号はルータから受信者を經由して送信者に伝えられる。

ここで、受信者がそれぞれのフローについて輻輳通知信号を ACK に記入するかしないかという選択が出来るかすると、受信者はフローを二種類に差別化することができる。例えば、二本のフローが存在する場合に一方のフローには輻輳通知信号を ACK に記入し、もう一方のフローには記入しないとする。このようにすると、一方のフローでは輻輳制御が行われデータ送信量が減少するが、もう一方のフローでは輻輳制御が行われずデータ送信量がそのまま増加していくことになる。

結果的に、輻輳通知信号を ACK に記入しない方のフローは、もう一方のフローのデータ送信量を犠牲にすることにより、ネットワークの輻輳によってデータ送信量を制御されることなく優先的にデータ転送を行うことができる。

提案方式の基本原則は、輻輳が発生した場合に優先度を low と設定したフローにおいては輻輳通知信号を ACK に記入し、優先度を high と設定したフローにおいては輻輳通知信号を ACK に記入しないということである。つまり、優先度 low のフローにおいてのみ輻輳制御を行い、優先度 high のフローにおいては輻輳制御を行わないことにより、優先度 high のフローを優先的に転送するというのである。

2.3 優先度 high のフローにおける輻輳制御

先に述べた提案方式は、輻輳が発生しても優先度 high のフローには輻輳制御を行わないというものであった。しかし、TCP は輻輳制御が行われな限りウィンドウサイズを増大させデータ送信量を増加させていく。よって、いつまでも輻輳制御が行われないのであれば優先度 high のフローが保証帯域を超え、ネットワークによってパケットが廃棄されてしまう危険性が生じる。また、過剰に帯域を使用してしまうと、他の受信者が使用できる帯域を押さえつけてしまう可能性がある。

そこで、提案方式では優先度 high のフローの受信スループットの合計値が保証帯域を超えた場合には、優先度 high のフローについても輻輳通知信号

を ACK に記入し、輻輳制御を行うようにする。このようにすることにより、優先度 high のフローのデータ送信量を制御することができ、データ送信量の超過を回避することができる。

2.4 保証帯域の設定

優先度 high のフローに対して輻輳制御を行うには、それぞれの受信者が自分に対して保証される帯域量を認知している必要がある。しかし、AF PHB においては受信者一人当たりに対して保証される帯域量については何も定められていない。

AF PHB におけるサービスレベル契約により保証される帯域量は集約に対するものであり、受信者一人当たりに対して保証される帯域量ではない。一人の受信者のみが通信を行っている場合は一人で集約に対する保証帯域をすべて使用することができるが、複数の受信者が通信を行っている場合は受信者一人当たりが使用できる帯域は当然限られる。つまり、受信者一人当たりが使用できる帯域は他の受信者がどの程度帯域を使用しているかによって変化する。しかし、この帯域量はそれぞれの受信者に対して公平に配分されるわけでない。

そこで、提案方式ではそれぞれの受信者に対して公平に帯域を配分するために、受信者一人当たりの保証帯域量を定義する。ここで、受信者一人当たりの保証帯域量は、集約フローに対する保証帯域量を通信している受信者の数で割った値とする。

$$\text{一人当たりの保証帯域} = \frac{\text{(集約に対する保証帯域)}}{\text{(通信している受信者数)}} \quad (1)$$

提案方式では、受信者は通信を開始する際にホストコンピュータに通信を開始するというメッセージを送る。また、通信を終了する際には通信を終了するというメッセージを送る。ホストコンピュータは、それぞれの受信者からのこのようなメッセージにより、通信を行っている受信者の数を判断する。そして、ホストコンピュータは集約に対する保証帯域量から受信者一人当たりの保証帯域量を計算し、その値を通知するメッセージをそれぞれの受信者に送る。ホストコンピュータは通信を行っている受信者の数が変化すると保証帯域量の計算をし直すので、受信者一人当たりの保証帯域量をタイムリー

にそれぞれの受信者に通知することができる。

このようにして、受信者は自分に対して保証されている帯域量を認知することができる。

3 評価

提案方式の有効性を確認するために、network simulator ver.2(ns-2) [1] を用いてコンピュータシミュレーションを行った。シミュレーションモデルは図1の通りである。4~12本のTCPデータをそれぞれS1, S2からD1~D6(receiver1~receiver6)に送信しDiffservネットワーク内で保証帯域量9Mbpsの一つの契約に集約した。ここで、S1は優先度highのフローを転送するサーバ、S2は優先度lowのフローを転送するサーバとした。シミュレーション条件は表1の通りである。

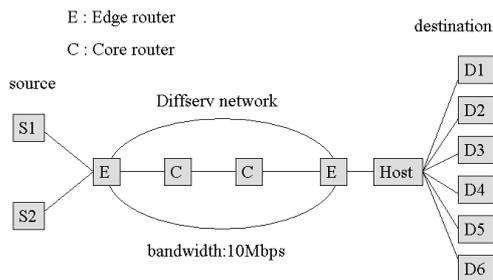


図 1: シミュレーションモデル

表 1: シミュレーション条件

TCP 輻輳制御機構	New-Reno
Diffserv ネットワーク内の帯域	10 Mbps
保証帯域量	9 Mbps
伝搬遅延	500 msec
シミュレーション時間	100 秒

本章では、コンピュータシミュレーションにより、それぞれの受信者において優先度 high のフローを優先的に転送できるかということの評価する。また、それぞれの受信者に対して公平に帯域を配分

できるかということの評価する。

3.1 優先転送における評価

表 2 に、receiver1 から receiver6 の 6 人の受信者にそれぞれ優先度 high のフローと優先度 low のフローを 1 本ずつ転送した場合のそれぞれの平均スループットを示す。また、表 3 に平均スループットの合計値を示す。

表 2: 6 人の受信者の平均スループット (Mbps)

receiver	high のフロー	low のフロー
1	1.120	0.441
2	1.152	0.493
3	1.150	0.490
4	1.159	0.434
5	1.136	0.544
6	1.130	0.465

表 3: 平均スループットの合計値

receiver	一人当たりの合計値 (Mbps)
1	1.561
2	1.645
3	1.640
4	1.593
5	1.680
6	1.595

表 2 に示すように、すべての受信者において優先度 high のフローの平均スループットは相対的に優先度 low のフローのものよりも高くなっている。このことから、提案方式は優先度 high のフローと優先度 low のフローを差別化し、優先度 high のフローを優先的に転送できることが確認できる。

表 3 より、それぞれの受信者の平均スループットの合計値はほぼ同じになっていることがわかる。このことから、それぞれの受信者に対して公平に帯域を配分できていることが確認できる。

図 2 に、receiver1 のフローのスループットを示す。また、図 3 に、receiver1 と receiver2 の優先度

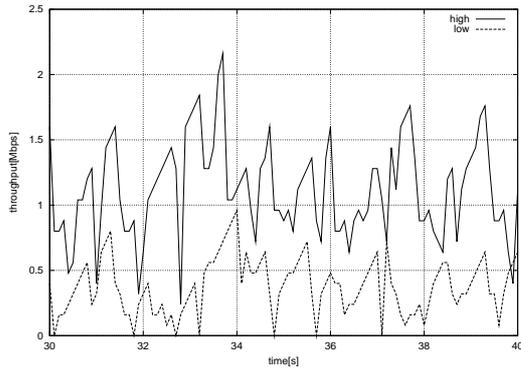


図 2: receiver1 の優先度 high のフローと優先度 low のフローのスループット

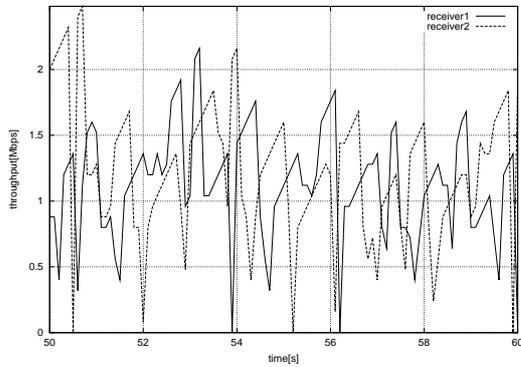


図 3: receiver1 と receiver2 における優先度 high のフローのスループット

high のフローのスループットを示す。それぞれのグラフの横軸は時間で単位は秒，縦軸はスループットで単位は Mbps である。

図 2 においても優先度 high のフローが優先度 low のフローよりも優先的に転送されている様子が確認できる。図 2 において注目すべきことは、優先度 high のフローのスループットが一人当たりの保証帯域である 1.5Mbps を超えても必ずしも減少していないということである。これは、ネットワークが空いている場合、つまり他の受信者が多くの帯域を使用していない場合は優先度 high のフローが一人当たりの保証帯域を超えても ECN が作動せず、輻輳制御が行われないからである。

図 3 より、異なる受信者における優先度 high のフローのスループットが減少するタイミングは同期

表 4: 異なる優先度のフローを転送している受信者の平均スループット (Mbps)

receiver	フロー 1	フロー 2	合計値
1	2.732	1.981	4.713
2	2.318	2.078	4.396

していないことがわかる。提案方式は、それぞれの受信者が独立にフローのデータ送信量を制御しているので、それぞれの受信者において優先度 high のフローに対して輻輳制御を行うタイミングが同期することはない。つまり、ある受信者の優先度 high のフローのスループットが減少した場合でも、その分の帯域を瞬時に他の受信者が使用できるのでネットワークの使用効率がよい。

3.2 公平性における評価

表 4 に、優先度 high のフローを 2 本転送している受信者 (receiver1) と優先度 low のフローを 2 本転送している受信者 (receiver2) の平均スループットを示す。

表 4 より、それぞれの受信者の合計スループットの値が近いことから、優先度 high のフローのみを転送する受信者と優先度 low のフローのみを転送する受信者がいる場合でもそれぞれの受信者に公平に帯域を配分できることがわかる。これは、提案方式が受信者一人当たりの保証帯域を定めているからである。

優先度 high のフローは絶対的に優先されるわけではなく、同一受信者の優先度 low のフローに比べて相対的に優先されるので、他の受信者の優先度 low のフローよりも優先転送されるということはない。提案方式の概念は、優先度 high のフローを他の受信者の帯域を奪ってでも優先するというのではなく、自分に保証された帯域の範囲内において優先度 low のフローよりも優先するということである。よって、優先度の設定の違いによってそれぞれの受信者に不公平な帯域配分が行われてはならない。

二人の受信者における平均スループットの値にはそれほど差はないが、輻輳制御が行われる条件は両者において異なっている。優先度 high のフローのみを転送している受信者のフローは、輻輳が発生

しかつフローのスループットの合計値が一人当たりの保証帯域を超えたときに輻輳制御が行われる。一方、優先度 low のフローのみを転送している受信者のフローは、輻輳が発生するたびに輻輳制御が行われる。このことから、後者の方が輻輳制御が行われる可能性が高いと考えられる。しかし、前者において輻輳が発生した場合というのはフローのスループットの合計値が一人当たりの保証帯域を超えていることが多いので、ほとんどの場合、輻輳が発生するたびに輻輳制御が行われる。よって、結局両者において輻輳制御が行われる頻度はほとんど変わらないといえる。両者の合計スループットの値にそれほど差異がないのはこのためである。

4 結論と今後の課題

TCP におけるデータ転送方式は、受信者がデータ送信量を制御できないという問題があり、受信者の優先するデータを優先的に転送することができない。本論文ではこの問題を解決するために、Diffserv AF PHB において受信者主導で TCP データ転送を行う輻輳制御方式を提案した。

提案方式は、受信者がフローに対して high または low の優先度を設定し、優先度の high のフローには基本的に ECN による輻輳制御を行わないことによって優先度 high のフローを優先転送するというものである。優先度 high のフローは、その受信レートが受信者一人当たりの保証帯域を超えた場合のみ輻輳制御が行われる。このことによって、優先度 high のフローのデータ送信量を制御し、送信量の超過を回避することが可能となる。

コンピュータシミュレーションを用いて評価を行った結果、それぞれの受信者において優先度 high のフローを優先して転送できることが確認された。また、提案方式はそれぞれの受信者に対して公平に帯域を配分することができ、それぞれの受信者の優先度の設定による影響がないということも示された。

提案方式では、それぞれの受信者の受信レートが一齐に一人当たりの保証帯域を超えてしまうとネットワークに悪影響を及ぼす危険性がある。このことは、優先度 high のフローの受信レートが一人当たりの保証帯域を超えない限り優先度 high のフローに対して輻輳制御を行わないということに問題が

ある。早い段階から優先度 high のフローの輻輳制御を行い、この問題を改善することが今後の課題である。

参考文献

- [1] The network simulator - ns-2. : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [2] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski. Assured forwarding PHB group. RFC2597, IETF, Jan. 1997.
- [3] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black. Definition of the Differentiated Service Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers. RFC2474, IETF, Dec. 1998.
- [4] S. Floyd K. Ramakrishnan. A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP. RFC2481, IETF, Jan. 1999.
- [5] Marina del Rey. Transmission Control Protocol. RFC 793, IETF, Sep. 1981.
- [6] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang. An Architecture for Differentiated Services. RFC2475, IETF, Dec. 1998.