

論文内容要旨（和文）

氏名 工藤智子 

論文題目 利用帯域幅割り当てを行うクロスレイヤフロー制御に関する研究

1993 年に国内におけるインターネット接続の商用サービスが開始されて以降、定額料金・常時接続が開始され、ブロードバンドによるインターネット接続は一般的となった。

現状では、移動体通信のトラフィックの伸びは高いものの、ブロードバンドのトラフィック量が移動体通信の約 4 倍となっており、トラフィック量の増大している。これに伴い、広帯域幅のバックボーンネットワークも拡大しているが、ICT (Information Communication Technology) の進展に伴って、今後もトラフィックの増加がさらに進むことが予想され、さらなるバックボーンネットワークの広帯域化を進めていく必要があるとともに、帯域の利用効率も同時に高めていく必要がある。

現状、ブロードバンド利用者の使用量は TCP (Transmission Control Protocol) が全体の約 80% を占めている状況にあり、帯域の利用効率を高めるためには、TCP 利用時における帯域利用効率向上が必要不可欠である。そこで、本論文では、TCP の帯域利用効率の改善方法について考察した。

これまで、広帯域高遅延環境下でも帯域利用率が向上することを目的として、様々な TCP が提案されている。これらで提案される TCP は、セグメント廃棄や RTT の増加により輻輳を間接的に検知してきた。一方で、下位層の情報をトранスポート層に利用するクロスレイヤ手法を用いた ECN (Explicit Congestion Notification) や XCP (eXplicit Control Protocol) が提案された。ECN は RFC (Request For Comments) に定義され実装自体は進んでいるが、帯域利用率は ECN より XCP が良いということが示されている。その一方、XCP はトランスポート層の入れ替えと XCP ルータの設置が必要であるため、研究段階にとどまっており、普及が進んでいないという問題がある。

そこで筆者らは、クロスレイヤ制御により公平な帯域割り当てを行う XLBA (Cross-Layer Bandwidth Assignment) の提案と検討を行った。この方式は、中継機器のキューサイズが閾値を超えた場合に、リンク帯域幅やフロー数を送信元に通知し、従来の TCP Reno のウィンドウ制御に利用することで帯域の利用率とフロー間の公平性改善を目標としたものである。XCP の実装上の問題を解決するため、トランスポート層そのものの置き換えを行わず、TCP Reno の輻輳ウィンドウ制御に下位レイヤの情報を利用する形態とした。その結果 XLBA は、キューサイズが閾値に達した際に通知を行い、ウィンドウ制御を開始するため、制御が遅れ帯域利用率が他方式よりも低下した。そこで制御が遅れる問題を改善し、ウィンドウサイズの拡大を高速化した XLBABI (Cross-Layer Bandwidth Assignment with Buffer Size Indication) を提案した。

シミュレーションの結果、XLBABSI は、XCP よりも帯域利用率、公平性ともに向上した。XLBABSI の制御方法は、ボトルネックリンクとなる中継ノードからの通知を利用してトラフィックの制御ができる、トラフィック送信元は通信の最適値を最短経路で取得できる。そのため、フィードバックが短時間になり、収束も早い。そして、RTT を利用して間接的に輻輳を推測する FAST TCP やフィードバック制御を用いる XCP よりも、安定したトラフィックを得ることが可能である。シミュレーションの結果、XLBABSI は、XCP よりも帯域利用率、公平性ともに向上した。XLBABSI の制御方法は、ボトルネックリンクとなる中継ノードからの通知を利用してトラフィックの制御ができる、トラフィック送信元は通信の最適値を最短経路で取得できる。そのため、フィードバックが短時間になり、収束も早い。そして、RTT を利用して間接的に輻輳を推測する FAST TCP やフィードバック制御を用いる XCP よりも、安定したトラフィックを得ることが可能である。これによりリンクの遅延が大きい場合やフローが短時間で複数生起する場合でも帯域利用率と公平性の性能低下を避けることができた。

また、既存の TCP にクロスレイヤで得られた情報を利用できる機能を付加することにより、実現性を高め、帯域利用率の向上と TCP フローの公平性を高めることができるので、展開可能性の高い方式である。

これによりリンクの遅延が大きい場合やフローが短時間で複数生起する場合でも帯域利用率と公平性の性能低下を避けることができた。

論文内容要旨（英文）

氏名 工藤 智子



論文題目 A Study on cross-layer flow control with bandwidth assignment

In the recent years, Internet traffic has increased with the greater use of smartphones as well as the spread of flat-rate services and cloud-based services. Though access network infrastructure has been improved, band utilization efficiency must be enhanced with regard to traffic increase rate. This requires improving bandwidth utilization of TCP that accounts for more than 80% traffic.

Many TCP alternatives such as loss-based, delay-based, or hybrid schemes were so far proposed to improve bandwidth utilization even in broadband high-latency environments.

On the other hand, cross-layer schemes such as Explicit Congestion Notification (ECN) and eXplicit Control Protocol (XCP) using lower layer information in transport layer were proposed. Implementation of ECN defined in RFC 3168 gains momentum; on the other hand, XCP has stopped at the research stage because of the need to substitute transport layer and to install XCP routers.

We proposed and explored cross-layer bandwidth assignment (XLBA) to fairly allocate bandwidth through cross-layer control. This method is aimed to improve bandwidth utilization and fairness among flows; specifically, when queue size in a repeater exceeds a threshold, the source is notified about link bandwidth, number of flows, etc., and conventional window control of TCP Reno is applied. As a result, control delays occurred, and bandwidth utilization declined as compared to other methods.

Therefore, we propose XLBA with buffer size indication (XLBABI) to mend the problem of control delays, and to speed up expansion of window size. With XLBABI control algorithm, traffic can be controlled using notifications from intermediate nodes that become bottlenecks, and a traffic source can acquire optimal communication volume via shortest path. Thus, decline in bandwidth utilization and fairness can be alleviated even if feedback is short and multiple flows occur in a short period. In addition, a more stable feedback is possible as compared to XCP algorithm that also employs feedback control. Moreover, bandwidth utilization and flow fairness can be enhanced in a practical way by providing existing TCP algorithms with additional functions to use cross-layer information.

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

令和2年2月3日

理 工 学 研 究 科 長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 小山 明夫



副査 小坂 哲夫



副査 近藤 和弘



副査 平中 幸雄



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	氏名 工藤 智子		
論文題目	利用帯域幅割り当てを行うクロスレイヤフロー制御に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和2年1月24日～ 令和2年1月31日
論文公聴会	令和2年1月31日	場所	工学部 7号館 301教室
学力確認結果	合格	学力確認年月日	令和2年1月31日

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

現在、ブロードバンドネットワーク利用者の帯域使用量はTCP (Transmission Control Protocol) が全体の約8割を占めている状況にあり、ネットワーク帯域の利用率を高めるためには、TCP利用時における帯域利用率向上が必要不可欠である。本論文では、TCPの帯域利用率の改善と帯域利用の公平性を実現する手法について提案している。提案手法は、複数のプロトコル階層で情報交換を行うクロスレイヤ手法を導入し、送信ノード内のフロー制御エージェントと中継ノード内の監視エージェントで迅速にフロー数、リンクの帯域、バッファ利用情報などをやり取りすることにより、時々刻々変化するネットワーク状況に適応したフローごとに利用できる最適な帯域を導出する新しい手法である。本手法を用いることにより従来手法より、帯域利用率や帯域利用の公平性を改善できることを性能評価で示している。

本論文は6章から構成される。第1章は本論文の序論であり、研究背景、研究目的、研究方針、論文の構成について述べている。第2章では従来利用してきたTCPの概要と幅轍検知の手法として用いられるロスベース、遅延ベース、両方式を組み合わせたハイブリット方式による幅轍検知を利用した各TCPやその問題点について述べている。第3章では、関連研究として既に提案されている2つのフロー制御手法について紹介し考察している。第4章では、本研究で提案するクロスレイヤ手法について、幅轍ウインドウや幅轍検知について検討し、XLBA手法を試作し、シミュレーションによる前評価を行っている。シミュレーションの結果をもとに、XLBA手法を改善したXLBABI手法の原理と、その実現手法について述べている。第5章では、ネットワークシミュレータを利用して、提案手法のXLBABI手法と第2章や第3章で述べた各トランスポート層におけるフロー制御手法との過渡特性を評価し、帯域利用率や公平性の定量的評価を行い、提案手法の有効性を示している。第6章は本論文の総括で、本論文で提案した手法や評価した結果についてまとめ、今後の展望について述べている。

以上、本提案手法の新規性・独創性は、クロスレイヤ手法を導入し、送信ノードと中継ノード間で必要な情報をやり取りすることにより、時々刻々変化するネットワーク状況に適応したフローごとに利用できる最適な帯域を導出する新しい手法を用いることにより、帯域利用率の改善やフローごとの帯域利用の公平性を実現しているところである。さらに提案手法を多数の従来手法と比較して有効性を検証していることなど本研究分野への貢献は多大であると判断できる。また、本論文の成果は、査読付きジャーナルに1報採録され、査読付き国際会議で1件発表されており、当該分野の審査基準をクリアしている。以上を総合的に判断し、学位論文審査で本論文を合格と判定した。

なお、本論文は、研究倫理または利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ありません。

学力確認の結果の要旨

学力確認は、60分の学位論文の口頭発表と30分の質疑応答によって行った。その結果、学位論文の内容および専門知識、関連知識の理解度は十分あり、博士として必要とされる知識と能力は十分あると判断できた。外国語（英語）に関しては、英語による筆頭学術論文1報ならびに国際会議発表1件から英語力に関しても十分あると判断した。以上の学力確認の結果、合格と判定した。