

複数ISPの無線LANを用いた 選択的バイキャストによるSCTP通信の高速化

岡本 昂樹^{1,a)} 山井 成良² 岡山 聖彦² 河野 圭太² 中村 素典³

概要 :

近年、スマートフォンやタブレット PC の普及による無線 LAN の利用増加に伴い、無線 LAN 通信の高速化が求められている。無線 LAN は有線 LAN と比べると他の電波など環境からの影響によりパケットロスが発生しやすく、通信速度の低下が頻繁に発生する。そこで、複数 ISP の無線 LAN を利用できる環境において SCTP を用いてバイキャスト通信を行い、パケットロスを発生しにくくする方法を提案する。但し、すべてのパケットをバイキャストすると輻輳が発生する可能性があるため、パケット再送に関する重要なパケットだけをバイキャストすることにより高速化を図る。提案方法に基づいて試作したシステムを性能評価した結果、パケットロスが高い状況でも通常の SCTP 通信より高速に通信を行うことができ、提案方法の有効性を確認した。

キーワード :

無線 LAN, SCTP, バイキャスト通信, マルチホーミング

High-speed SCTP Communication using Selective Bicastig on Multi-ISP Wireless LAN Environment

KOKI OKAMOTO^{1,a)} NARIYOSHI YAMAI² KIYOHICO OKAYAMA² KEITA KAWANO²
MOTONORI NAKAMURA³

Abstract:

In recent years, with proliferation of smartphone and tablet PCs, speedup of wireless LAN communication is required to deal with increase of traffic in wireless LAN. However, transmission speed through wireless LAN is slow down frequently in comparison with that through wired LAN since packets of wireless LAN frequently drop due to the influence of surrounding environment such as electromagnetic noise. In this paper, we propose a method to mitigate the impacts caused by packet loss by means of SCTP bicasting in wireless LAN multihoming environment served by two or more ISPs. This method bicasts not all packets but only important packets concerning retransmission for efficiency since bicasting all packets would cause congestion. We also implemented a prototype system based on the proposed method. According to the result of performance evaluation experiment, we confirmed the effectiveness of the proposed method by the fact that the prototype system performed faster transmission than normal SCTP transmission even in high packet loss rate environment.

Keywords:

wireless LAN, packet loss, SCTP, multihoming

¹ 岡山大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Natural Science and Technology
Okayama University

² 岡山大学情報統括センター
Center for Information Technology and Management

Okayama University

³ 国立情報学研究所
National Institute of Informatics

a) kouki-o@dist.cne.okayama-u.ac.jp

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット PC の普及による無線 LAN[1] の利用増加に伴い、無線 LAN を利用して通信する際の通信速度の高速化が求められている。一般に無線 LAN は有線 LAN と比較すると低速であるが、その原因として周囲の環境や他の電波など外部からの影響を受けやすい点が挙げられる。無線 LAN 通信は外部からの影響を受けるとパケットロスの発生しやすい状態となり、連続してパケットロスが発生すると特に TCP 通信の速度が低下する。本論文では、連続したパケットロスへの対策を行うことで無線 LAN 通信の高速化を図ることを目的とする。

従来の対策の1つとして、複数の通信回線を用いて通信を行うことで、パケットロスの発生しやすい不安定な回線を避けた通信を可能にするマルチホーミング技術がある。マルチホーミングとは、通信相手までの複数の通信経路を利用可能にし、通信先や途中のネットワークの状態に応じて利用する通信経路を使い分けることにより、通信速度や耐障害性の向上を図る技術である。無線 LAN 通信ではマルチホーミング通信を行う場合、複数の無線 LAN アクセスポイントを用いて通信を行うこととなるが、近年の無線 LAN の利用増加による無線 LAN アクセスポイントの増加により、様々な場所で複数のアクセスポイントを利用可能となって来ている。ただし公衆の無線 LAN 環境では、同一 ISP の無線 LAN アクセスポイントを近くに設置することが少ないことから、複数の ISP の無線 LAN アクセスポイントを利用した通信を可能にすることで、無線 LAN 環境でのマルチホーミング通信を行う。

複数 ISP の無線 LAN を用いたマルチホーミング通信を行うために、本論文ではマルチホーム環境に対応したトランスポート層プロトコルとして提案された、SCTP(Stream Control Transmission Protocol)[2] を利用する。SCTP には一般的な信頼性のあるトランスポート層プロトコルである TCP(Transmission Control Protocol)[3] とは異なり、標準でマルチホーミングを用いたパケットロス対策があることやマルチホーミング通信で生じやすいパケットの順序入れ替えや重複などの対策があるため、より有効なパケットロス対策を行うために利用しようと考えた。また、本研究室では SCTP を用いたマルチホーミング環境での通信方法として、SCTP バイキャスト通信を提案している。この通信方法では、通信する 2 つの端末間で 2 本の通信経路を確保し、2 本の経路に同じデータを送信することでパケットロスへの対策を行う通信方法である。しかし、この通信方法は送信するデータ量が大きくなるため、他の通信を妨害するという問題があった。

そこで本研究では、無線 LAN 環境で複数 ISP を用いた選択的バイキャストによる SCTP 通信の高速化を行う。本

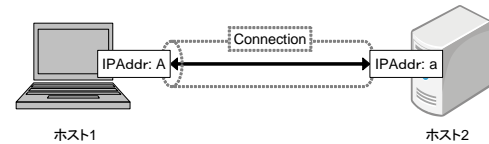


図 1 TCP コネクション

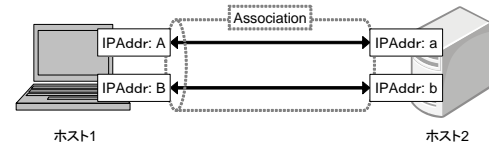


図 2 SCTP アソシエーション

方式では、ロストすると転送速度に大きく影響が出る重要なパケットだけをバイキャストし、重要なパケットの到達率を高めることで SCTP 通信の高速化を行う。本研究では SCTP 選択的バイキャスト通信を設計し、試作環境を構築して性能評価実験を行うことにより、無線 LAN 環境での SCTP 選択的バイキャスト通信の有効性を確認した。

以降、まず 2 章では、SCTP の特徴および従来の SCTP 通信方式とその問題点について述べる。次に 3 章では提案方式の詳細について述べ、4 章では試作環境の構築と評価について述べる。最後に 5 章では結論と今後の課題について述べる。

2. SCTP の特徴とそれを用いた従来の通信方法

本章では SCTP の主な特徴と無線環境における有効性、SCTP を用いた従来の通信方法とその問題点について述べる。

2.1 SCTP の特徴

SCTP とは、輻輳制御を行うことで安定した順序通りのデータ転送を行うトランスポート層のプロトコルである。またマルチホーミング機能により、耐故障性に優れた通信経路を確保する。以下に TCP と比較した SCTP の主な特徴を示す [5][6]。

(1) マルチホーミング

TCP : マルチホーミングの機能は無く、一つの IP アドレスを持ち、一つの TCP ポートによって一つのコネクションを確立する (図 1)。

SCTP : 複数の IP アドレスを持ち、一つの SCTP ポートと一つのアソシエーションを確立する (図 2)。そのため、エンドホストまで到達するための複数の経路を利用できるということである。また、使用する経路に障害が起きた場合でも、IP プロトコルに依存することなく経路の切り替えが可能である。

(2) パケットロスや順序入れ違いに対する処理

TCP : 受信側は ACK により先頭から連続して正し

く受信したセグメントを送信側に通知する。パケットロスや順序入れ違いが発生した場合、最後に正しく受信したセグメントの ACK と同じ ACK を返す重複 ACK によりパケットロスや順序入れ違いを通知する。

SCTP : SACK(Selective ACKnowledgment) により確認応答を行い、正しく受信できなかったセグメントを送信側に通知する。パケットロスや順序入れ違いが発生した場合、発生したセグメントの情報を Gap ACK ブロックとして SACK に追加することにより通知する。

(3) メッセージ指向

TCP : バイトストリーム指向であるため、受け取れるのは中で順序が入れ違ったバイトストリームでしかなく、それを補うために他のレイヤを必要である。

SCTP : UDP と同様にメッセージの境界を維持してパケット化が可能のため、データグラムの構造や順序を見失うことがない。

(4) 重複パケットに対する処理

TCP : 重複したパケットに対しても ACK を送信する。そのため、パケットロスや順序入れ違いに対する処理と同様に重複 ACK が発生する。

SCTP : 重複したパケットのシーケンス番号を SACK に含めて送信する。

(5) 輻輳制御

TCP : 重複 ACK を受信すると輻輳制御を行う。

SCTP : 同一の Gap ACK を含む SACK を受信すると TCP と同様に輻輳制御を行う。

(6) 高速再送と高速回復

TCP : 重複 ACK を 4 回受信すると高速再転送を行う。高速再転送が成功すれば、輻輳ウィンドウは半分の減少にとどめる。

SCTP : 同一の Gap ACK を含む SACK を 4 回受信すると高速再送を行う。SCTP の cwnd は転送量を調整することで高速回復を実現する。

(1) のように、TCP では同時に一つの回線しか利用できないのに対し、SCTP では複数の IP アドレスを利用して二つのエンドホストを結びつけることが可能である。これにより特殊なルータなどを利用することなく、マルチホーム環境を構築することが可能である。無線 LAN 環境では複数のアクセスポイントへアクセス可能な場合が多いため、複数の IP アドレスを利用可能な SCTP は有効であると考えられる。(2) から、パケットロスが発生し高速再送を行う場合、TCP では連続して受け取った最後のパケットから順に再送を行い、SCTP では受信側が受け取ることのできなかつたパケットだけ再送する。このため、SCTP の方が効率よく再送を行うことが可能である。(2) と (3) から、順序入れ違いが発生した場合でも効率よく処理する

ことが可能である。(4) と (5)、(6) から、受信側が同一パケットを受け取った場合、TCP は重複 ACK を送信するため送信側は輻輳制御や高速再転送を行ってしまう。一方 SCTP では、Gap ACK を含む SACK の送信はしないので輻輳制御や高速再送は行われない。

2.2 SCTP を用いた従来研究

1 章で述べたように無線 LAN 環境で通信を行う場合、周囲の影響によりパケットロス率が高くなり、転送速度が低下することが少なくない。そこで、SCTP のマルチホーミング機能を利用することで、パケットロスへの対策を行うという方法が考えられている。本章では、通常の SCTP マルチホーミング通信によるパケットロス対策と、パケットロスへの対策で SCTP のマルチホーミング機能を利用する従来研究について述べる。

2.2.1 SCTP のマルチホーミング通信

2.1 節で述べたように、SCTP には高速再送を行う機能があり、TCP と同様にパケットロスへの対策がある。しかしこの機能だけでは、1 章で述べたような無線 LAN 環境で通信を行う場合に発生する連続したパケットロスにより、大きな遅延が発生してしまう場合がある。その原因は、SCTP や TCP の高速再送方法にある。SCTP や TCP の高速再送では、送信したパケットが損失した場合、受信側が受信できていないパケットがあることを通知するパケット(以下、再送要求パケット)を送信する。送信側は再送要求パケットを受け取り損失したパケットと同じパケット(以下、再送パケット)を再送することで高速な再送を行うことができる。しかし、連続してパケットロスが発生するような環境で高速再送を行おうとしたとき、再送要求パケットや再送パケットも損失してしまう場合がある。こうなると、再送制御が失敗となり大きな遅延が発生し、スループットの低下に繋がる。

そこで、SCTP ではマルチホーミング機能を用いてパケットロスへの対策を行う。SCTP のマルチホーミング機能は障害時に回線を切り替えることで通信を安定させる機能である。そのため SCTP のマルチホーミング通信では、連続してパケットロスが発生した場合でも利用する回線を自動で切り替わることで、通信を継続することが可能である。

しかしこの機能には、パケットロスが発生してから回線が切り替わるまでに時間がかかるという問題があった。この機能で回線を切り替えるためには、複数回パケットロスが発生したことを検知しないといけないため時間がかかったのだと考えられる。そこで著者らは以前に、次節で説明する SCTP バイキャスト通信を提案した [4]。

2.2.2 SCTP バイキャスト通信

バイキャスト通信とは、二つの回線に対して同じデータを送信する通信方法である。パケットロスが多い回線や急

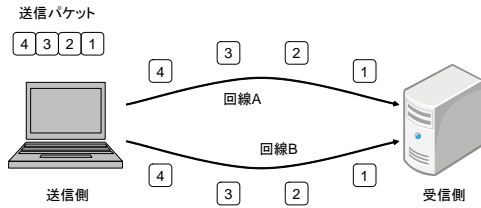


図 3 バイキャスト通信の例

激な品質劣化が発生する回線である場合であっても、二つの回線が相互に補完することによって接続を保ち、パケットロスが少ない通信をすることで結果として高速化を図る。図 3 のように二つの回線で同一のデータを転送するため、一方の回線を流れるパケットがロスした場合でも、もう一方の回線の同一のデータを含むパケットが到達することで再送なしに転送が可能になる。このようなことから、バイキャスト通信は無線 LAN 環境のようなパケットロスの発生しやすい通信環境で、特に有効な通信方法であると考えられる。

バイキャスト通信では同一のパケットが転送されるので重複パケットに対する処理が必要になる。TCP の場合は 2.1 節で説明したように、重複パケットに対して重複 ACK が受信されるため、輻輳制御が働くことでスループットが下がってしまう問題がある。UDP (User Datagram Protocol) [7] の場合、重複パケットに対して輻輳制御を行うことはなく、同じパケットを複数受け取っても全て上位層に送るため、同一のデータが上位層に渡ってしまい整合性が取れないという問題がある。そのため、この問題に対しては、重複パケットに対する処理があり輻輳制御も働かない SCTP が有効である。本研究室では以前に、SCTP バイキャスト通信を行うシステムを作成し性能評価実験を行うことで、SCTP バイキャスト通信によるパケットロス対策の有効性を示した。

バイキャスト通信はパケットロスには強いが、同一のデータを送信するため不要なパケットも多く発生するという問題がある。無線環境でバイキャスト通信を利用する場合、この不要なパケットが同じアクセスポイントを利用する他の端末の通信を妨げることになる。またバイキャスト通信では、2つの回線に同時にパケットを送信するため、2つの回線の転送速度が同じになる。そのため、2つの回線の転送速度に差がある場合、高速な回線も低速な回線の転送速度に合わせなければならないという問題がある。これは、低速な回線の転送速度より高速な転送速度で転送を行おうとすると、低速な回線で輻輳が発生する可能性が高いためである。

3. 選択的バイキャストによる SCTP 通信

2章で述べたように SCTP を用いた従来の通信方法にはいくつかの問題点がある。本章では、それらの問題点を解

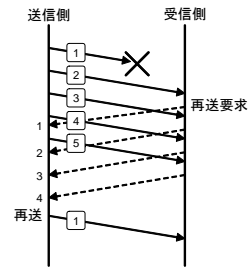


図 4 SCTP の高速再送

決する方法である。選択的バイキャストを用いた転送の高速化について述べる。

3.1 提案手法の概要

2.2 節で述べたように、無線 LAN 環境はパケットロスによる遅延が多いため、回線の切り替えに時間のかかる通常の SCTP 通信ではパケットロス対策の効果が少ない。しかし、無線 LAN 環境でバイキャストを行うと他の通信の妨害になるため、SCTP バイキャスト通信を用いる場合はこの問題を解決しなければならない。そこで、重要なパケットだけをバイキャストすることで不要なパケットを抑え、他の通信の通信の妨害をすることなく高速化を行う選択的バイキャストを提案する。

SCTP では転送中にパケットロスが発生した場合、高速再送の働きによって素早くデータを再転送することが可能である。しかし 2.2.1 節で述べたように、この高速再送が失敗した場合は大きな遅延が発生する。SCTP での高速再送の動きは、図 4 のようにパケットロスが発生すると受信側が送信側に再送要求パケットを送信し、再送側が同じパケットの再送要求を 4 つ受信すると再送パケットを送信する。しかしここで、再送要求が再送パケットのどちらかがロスした場合、再送制御の失敗になり再び再送を行わなければならないため大きな遅延が生じる。無線環境は外部からの影響を受けやすいため、一時的に回線状況が悪くなり連続してパケットロスが発生する可能性がある。このとき、パケットロスが発生した経路に再送要求や再送パケットを送信しても、再びパケットロスが発生する可能性が高いと考えられる。

そこで本論文では、回線が安定している間の通信は 1 本の回線を用いて送受信するが、再送要求パケットと再送パケット (以下、これらをまとめて再送制御パケット) は 2 本の回線にバイキャストする選択的バイキャストを提案する。このようにすることで、高速再送の成功率が高く他の通信の妨害の少ない通信を行うことが可能であると考えられる。

3.2 試作システムの設計

本節では選択的バイキャスト通信の試作システムの設計を述べる。試作システムは提案手法である選択的バイキャスト通信の有効性を確認するために作成する。そのため、

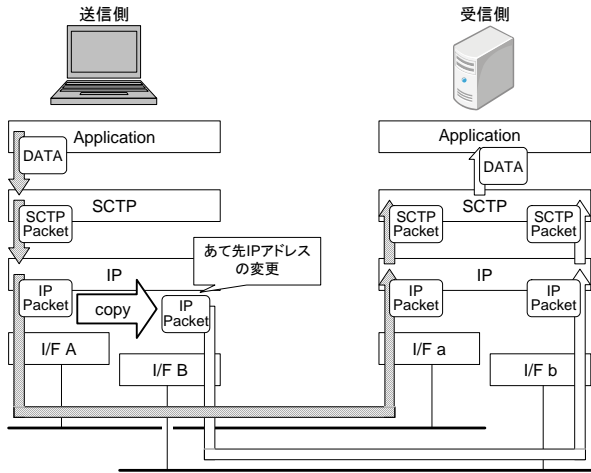


図 5 選択的バイキャストの方法

選択的バイキャストを SCTP 内の機能として実装するのではなく、簡単に実装可能な別のプログラムを作成して実装する。またこの方法では、再送制御パケットの判別を行う必要があるため、その方法についても説明する。

3.2.1 選択的バイキャストの方法

SCTP は、一つのアソシエーションであれば送信元アドレスや宛先アドレスを指定し、送信することができる。しかし、SCTP にはバイキャスト機能は無く、同時に複数の経路に送信する機能も無い。そこで図 5 のような処理を行い選択的バイキャスト通信を実現する。この例では、送信側と受信側のどちらも二つのインタフェースで一つのアソシエーションを確立する。送信側のデータが、IP 層で IP パケットにカプセル化された後、インタフェースに送出する前に以下のような処理を行う。

- 送信側の IP 層からインタフェース A へ送出されるパケットが再送制御パケットの場合
 - (1) インタフェース A へパケットを送出されるパケットをコピーする。
 - (2) コピーしたパケットのあて先 IP アドレスを IPAddr:D に変更する。
 - (3) 元のパケットをインタフェース A へ、(2) のパケットをインタフェース B へ送出する。
- 送信側の IP 層からインタフェース A へ送出されるパケットが再送制御パケット以外の場合
 - (1) 何にも処理を行わずインタフェース A へパケットを送信する。

このようにすることで、送信側の SCTP パケットがバイキャストされ、受信側の SCTP は一つのアソシエーションに属した重複パケットを受信することになる。SCTP は先に到着した SCTP パケットからデータを上位層に送出し、重複したデータは破棄する。また、2.1 節で述べたように、TCP とは異なり SCTP では重複パケットを受信しても輻輳制御を行わないので、転送速度の低下は起こらな

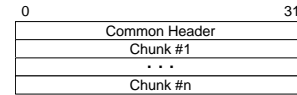


図 6 SCTP ヘッダ

い。そのため重複して受け取ったパケットに対する処理は必要ない。

3.2.2 再送制御パケットの識別

前節で述べた選択的バイキャストの方法を用いるには、パケットの内容が再送制御パケットであるかを SCTP ヘッダを参照して識別しなければならない。そこで、本節ではパケットの内容の識別方法を説明する。

まず、SCTP ヘッダの構造を簡単に説明する。図 6 のように SCTP ヘッダは 1 つの共通ヘッダといくらかのチャンクで構成される。共通ヘッダには送信元、宛先ポート番号やパケット全体の情報が含まれる。チャンクはペイロードデータやイニシエーションなどのパケットの内容が入る部分である。

次に、再送制御パケットの識別方法を述べる。SCTP の再送要求パケットは SACK パケットの 1 種で、再送パケットは DATA チャンクを含むパケットの 1 種である。そして、パケットの内容は SCTP ヘッダのチャンクフィールドにあるチャンクタイプを参照することで、DATA チャンクを含むパケットや SACK パケットであるかを識別することはできる。しかし、チャンクタイプを参照しても SACK パケットが再送要求パケットであることや、DATA チャンクを含むパケットが再送パケットであることは識別できない。

まず、再送要求パケットの識別方法を述べる。2.1 節でも述べたように、SCTP ではパケットロスが発生したとき、SACK パケットに Gap ACK ブロックを追加することによって再送要求を行う。そのため、チャンクタイプが SACK でありチャンク内に Gap ACK ブロックを 1 つ以上含む場合、再送要求パケットであると識別する。

次に、再送パケットの識別方法を述べる。再送パケットの DATA チャンクとそれ以外の DATA チャンクには、一度送信したことのある DATA チャンクであるかという違いがある。そのため、送信しようとする DATA チャンクが以前に送信されているかを判断すればよい。SCTP の DATA チャンクには TSN(Transmission Sequence Number) という DATA チャンクに番号を付けるフィールドがある。これは SCTP アソシエーションを通じてカウントされる番号で、パケットロスや順序入れ違いの確認に用いられる。この TSN を参照し番号が小さいものを送信しようとする場合、そのパケットは以前に送信されているパケット、つまり再送パケットだと判断できる。そこで、最後に送信した DATA チャンクの TSN を保持し、その値以下の TSN を持つ DATA チャンクを送信する場合、再送パケットであると

識別する。

しかし、TSN はアソシエーションごとに初期値が決まり別々にカウントされる。そのため、このままでは複数のアソシエーションの処理を行うことができない。そこで、アソシエーションごとに TSN を保持するように変更する。アソシエーションを識別する方法として、SCTP 共通ヘッダにある検証タグを参照する。これは、アソシエーションごとに決まる値で切断されるまで同じものが使われる。この検証タグと TSN を結びつけて保持することで複数のアソシエーションを処理できる。また、TSN はアソシエーション切断時に解放する必要があるので、チャンクタイプを参照しアソシエーションの切断処理を行うチャンクを含むならば検証タグと TSN を解放する。

以上の処理を行うことにより、再送要求パケットと再送パケットを識別することができる。

4. システムの実装と評価

前章で述べた手法が実際に機能するかどうかを検証するため、SCTP 選択的バイキャスト通信を行う試作システムを作成し性能評価実験を行った。本章では提案システムの実装と性能評価実験について述べる。

4.1 提案システムの実装

本節ではサーバとクライアントで SCTP 通信の選択的バイキャストを行うために用いた OS とその機能、選択的バイキャスト通信を行うプログラムの概要を述べる。

- Operating System(OS)

SCTP が標準で利用可能な OS は少ないが、FreeBSD, Linux, Windows, Mac OS などではモジュールを追加することにより利用可能である [8]。本論文では、SCTP が実験的に実装され、提案システムを実装するために必要な機能があることから FreeBSD 8.2-Release を採用した。選択的バイキャスト通信の実現は、FreeBSD の ipfw(8)[9], divert(4)[10] という機能を利用することで送出するパケットをインタラプトし、以下に示すプログラムへ渡すことにより行う。

- SCTP 選択的バイキャスト通信プログラムの概要

- SACK チャンクを含み、Gap ACK ブロックが 1 つ以上あればバイキャストする。
- DATA チャンクを含み、検証タグが保持されているものと一致するならば、それに対応する保持している TSN と比較し、小さければバイキャストし、大きければ TSN を保持し送信する。検証タグが保持されていないものならば、その値と TSN を保持し、パケットを送信する。
- SHUTDOWN, SHUTDOWN チャンクを含むパケットならば検証タグと TSN を解放し、パケットを送信する。

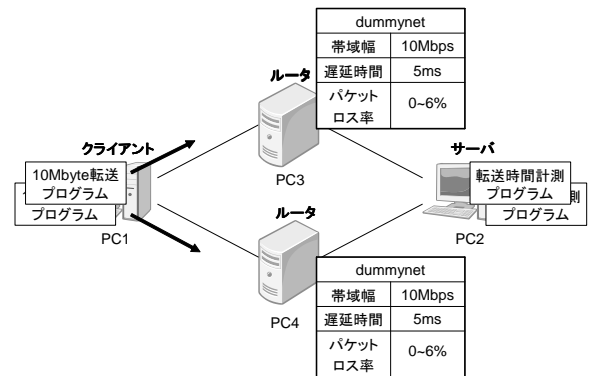


図 7 実験環境

– 上記のチャンクを含まないパケットはそのまま送信する。

このようにすることで、再送制御パケットを識別し、バイキャストすることが可能になる。ただし、選択的バイキャストにより複製されたパケットも ipfw と divert によってプログラムに渡されてしまうため、複製パケットはインタラプトされないようにプログラムに追加した。

4.2 実験環境

本論文では無線 LAN 環境を用いずに実装を行った。無線ネットワーク環境は雑音や干渉など様々な要因でネットワークの状態が変化してしまい、評価を行うのが難しいためである。そこで、本実験では有線環境で無線環境をエミュレートすることにより、実験を行った。

実験を行うにあたり図 7 の実験環境を作成した。無線環境のエミュレートには、FreeBSD に組み込まれている dummynet[11] を利用した。dummynet はマシンを通過するパケットをインタセプトし、帯域や遅延時間、パケット損失率などの制御をエミュレートしたパイプに通すことによって、様々なネットワークを実現することができるシステムである。本論文では図 7 の 2 つのルータで dummynet を起動し制御を行うことで、サーバ、クライアント間の無線 LAN 環境をエミュレートした。実験で使用するアプリケーションプログラムはサーバ・クライアントモデルのプログラムで、クライアント側はサーバへ 10Mbyte のデータを送信するプログラムを作成し、サーバ側はクライアントからのデータを受信し、その転送時間の計測を行うプログラム作成して使用した。本実験ではサーバとクライアントでこれらのプログラムからなるプロセスを複数起動し、クライアントからサーバへの同時アクセス数を変化させることで、回線に流れるトラフィックの異なる場合の転送時間を測定した。また、ルータ 1, 2 で使用する dummynet では無線 LAN 環境をエミュレートするために、帯域を 10Mbps、遅延を 5ms に設定し、パケットロス率は変更できるようにして計測した。今回の計測では 2 本の回線が同程度の品質で

表 1 同時アクセス数とネットワークパラメータ
(パケットロス率変化の評価実験)

同時アクセス数	2	4
転送帯域 [Mbps]	10	10
遅延 [ms]	5	5
パケットロス率 [%]	1,2,3,4,5,6	1,2,3,4,5,6

ある場合を想定して実験するために、2本の回線の設定を同じにして実験を行った。

4.3 性能評価実験

本節では無線 LAN をエミュレートした上で、パケットロス率が高い場合や回線が混雑した場合などのネットワークパラメータを設定して提案方式の性能を評価する。パケットロス率は dummynet の設定により変化させ、回線の混雑は通信を行うプロセス数を変化させて通信相手までの同時アクセス数を変えることで生じさせる。また通常の SCTP 通信と、SCTP 選択的バイキャスト通信で順調に転送を行えているときに利用する回線については、プロセスごとに利用する回線を決め、2本の回線に掛かる負荷を同程度にするために各回線を利用するプロセス数は同じにした。ただしプロセス数が1のときは、2本の回線でそれぞれ実験を行い平均を出した。本実験では、通常の SCTP 通信や SCTP バイキャスト通信と提案手法である選択的バイキャスト通信を比較することで評価を行う。

4.3.1 パケットロス率の違いによる転送時間の変化

本システムは無線 LAN 環境で使用するため、パケットロス率が一定ではないことが考えられる。そこで、パケットロス率が異なる環境での転送時間を測定することにより、無線 LAN 環境での性能を評価する。設定するクライアントからサーバへの同時アクセス数とネットワークパラメータを表 1 に示す。

10Mbyte のデータ転送を行うサーバクライアントプログラムを用いて、通常の SCTP 通信、SCTP バイキャスト通信と提案手法である SCTP 選択的バイキャスト通信で転送を行った。これらの転送をそれぞれ 5 回ずつ転送を行い、算出した各同時アクセス数での平均転送時間から作成したパケットロス率-転送時間のグラフを、図 8 と図 9 に示す。

これらの図を見ると、パケットロス率の低いとき、SCTP バイキャスト通信は選択的バイキャスト通信や通常の SCTP 通信と比較して転送時間が長い。これは、SCTP バイキャスト通信は転送するデータ量が大きいために、各プロセスの転送が妨害し合うからである。しかし、SCTP バイキャスト通信はパケットロスには強いので、パケットロス率が増加しても転送速度が遅くならないことが分かる。このため、パケットロス率が高くなると通常の SCTP 通信や SCTP 選択的バイキャスト通信と比較して転送時間が短くなる。

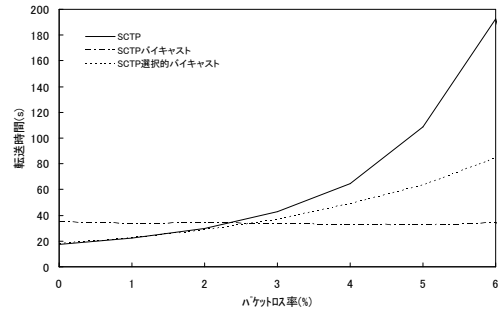


図 8 同時アクセス数 2 のパケットロス率-転送時間グラフ

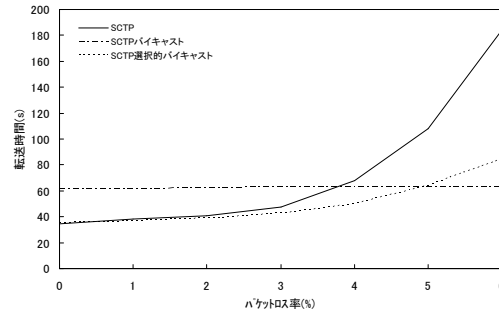


図 9 同時アクセス数 4 のパケットロス率-転送時間グラフ

表 2 同時アクセス数とネットワークパラメータ
(同時アクセス数変化の評価実験)

同時アクセス数	1,2,4,8	1,2,4,8
転送帯域 [Mbps]	10	10
遅延 [ms]	5	5
パケットロス率 [%]	1	5

SCTP 選択的バイキャスト通信を通常の SCTP 通信と比較すると、パケットロス率が低いときはほぼ同じ転送速度である。これは、選択的バイキャストはパケットロス率が低いときは、通常の SCTP 通信と似た動きをしてほとんどバイキャストを行わないためである。またパケットロス率が増えると、どちらも転送時間が増えているが、SCTP 選択的バイキャスト通信の方が転送時間の増加量が少ない。SCTP 選択的バイキャスト通信はパケットロスにより発生する再送制御の成功率を高める方式であるので、通常の SCTP 通信は再送制御の失敗が SCTP 選択的バイキャスト通信よりも多く、転送速度が遅くなっていると分かる。このことから、SCTP 選択的バイキャスト通信は通常の SCTP 通信の問題点であるパケットロスにより発生する、再送制御での遅延への対策になっているということが分かる。

4.3.2 回線の混雑による転送時間の変化

次に、パケットロス率を固定してクライアントからサーバへの同時アクセス数を変化させることで転送速度がどのように変化するかを調べる。設定するクライアントからサーバへの同時アクセス数とネットワークパラメータを表 2 に示す。

10Mbyte のデータ転送を行うサーバクライアントプログラムで、通常の SCTP 通信、SCTP バイキャストバイキャスト通信と提案手法である SCTP 選択的バイキャスト通信で転送を行った。これらの転送をそれぞれ 5 回ずつ転送を行い、算出した各パケットロス率での平均転送時間をから作成したプロセス数-転送時間のグラフを、図 10 と図 11 に示す。

図 10 を見ると、同時アクセス数が 1 の場合を除き、SCTP バイキャスト通信よりも SCTP 選択的バイキャスト通信や通常の SCTP 通信のほうが転送時間が短い。また、SCTP バイキャスト通信は転送時間が最初から増加し続けるのに対し、SCTP 選択的バイキャスト通信と通常の SCTP 通信は同時アクセス数が 2 までは転送時間の増加はほとんどない。つまり、SCTP 選択的バイキャスト通信と通常の SCTP 通信は SCTP バイキャスト通信に比べて他の通信に与える影響が少ないということである。

図 11 を見ると、同時アクセス数が少ないときは SCTP バイキャスト通信が最も高速であるが、同時アクセス数が増えるにつれて転送速度が遅くなり、提案手法や通常の SCTP 通信よりも遅くなってしまふ。また、SCTP バイキャスト通信はパケットロス率が 1% のときと同様に転送時間が増加し続けているが、SCTP 選択的バイキャスト通信と通常の SCTP 通信の転送時間は、同時アクセス数が 2, 4 の辺りで少し短くなり、その後は緩やかに増加している。これは、パケットロス率が 5% の場合、SCTP 選択的バイキャスト通信と通常の SCTP 通信では帯域を使い切っていないということである。そのため、パケットロス率が 5% の場合でも、SCTP 選択的バイキャスト通信と通常の SCTP 通信は SCTP バイキャスト通信に比べて他の通信に与える影響が少ないといえる。

5. むすび

本研究では、無線 LAN 環境のような転送帯域が狭く、パケットロス率が増えやすいネットワーク環境において、パケットロスに強く他の通信の妨害をしないことで高速な通信を可能にする SCTP 選択的バイキャスト通信を提案した。また、提案方式に基づいて実装した試作環境を用いて性能評価実験を行い、パケットロス率が低い環境では他の通信の数にかかわらず通常の SCTP 通信と同性能であることを確認した。また、パケットロス率の高い環境では他の通信が多い場合は SCTP バイキャスト通信ほどではないが通常の SCTP 通信よりは高速で、他の通信が多いと SCTP バイキャスト通信よりも高速になることも確認した。そのため、パケットロス率が増加しても高速に通信が可能で、他の通信へ与える影響も少ない通信方式であると確認することができた。

今後の課題点としては、今回の実験では同じ転送帯域の回線 2 つを用いて実験を行ったので、異なった転送帯域の

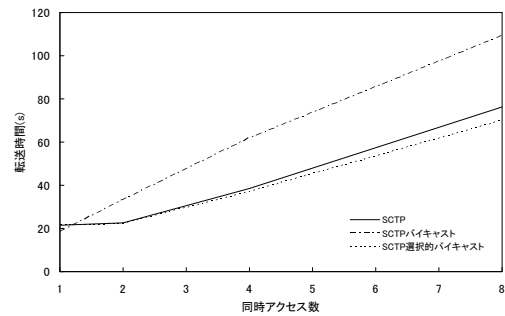


図 10 パケットロス率 1% のプロセス数-転送時間グラフ

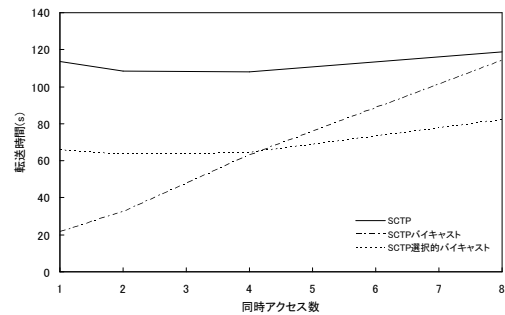


図 11 パケットロス率 5% のプロセス数-転送時間グラフ

回線を用いた場合の性能評価実験が挙げられる。また、今回は 1 台の PC で複数のプロセスを動かすことによって他の通信への影響を確認したが、複数台のクライアント PC を用いて通信を行った場合の実験も必要である。そして、有線 LAN 環境での無線 LAN 環境のエミュレートではなく、実際に無線 LAN 環境を用いて性能を評価する必要がある。

参考文献

- [1] IEEE 802.11 standard, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Higher speed Physical Layer (PHY) extension in the 2.4 Ghz band, Feb. 2000.
- [2] R.Stewart, Ed., "Stream Control Transmission Protocol", RFC 4960, 2007.
- [3] J.Postel, "Transmission Control Protocol", RFC 793, 1981.
- [4] 平山宏人, "バイキャスト通信による遠隔医療用高品質静止画転送の高速化", 岡山大学通信ネットワーク工学科平成 20 年度修士学位論文, 平成 21 年 2 月.
- [5] L.Ong "An Introduction to the Stream Control Transmission Protocol (SCTP)", RFC 3286, 2002
- [6] M.Tim Jones, "Better networking with SCTP", <http://www.ibm.com/developerworks/linux/library/l-sctp/>.
- [7] J.Postel, "User Datagram Protocol", RFC 768, 1980.
- [8] Randall Stewart's website, <http://www.sctp.org/>.
- [9] Ugen J.S.Antsilevish, Poul-Henning Kamp, Alex Nash, Archie Cobbs, Luigi Rizzo, "IPFW(8)", FreeBSD System Manager's Manual, 2010.
- [10] Archie Cobbs, "DIVERT(4)", FreeBSD Kernel Interfaces Manual, 2004.
- [11] Luigi Rizzo, "DUMMYNET(4)", FreeBSD Kernel Interfaces Manual, 2002