iSCSI 複数コネクションの多重度制御によるスループット最大化手法

井上　史斗† 　大崎　博之† 　野本　義弘†† 　今瀬　真†

† 大阪大学 大学院情報科学研究科
〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5
†† 日本電信電話株式会社 NTT サービスインテグレーション基盤研究所
〒 180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11
E-mail: †{f-inoue,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp, ††nomoto.yoshihiro@lab.ntt.co.jp

あらまし　本稿では、広域・広帯域ネットワークにおいて、iSCSI のスループットを最大化する複数コネクションの多重度制御機構 iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning) を提案するとともに、その有効性を実験によって示す。近年、SAN (Storage Area Network) を構築するためのプロトコルとして、コストの低さ・既存のインフラ流用の容易さなどから iSCSI が注目されている。しかし、広域・広帯域ネットワークにおいて iSCSI のスループットが低下するという問題が指摘されている。iSCSI は、一つの iSCSI セッション内に複数のコネクションを確立しデータ転送を行なう複数コネクション機能をサポートする。しかし、これが有効に機能するためには、複数コネクションの多重度をネットワーク環境に応じて適切に設定しなければならない。そこで本稿では、ネットワーク環境に応じて複数コネクションの多重度を自動的に調整する機構 iSCSI-APT を提案する。さらに、実装した iSCSI-APT を用いた実験により、iSCSI-APT は iSCSI スループットを最大化できることを示す。
キーワード　iSCSI (Internet Small Computer System Interface)、複数コネクション、スループット最大化、広域・広帯域ネットワーク、並列 TCP コネクション、iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning)

On Maximizing iSCSI Throughput Using Multiple Connections with Automatic Parallelism Tuning

Fumito INOUE†, Hiroyuki OHSAKI†, Yoshihiro NOMOTO††, and Makoto IMASE†

† Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 560-8531, Japan
†† NTT Service Integration Laboratories, NTT Corporation
9-11 Midori-Cho 3-Chome, Musashino-Shi, Tokyo 180-8585, Japan
E-mail: †{f-inoue,oosaki,imase}@ist.osaka-u.ac.jp, ††nomoto.yoshihiro@lab.ntt.co.jp

Abstract　In this paper, we propose an iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning) that maximizes iSCSI throughput in long-fat networks. Through experiments with our iSCSI-APT implementation, we demonstrate the effectiveness of our iSCSI-APT. In recent years, as a protocol for building SANs (Storage Area Networks), iSCSI has been attracting attention for its low cost and compatibility with existing networking infrastructure. However, it has been known that iSCSI throughput degrades in a long-fat network. iSCSI supports a feature called multiple connections, which transfers data over multiple TCP connections in an iSCSI session. However, for utilizing this feature effectively, the number of multiple connections must be appropriately configured according to the network status. In this paper, we therefore propose the iSCSI-APT that automatically adjusts the number of multiple connections according to the network status. Through experiments using our iSCSI-APT implementation, we demonstrate that iSCSI-APT maximize iSCSI throughput .
Key words　iSCSI (Internet Small Computer System Interface), Multiple Connections, Throughput Maximization, Long-Fat Network, Parallel TCP connections, iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning)

1 はじめに

近年、ネットワーク技術の急速な発展・普及に伴い、ネットワークを経由して、遠隔地にデータをバックアップすることが現実的となっている。企業が取り扱うデータ量は増大を続ける一方であり、データバックアップの重要性がますます高まっている。特に、災害等に備えるため、遠隔地へのデータバックアップの重要性が高まっている。遠隔地へのデータのバックアップには、ストレージをネットワーク化した SAN (Storage Area Network) の利用が期待されている。

SAN を構築するためのプロトコルとして、コストの低さ・既存のインフラ流用の容易さなどから、IP ネットワーク上で利用できる iSCSI (Internet Small Computer System Interface) [1] が注目されている。iSCSI は、2004 年に IETF において標準化されたプロトコルであり、近年普及が急速に進んでいる。iSCSI を用いることにより、SCSI デバイスを TCP/IP ネットワークを介して接続することができる。iSCSI 層は、SCSI 層と TCP 層の間に位置付けられている。このため、iSCSI を用いれば、SCSI プロトコルを利用する既存のアプリケーションを変更することなく、遠隔地の SCSI ストレージにアクセスすることが可能となる。

iSCSI は、TCP (Transmission Control Protocol) を用いて通信を行うため、広域・広帯域ネットワークにおいてスループットが低下するという問題が指摘されている [2]。iSCSI を用いて、遠隔地へのバックアップなどの連続的なデータ転送を効率的に行なうためには、広域・広帯域ネットワークでの iSCSI のスループットの低下を防ぐことが不可欠である。

多くの場合、iSCSI のスループットが低下する問題は、TCP そのものの問題に起因している。広域・広帯域ネットワークにおける TCP のスループット低下は既知の問題であり、さまざまな解決方法がこれまで提案されている [3, 4]。これまでの検討の結果、我々は、広域・広帯域ネットワークにおける TCP のスループット低下を防ぐ手法として、並列 TCP コネクションが有望であると考えている。[5, 6]

iSCSI は、一つの iSCSI セッション内に複数のコネクションを確立しデータ転送を行う複数コネクション機能をサポートする [1]。iSCSI の複数コネクションを利用すれば、TCP コネクションが並列に確立され、iSCSI のスループットが向上すると期待される。しかし 2 章で述べるように、実際には必ずしも iSCSI のスループットが向上するとは限らない。状況によっては、iSCSI の複数コネクションを利用することにより、逆に iSCSI のスループットが低下してしまう。

iSCSI の複数コネクションが有効に機能するためには、複数コネクションの多重度 (並列 TCP コネクション数) を、ネットワーク環境に応じて適切に設定しなければならない [5]。

そこで本稿では、ネットワーク環境に応じて複数コネクションの多重度を自動的に調整する機構 iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning) を提案する。iSCSI-APT は、遠隔地へのデータバックアップのような、連続的なデータ転送を対象とする。iSCSI-APT は、iSCSI のスループットが最大化されるように、ネットワークの状況に応じて複数コネクションの多重度を自動的に調整する。iSCSI-APT は iSCSI イニシエータ側で動作し、iSCSI ターゲット側への変更は不要である。我々は、iSCSI のソフトウェア実装 [7] に含まれる iSCSI イニシエータに iSCSI-APT を実装した。本稿では、実装した iSCSI-APT を用いた実験により、iSCSI-APT の性能を定量的に評価する。その結果、iSCSI-APT は、ネットワーク遅延によらず iSCSI スループットを最大化できることを示す。

本稿の構成は以下の通りである。2 章では、関連研究を紹介する。3 章では、iSCSI の複数コネクション機能を説明する。4 章では、複数コネクションの多重度制御機構 iSCSI-APT を説明する。5 章では、広域ネットワークを模擬した実験により、iSCSI-APT の有効性を定量的に評価する。最後に 6 章において、本稿のまとめと今後の課題を述べる。

2 関連研究

広域・広帯域ネットワークにおいて iSCSI のスループットが低下するという問題は広く知られており、これまでさまざまな解決方法が提案されてきた。

広域・広帯域ネットワークにおける、iSCSI の性能を評価した研究として、文献 [8–10] などが存在する。文献 [8–10] では、それぞれ実験・シミュレーション・解析によって iSCSI の性能評価を行なっている。その結果、iSCSI イニシエータとターゲット間の通信遅延が増加すると、iSCSI スループットが大きく低下することを示している。

特に、iSCSI の複数コネクションの有効性を評価した研究として、文献 [3, 11] などが存在する。文献 [3] では、iSCSI の複数コネクション機能を利用することにより、単一の TCP コネクションを用いた場合と比較して、高い iSCSI スループットを実現できることを示している。しかし文献 [3] では複数コネクションの多重度を 5 に固定したときの結果のみが示されている。文献 [11] では複数コネクションの多重度が iSCSI スループットに与える影響を調査している。その結果、複数コネクションの多重度を大きくすると iSCSI のスループットが増加することが示されている。

iSCSI のスループットの低下を防ぐ方法として、マルチリンクを用いる手法 [12, 13] やトランスポート層プロトコルを変更

する手法 [3] が提案されている。マルチリンクを用いる手法として、文献 [12] では、VPN のマルチホーミング機能を用いて並列 TCP コネクションを複数の経路で確立させ、スループットの向上を図っている。また文献 [13] では、複数の LAN ポートを用いて物理的にリンクを多重化し、TCP コネクションを異なる経路で確立することによりスループットの向上を図っている。トランスポート層プロトコルを変更する手法として、文献文献 [3] では、TCP の輻輳制御アルゴリズムを変更し、複数コネクション間の公平性を改善することにより、iSCSI のスループットの向上を図っている。

しかし、マルチリンクは利用できる環境が限定されてしまう。また、異種のストレージの相互接続を考えると、トランスポート層プロトコルの変更は現実的ではない。そのため、一般的なネットワーク環境で、ネットワーク構成や下位のトランスポート層プロトコルに依存しない方法で、iSCSI のスループットを向上できることが好ましい。

一方、並列 TCP コネクションの有効性を評価した研究が数多く行われている [4, 6, 14–16]。例えば、文献 [4, 6] では、並列 TCP コネクションの性能評価が行われている。その結果、並列 TCP コネクション数が増加するにつれて TCP のスループットは増加するが、並列 TCP コネクション数が多すぎると、逆に TCP のスループットが低下することを示している。つまりこれは、iSCSI の複数コネクションの多重度が大きすぎれば、iSCSI スループットが逆に低下することを意味している。

以上のように、iSCSI のスループットは、ネットワークの遅延が大きくなるにつれ低下してしまう。iSCSI のスループット低下を防ぐために、iSCSI の複数コネクションは有効であるが、ネットワーク環境に応じて複数コネクションの多重度を適切に調整することが重要となる。

3 iSCSI の複数コネクション機能

本章では、iSCSI の複数コネクション機能を簡単に説明する。iSCSI プロトコルの詳細については、文献 [1] を参照されたい。

iSCSI は、一つの iSCSI セッション内に複数のコネクションを確立しデータ転送を行なう複数コネクション機能をサポートする(注1)(図 1) [1]。

iSCSI では、iSCSI コマンドとそれに対する応答が、同一の TCP コネクション上で転送されなければならない (コネクション忠誠 (allegiance) の制限)。これにより、例えば iSCSI をハードウェア実装する時の処理が簡単化される。

なお、iSCSI イニシエータが要求するコネクション数およ

(注1): ただし、実際の iSCSI 実装が複数コネクション機能をサポートするかは実装依存である。

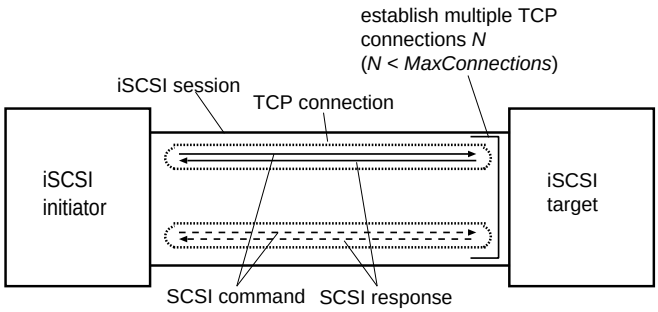

図 1: iSCSI の複数コネクション機能; 一つの iSCSI セッション内に複数のコネクションを確立しデータ転送を行なうことができる

び iSCSI ターゲットがサポートするコネクション数の上限は、iSCSI のセッションパラメータ `MaxConnections` に格納されている。iSCSI パラメータ `MaxConnections` の値は、iSCSI セッションのログイン時 (セッション確立時) に iSCSI イニシエータおよびターゲット間で交渉され、より小さい方の値が使用される。

4 複数コネクションの多重度制御機構 iSCSI-APT

本稿では、iSCSI 複数コネクションの多重度制御機構 iSCSI-APT を提案する。iSCSI-APT は、ネットワークの状況に応じて iSCSI のスループットが最大化されるように複数コネクションの多重度を自動的に調整する。iSCSI-APT は iSCSI イニシエータ側で動作し、iSCSI ターゲット側への変更は不要である。現在、iSCSI ストレージ製品など、多数の iSCSI ターゲットが稼動している。iSCSI-APT は、iSCSI イニシエータ側の変更のみで実現が可能であり、これらの iSCSI ターゲット側を変更することなく導入が可能である。

iSCSI-APT は、GridFTP-APT [5] と同じアルゴリズムを用いて、ネットワーク環境に応じて複数コネクションの多重度を自動的に制御する。GridFTP-APT は、並列 TCP コネクションのスループットが、並列 TCP コネクションの多重度に関して上に凸の関数になるという性質を利用している。GridFTP-APT は、最大化問題の数値計算アルゴリズムを用いて、並列 TCP コネクションの多重度を最適化する手法である。

iSCSI-APT では、遠隔地へのデータバックアップのような、連続的なデータ転送を仮定する。iSCSI は、既存の TCP/IP ネットワークのインフラを利用できるため、特に遠隔地へのデータバックアップのような用途に適している。iSCSI-APT は GridFTP-APT [5] と同様に、大量のデータ転送要求があることを前提とする。特に、大量のデータを連続的に転送する時に、広域・広帯域ネットワークにおけるスループット低下が問題となるため、この前提は妥当であると考えられる。

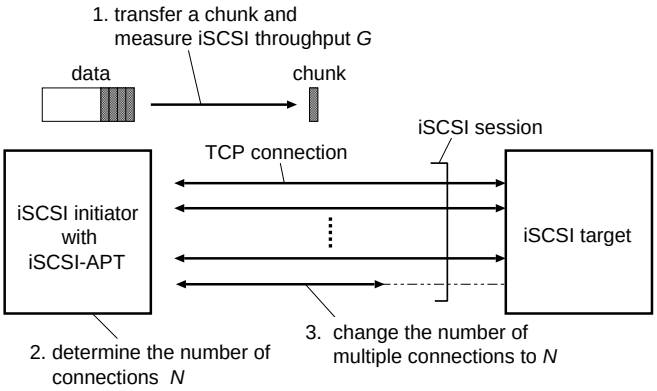

図 2: iSCSI-APT の動作の概要 (iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへの転送時); チャンク転送ごとの iSCSI スループット G を計測することにより、次のチャンク転送に用いる複数コネクションの多重度 N を決定する

まず、iSCSI-APT の動作の概要を説明する (図 2)。

iSCSI-APT は、iSCSI のスループット G を計測しながら、複数コネクションの多重度 N および次の多重度制御までに転送すべきデータサイズ (チャンクサイズ) X を制御する。iSCSI-APT は、転送したいデータを「チャンク」と呼ばれるブロックに分割して転送する。チャンク転送ごとに、iSCSI のスループット G を計測する。チャンクは、複数の iSCSI PDU (Protocol Data Unit) として転送される。iSCSI PDU の大きさは、iSCSI パラメータ `MaxBurstLength` の値が上限となる。チャンク転送後 (チャンクを構成する最後の iSCSI PDU の転送完了後)、iSCSI-APT は複数コネクションの多重度 N を、文献 [5] のアルゴリズムを用いて再計算する。再計算された N の値に応じて、iSCSI コネクションの多重度を変更する。

以上のように、iSCSI-APT では、チャンク転送ごとの iSCSI スループット G を計測することにより、次のチャンク転送に用いる複数コネクションの多重度 N を決定する。以下、iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへのデータ転送を例に取り、iSCSI-APT における、(1) チャンク転送方法、(2) iSCSI スループットの測方法、(3) 複数コネクション多重度指定方法をそれぞれ説明する。

逆方向のデータ転送、つまり iSCSI ターゲットから iSCSI イニシエータへのデータ転送の場合も、同様にして実現が可能である。なお、チャンクサイズ X の制御方法および複数コネクションの多重度 N の制御方法については、文献 [5] を参照されたい。

(1)　チャンク転送方式

iSCSI-APT では、チャンクサイズ X だけのデータ転送を行い、この時の iSCSI スループットを計測することにより、複数

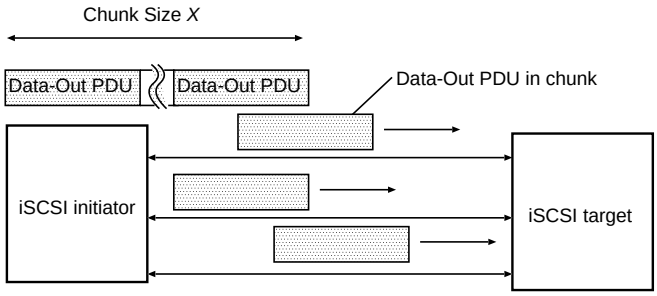

図 3: チャンク転送方法 (iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへの転送時); iSCSI-APT のチャンクは複数の iSCSI PDU として転送される

コネクションの多重度を調整する。チャンクサイズ X は、次回のチャンク転送時の iSCSI スループットを予測することにより、チャンク転送に要する時間ができるだけ一定となるように決定される [5]。

iSCSI-APT は、以下のようにチャンクを転送する。

iSCSI-APT のチャンクは、複数の iSCSI PDU として転送される (図 3)。iSCSI では、Data-Out PDU (iSCSI イニシエータからの送信時) および Data-In PDU (iSCSI ターゲットからの送信時) がデータ転送に用いられる [1]。R2T (Ready To Transfer) PDU への応答として転送される iSCSI PDU の大きさは、iSCSI パラメータ `MaxBurstLength` が上限となる [1]。

iSCSI では、複数コネクション使用時には、通常、各コネクションで並列に SCSI CDB (Command Descriptor Block) の転送が行われる。iSCSI-APT では、全コネクションにおいて転送が完了した iSCSI PDU の大きさの合計を計算する。転送が完了した iSCSI PDU の大きさの合計が、チャンクサイズ X 以上になった時点でチャンク転送が完了したと判断する。

(2)　iSCSI スループット計測方法

iSCSI のスループットは、チャンクサイズ X を、チャンク転送に要した時間 T で除することによって計測する。具体的には、以下のようにスループットを求める。

チャンク転送時間 T は、チャンクを構成する最初の iSCSI PDU が転送されてから、チャンクを構成する最後の iSCSI PDU が転送されるまでの時間 (正確には、最後の iSCSI PDU が転送され、R2T PDU を受信するまでの時間) として計測する (図 4)。

(3)　複数コネクション多重度指定方法

複数コネクションの多重度指定は、チャンク転送完了後に、コネクションの確立・切断を行うことによって実現する (図 5)。複数コネクションの多重度を増加させる場合には、iSCSI イニシエータにコネクション数増加を通知する。逆に、複数コネクションの多重度を減少させる場合には、iSCSI イニシエータに

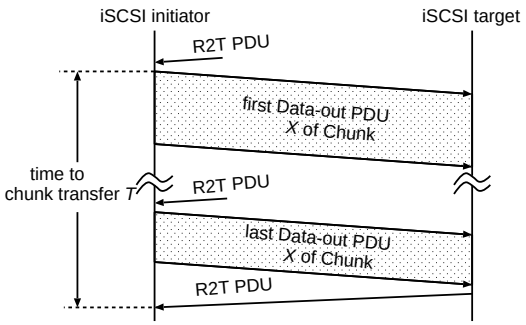

図 4: チャンク転送時間の計測方法 (iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへの転送時); チャンクを構成する最初の iSCSI PDU が転送されてから、チャンクを構成する最後の iSCSI PDU が転送されるまでの時間を計測する

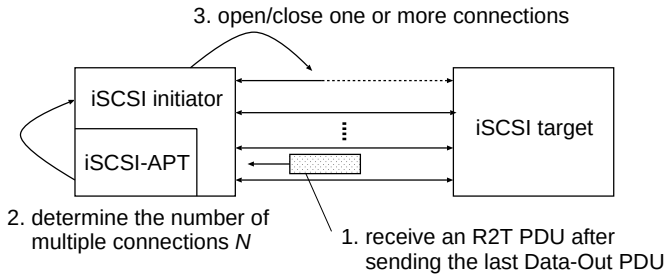

図 5: 複数コネクション多重度指定方法 (iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへの転送時); チャンク転送完了後に、コネクションの増減を iSCSI イニシエータに通知する

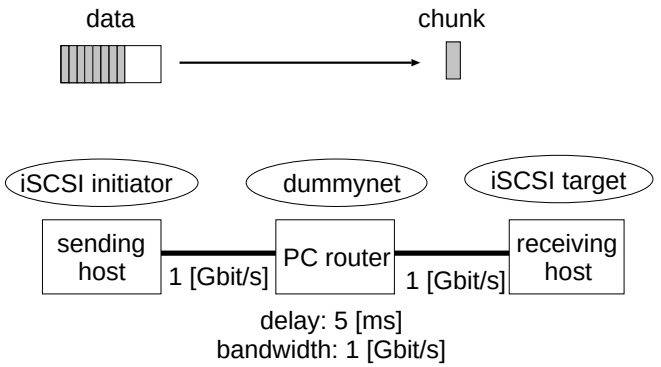

図 6: iSCSI-APT の性能評価に用いたネットワークのトポロジ; iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへ 1 [Mbyte] 単位で連続的にデータ書き込みを行なった

表 1　実験に用いたパラメータ設定

ネットワークエミュレータの帯域	1	[Gbit/s]
ルータのバッファサイズ	500	[packet]
ルータのキュー管理方式	DropTail	
TCP ソケットバッファサイズ	64	[Kbyte]
並列 TCP コネクション数の初期値 [5] N_0	4	
並列 TCP コネクション数の乗算増加量 [5] α	2	
チャンク転送時間の目標値 [5] Δ	3	[s]
MaxConnections	500	
MaxBurstLength	1	[Mbyte]
ImmediateData	no	
InitialR2T	yes	

コネクション数減少を通知する。ただし、複数コネクションの多重度を減少させる場合には、SCSI CDB の転送が完了した後でコネクションが切断される。

5　iSCSI-APT の性能評価

iSCSI-APT の性能を評価するために、実装した iSCSI-APT およびネットワークエミュレータを用いて、広域ネットワークを模擬した実験をした。

実験に用いたネットワークのトポロジを図 6 に示す。iSCSI イニシエータ・iSCSI ターゲット・ネットワークエミュレータには、すべて Xeon 3.06 [GHz] プロセッサ、2 [Gbyte] メモリ搭載の計算機を用いた。iSCSI ターゲットおよび iSCSI イニシエータとして、Debian GNU/Linux 3.1 (Linux カーネル 2.6.8) 上で UNH-iSCSI 1.7.0 を使用した。ネットワークエミュレータとして、FreeBSD 6.1 上で dummynet 1.3.14.1 を使用した。特に断りのない限り、実験では表 1 に示すパラメータを用いた。本実験では、iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへ連続的なデータ転送を行なった。具体的には、iSCSI イニシエータから iSCSI ターゲットへ 1 [Mbyte] 単位で連続的にデータ書き込みを行なった。ディスクアクセスがボトルネックとならないように、iSCSI イニシエータにはランダムなビット列を生成させ、iSCSI ターゲットには受信したデータを単純に廃棄させた。

まず、iSCSI-APT の有効性を確認するため、iSCSI-APT を有効にした場合・無効にした場合それぞれについて、iSCSI のスループットを計測した (図 7)。ネットワークエミュレータの遅延を 5 [ms] と設定し、iSCSI-APT を有効にした場合 (iSCSI-APT)、iSCSI-APT を無効にして複数コネクションの多重度を固定した場合 ($N = 1, 4, 8, 16$) の、iSCSI スループットの時間的変動を示している。

iSCSI-APT を無効にした場合の結果から、複数コネクションの多重度によって、iSCSI のスループットが大きく変化していることがわかる。今回の実験では、複数コネクションの多重度 $N = 4$ の時に、iSCSI のスループットが最大値を取っている。

一方、iSCSI-APT を有効にした場合、転送開始から 20 [s] 程度で複数コネクションの多重度の調整が完了し、iSCSI のスループットが最大化されていることがわかる。なお、ネット

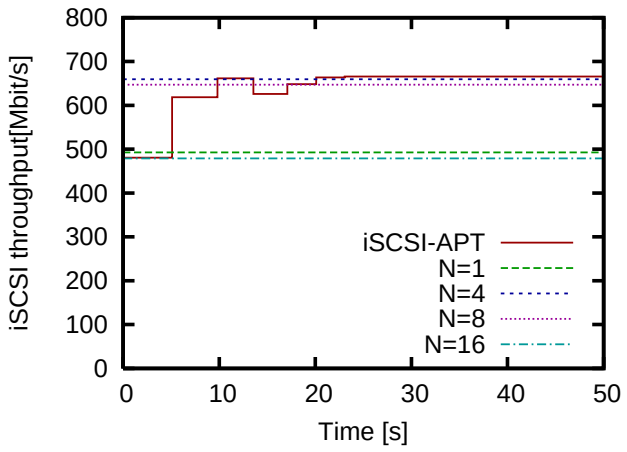

図 7: iSCSI スループットの時間的変動 (ネットワークエミュレータの遅延 5 [ms]); iSCSI-APT を有効にした場合、転送開始から 20 [s] 程度で複数コネクションの多重度の調整が完了し、iSCSI のスループットが最大化されている

ワークエミュレータの帯域が 1 [Gbit/s] であるが iSCSI の最大スループットが 650 [Mbit/s] 程度と低い値になっている。これは、iSCSI-APT 実装のベースとした iSCSI 実装そのものの性能による [17]。

以上の結果から、iSCSI-APT により、複数コネクションの多重度が自動的に調整され、iSCSI スループットが最大化されることが確認できた。

6 まとめと今後の課題

本稿では、ネットワーク環境に応じて複数コネクションの多重度を自動的に調整する機構 iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning) を提案した。また、実装した iSCSI-APT およびネットワークエミュレータを用いて、広域ネットワークを模擬した実験をした。その結果、iSCSI-APT により、複数コネクションの多重度が自動的に調整され、iSCSI スループットが最大化されることが確認できた。

iSCSI-APT は、簡単さ・実装の容易性をも考慮し、GridFTP-APT [5] と同じアルゴリズムを採用した。しかし、GridFTP と iSCSI はプロトコルの設計思想が大きく異なる。iSCSI プロトコルの特性に応じた改良を加えることにより、さらなる iSCSI-APT の性能向上が可能であると考えられる。今後はより iSCSI-APT の高度化およびさまざまなネットワーク環境下での性能評価を行う予定である。

謝　　辞

本研究を実施するにあたり、有意義な議論をしていただいた、大阪大学大学院情報科学研究科の村田正幸氏、伊藤建志氏に感謝する。

文　　献

[1] J. Satran, K. Meth, C. Sapuntzakis, M. Chadalapaka, and E. Zeidner, “Internet Small Computer Systems Interface (iSCSI).” RFC 3720 (Proposed Standard), Apr. 2004. Updated by RFCs 3980, 4850, 5048.

[2] W. T. Ng *et al.*, “Obtaining high performance for storage outsourcing,” in *Proceedings of the 1st USENIX Conference on File and Storage Technologies*, pp. 145–158, Jan. 2002.

[3] B. K. Kancherla, G. M. Narayan, and K. Gopinath, “Performance evaluation of multiple TCP connections in iSCSI,” in *Proceedings of the 24th IEEE Conference on Mass Storage Systems and Technologies*, pp. 239–244, IEEE Computer Society, Sept. 2007.

[4] L. Qiu, Y. Zhang, and S. Keshav, “On individual and aggregate TCP performance,” in *Proceedings of Internetl Conference on Network Protocols*, pp. 203–212, Oct. 1999.

[5] T. Ito, H. Ohsaki, and M. Imase, “GridFTP-APT: Automatic parallelism tuning mechanism for data transfer protocol GridFTP,” in *Proceedings of 6th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid2006)*, pp. 454–461, May 2006.

[6] T. Ito, H. Ohsaki, and M. Imase, “On parameter tuning of data transfer protocol GridFTP in wide-area Grid computing,” in *Proceedings of Second International Workshop on Networks for Grid Applications (GridNets 2005)*, pp. 415–421, Oct. 2005.

[7] “Software implementations of an initiator and a target– UNH-iSCSI.” available at `http://unh-iscsi.sourceforge.net/`.

[8] Y. Lu and D. H. C. Du, “Performance study of iSCSI-based storage subsystems,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, pp. 76–82, Aug. 2003.

[9] Y. Lu, N. Farrukh, and D. H. C. Du, “Simulation study of iSCSI-based storage system,” in *Proceedings of 12th NASA Goddard & 21st IEEE Conference of Mass Storage Systems and Technologies (MSST 2004)*, pp. 101–110, Apr. 2004.

[10] C. M. Gauger, M. Kohn, S. Gunreben, D. Sass, and S. G. Perez, “Modeling and performance evaluation of iSCSI storage area networks over TCP/IP-based MAN and WAN networks,” pp. 915–923, Oct. 2005.

[11] G. Motwani and K. Gopinath, “Evaluation of advanced TCP stacks in the iSCSI environment using simulation model,” *Proceedings of the 22nd IEEE/13th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies (MSST’05)*, pp. 210–217, 2005.

[12] 千島 望, 山口 実靖, 小口 正人, “iSCSI ストレージにおける VPN 複数経路アクセス時 の性能と TCP パラメータ解析,” 電子情報通信学会 第 *18* 回データ工学ワークショップ *(DEWS2007)*, Feb. 2007.

[13] Q. K. Yang, “On performance of parallel iSCSI protocol for networked storage systems,” in *Proceeding of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2006)*, vol. 1, pp. 629–636, Apr. 2006.

[14] H. Sivakumar, S. Bailey, and R. L. Grossman, “PSockets: The case for application-level network striping for data intensive applications using high speed wide area networks,” in *Proceedings of the 2000 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*, Nov. 2000.

[15] T. J. Hacker, B. D. Athey, and B. Noble, “The end-to-end performance effects of parallel TCP sockets on a lossy wide-area network,” in *Proceedings of the 16th IEEE-CS/ACM International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)*, pp. 434–443, Apr. 2002.

[16] D. Lu, Y. Quao, P. Dinda, and F. Bustamante, “Modeling and taming parallel TCP on the wide area network,” in *Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium*, Apr. 2005.

[17] 山口 実靖, 小口 正人, 喜連川 優, “高遅延広帯域ネットワーク環境下における iSCSI プロトコルを用いたシーケンシャルストレージアクセスの性能評価ならびにその性能向上手法に関する考察,” 情報処理学会研究報告データベースシステム *2003*, pp. 137–144, July 2003.