

TCP コネクション多重制御が iSCSI スループットに与える影響

野本 義弘^{†,††} 大崎 博之^{†††} 井上 史斗^{†††} 今瀬 真^{†††}

† 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

††† 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

†† 名古屋工業大学 大学院 工学研究科 〒 466-8555 名古屋市昭和区御器所町

E-mail: †nomoto.yoshihiro@lab.ntt.co.jp, ††{oosaki,f-inoue,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

あらまし 本報告は、広域・広帯域 IP ネットワークを通じた遠隔ストレージ間のバックアップ用途などに適用する iSCSI プロトコルの TCP コネクション数制御機構 iSCSI-APT (iSCSI with Automatic Parallelism Tuning) 適用時の特性解析を行っている。データ転送実行中の多重制御の結果として、全体のスループット最大化を実現する多重度下のコネクション間で、パラメータによってはスループットのばらつきが発生すること。また、iSCSI の転送単位により、ばらつきが調整されることを示す。

キーワード iSCSI, 広域・広帯域ネットワーク, 並列 TCP コネクション, iSCSI-APT, NS-2, シミュレーション

Simulation Study of Multiple TCP Connections Control in iSCSI

Yoshihiro NOMOTO^{†,††}, Hiroyuki OHSAKI^{†††}, Fumito INOUE^{†††}, and Makoto IMASE^{†††}

† NTT Service Integration Laboratories, NTT Corporation

9-11 Midori-Cho 3-Chome, Musashino-Shi, Tokyo 180-8585, Japan

††† Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

†† Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

Gokiso-Cho Showa-Ku, Nagoya 466-8555, Japan

E-mail: †nomoto.yoshihiro@lab.ntt.co.jp, ††{oosaki,f-inoue,imase}@ist.osaka-u.ac.jp

Abstract In this report, we simulate iSCSI session with multiple TCP connections in long-fat networks using NS-2. 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 evaluate the performance iSCSI protocol with iSCSI-APT (Automatic Parallelism Tuning), which automatically adjusts the number of multiple connections according to the network status.

Key words iSCSI, Multiple Connections, Long-Fat Network, Parallel TCP connections, iSCSI-APT, NS-2

1. はじめに

近年の広域・広帯域 (Long-Fat) ネットワークや、広域イーサネットの普及に伴い、企業ユーザを中心に、災害への備え、いわゆるディザスタリカバリへの需要が高まっている。このため、既に企業ユーザに広く普及した IP ネットワークを経由して、遠隔地に設置したストレージ装置に、企業のデータをバックアップすることが広く行われるようになってきた。一方で、企業の取り扱うデータ量は急激な増加を続けており、データバック

アップに対する高速性、信頼性へのニーズはますます高まっている状況にある。データバックアップ方式には、ファイルシステムに管理されるファイルを対象としたバックアップと、DB などファイルシステムに管理されないブロックデバイスを対象としたバックアップがある。後者については、サーバとストレージ間の接続をネットワーク化した SAN (Storage Area Network) が利用されることが多い。とりわけ IP ベースの SAN である IP-SAN を構築するためのプロトコルとして、経済性と既存のインフラとの整合性から、SCSI アプリケーションに対応した

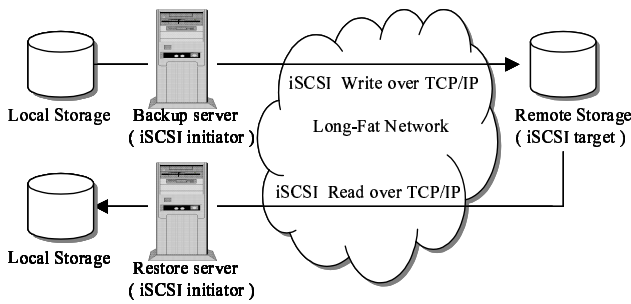


図 1: 想定する利用例: 広域・広帯域 (Long-Fat) ネットワークを経由して、遠隔のストレージとの間で二重化 (RAID0) 構成をとる。ディザスタリカバリ用途に適用される代表的な構成例

iSCSI (Internet Small Computer System Interface) [1] に注目が集まっている。

iSCSI は、2004 年に IETF で標準化されたプロトコルであり、イニシエータ機能のクライアント系 PC への標準搭載や、サーバ系 PC でのターゲット機能サポート、iSCSI 対応ストレージ製品の普及、及び、低廉化が進んでいる。iSCSI を用いることにより、既存の SCSI アプリケーションを IP ネットワークを介して、遠隔接続することができる。例えば、図 1 のように、ローカルストレージと遠隔の iSCSI 対応ストレージを RAID0 (ミラーリング) 構成とすることにより、シンプルで経済効率の高いストレージバックアップシステムを実現することができる。一方で、iSCSI は、下位レイヤに TCP (Transmission Control Protocol) を用いることから、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、高速に、DB やスナップショットデータのバックアップ、リカバリなど連続的なデータ書き込みや読み込みを行うためには、与えられた広域・広帯域ネットワークにおいて高い iSCSI スループットを実現することが重要である。多くの場合、iSCSI スループットの低下要因は、TCP そのものの機能に起因している。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、これまでさまざまな解決方法が提案されている [3,4]。

iSCSI 以外のプロトコルにおいて、本報告同様、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回避する手法として、並列 TCP コネクション利用の研究が行われてきた [5,6]。iSCSI には、1 本の iSCSI セッション内に、複数の TCP コネクションを確立して、データ転送を行う機能が規定されている [1]。この iSCSI の複数コネクション利用を適切に運用すれば、iSCSI の高速化が期待できる。しかし 2. で述べるように、複数コネクションを利用して単純に iSCSI のスループットが向上するとは限らない。利用方法によっては、逆にスループットを低下させてしまう場合がある。iSCSI の複数コネクション利用がスループット向上に寄与するためには、複数コネクションの多重度 (TCP コネクション数) を、与えられた広域・広帯域ネットワークの状況に応じて適切に設定しなければならない [6]。

筆者らは、与えられた広域・広帯域ネットワークに応じて、

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) を提案している [7]。iSCSI-APT は、広域・広帯域ネットワークを介して、遠隔に設置されたストレージ装置間のデータバックアップ (例えば、ミラーリング) を行うような、連続的なデータ転送を主な対象とする制御技術である。iSCSI のスループットが最大化されるよう、広域・広帯域ネットワークの状況、例えば、遅延や実効帯域に応じて、TCP コネクションの多重度を自動的に調整する。iSCSI-APT の実用化に向けては、本アルゴリズムで用いる制御パラメータの最適化、探索アルゴリズムの改良等が必要である。本報告では、iSCSI-APT 適用時の iSCSI スループット特性を、各 TCP コネクションの挙動に着目することにより分析する。

本報告の構成は以下の通りである。2. では、関連研究を紹介する。3. では、iSCSI の複数コネクション機能を説明する。4. では、複数コネクション利用時の iSCSI プロトコルのシミュレーションモデルを説明する。5. では、NS-2 を用いたシミュレーション結果を示し、iSCSI スループット特性を分析する。最後に 6. において、本報告のまとめと今後の課題について述べる。

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 の性能評価が行なわれており、iSCSI イニシエータとターゲット間のネットワーク遅延 (RTT: Round Trip Time) が増大すると、iSCSI スループットが大きく低下することが示されている。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。一般的なネットワーク環境で、ネットワーク構成や下位層のプロトコルに依存することなく iSCSI のスループットを改善する手法としては、文献 [1] に規定される、TCP コネクションの複数利用が有効である。一方、iSCSI プロトコル以外で、複数コネクションの有効性を評価した研究は数多くあり、文献 [4,5,12-14] などが挙げられる。例えば、文献 [4,5] では、並列 TCP コネクションの性能評価が行われており、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、TCP コネクション数が多すぎると、逆に TCP スループットの低下することが示されている。つまり、iSCSI の複数コネクション利用においても、多重度が大きいほど良いということではなく、一定の多重度を超え

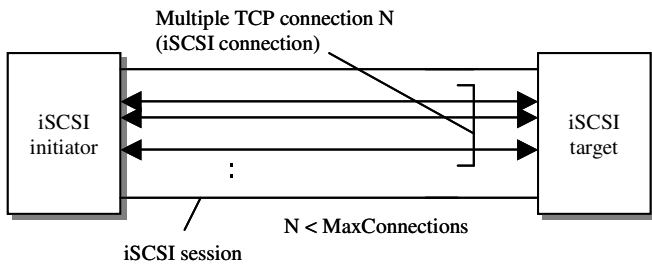


図2: iSCSI の複数コネクション機能; iSCSI セッション内に複数の iSCSI コネクション N を確立し、SCSI データの転送を行なう

ると iSCSI スループットが逆に低下することを意味している。つまり、iSCSI スループットは、ネットワーク遅延 (RTT) が大きくなるにつれ低下する。iSCSI のスループット低下を防ぐための一手法として、iSCSI の複数コネクション利用は有効と考えられるが、ネットワーク環境に応じて、多重度を適切に調整することが重要である。

本報告では、シミュレーションによる iSCSI スループットの実験解析を行う。シミュレーションには、米国 DARPA の研究プロジェクト VINT (Visual InterNet Testbed) の研究成果である NS-2 を使用する。NS-2 を利用した iSCSI プロトコルのシミュレーション手法は、[9-11, 15, 16] で行われている。

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 には、一本の iSCSI セッション内に複数の TCP コネクション (本報告では、iSCSI コネクションと呼ぶ) を確立し、データ転送を行なう機能が規定されている。(図2) [1]。iSCSI では、iSCSI Read などのコマンドとそれに対する応答 iSCSI Data-in などが、同一の iSCSI コネクション内で完結しなければならない (コネクション忠誠 (allegiance) の制限)。

iSCSI イニシエータが要求するコネクション数および 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. シミュレーションモデル

本報告の対象とするコネクション数の自動制御機構 iSCSI-APT の動作概要を説明する (図3)。iSCSI-APT は、iSCSI イニシエータに付加される機能であり、並行して動作する iSCSI Read (Write) の読み出し (書き込み) 時のスループット G を対象とする。そして、スループット G を計測しながら、コネクション数 N をフィードバック制御によって最適化する機構である。スループット G の測定から、iSCSI スループットを最大化するための多重度 N を探索するアルゴリズムは、文献 [6] で提案されているアルゴリズム (黄金探索法) を使用した。ただし、iSCSI-APT におけるチャンクの定義は、文献 [6] の対象

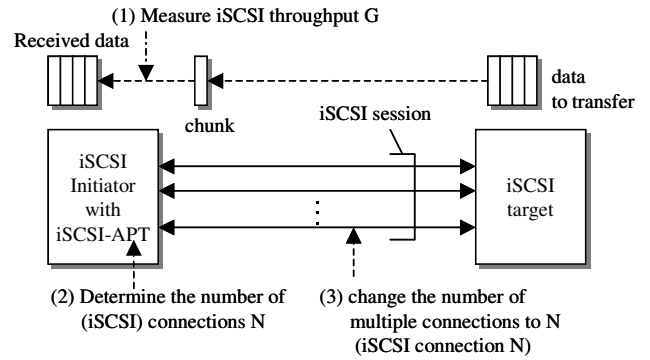


図3: iSCSI-APT の動作概要 (iSCSI ターゲットから iSCSI イニシエータへの転送、シーケンシャルリード時); 転送データ単位 (チャンク) 転送ごとの iSCSI スループット G を計測することにより、次のチャンク転送に用いるコネクション数 N を決定する

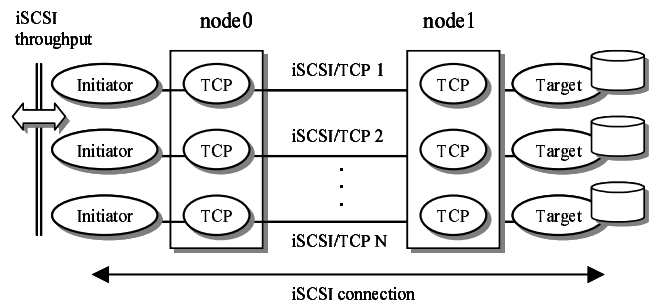


図4: NS-2 を用いた iSCSI コネクション多重モデル;

TCP 層以下は、NS-2 の FullTCP (tahoe) を使用する。

iSCSI イニシエータとターゲットは TCP エージェントと 1 対 1 で接続され、 N 本の iSCSI コネクションが形成される。

とする GridFTP と異なり、スループット G 算出のための計測時間内に転送される iSCSI PDU (Protocol Data Unit) 数の総和であり、iSCSI PDU サイズの整数倍となる。iSCSI PDU のサイズは、iSCSI パラメータ MaxBurstLength が上限になる。本シミュレーションでは、iSCSI PDU サイズを MaxBurstLength に合致させている。

本報告では、特性解析のためにシミュレーター NS-2 を使用し、iSCSI イニシエータとターゲットのモデルは、文献 [15] のコードを一部変更して使用した。文献 [15] では、iSCSI 層をオブジェクト Tcl (OTcl: Tool Command Language) によるスクリプトで記述することで、多段リンク構成をもつ WAN 上での iSCSI スループットを算出するシンプルなモデルを提示している。

本報告で用いるネットワークポロジを図4に示す。ノード0 (イニシエータ) とノード1 (ターゲット/ストレージ装置) が直結され、それぞれに N 個の TCP (tahoe) エージェントが存在する。また、各エージェントに TCP アプリケーションとしてイニシエータ、ターゲットが 1 対 1 で存在する。本報告では、TCP アプリケーションであるイニシエータとターゲットの接続を iSCSI コネクションと呼ぶ。すなわち、本シミュレーションでは iSCSI セッションが 1 本、iSCSI コネクションが N 本存在する。

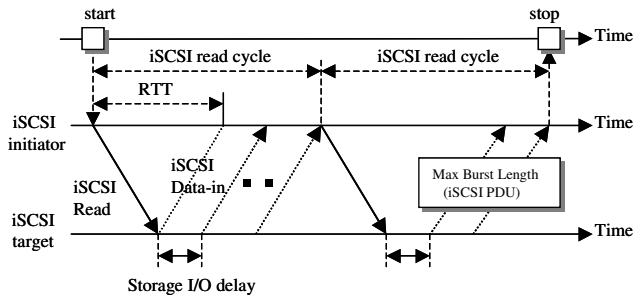


図 5: iSCSI シミュレータによる iSCSI データ転送 (リード) シーケンスモデル; iSCSI 層を OTcl で記述する。コネクション多重では当該シーケンスが N 本並列に動作する。

Storage I/O delay ($T_{I/O}$) = 位置決め時間+回転待ち時間+転送時間

図 5 に、iSCSI セッション内の 1 本のコネクションにおける iSCSI Read シーケンスを示す。OTcl で記述された iSCSI 層は、上位層からの読み出し命令を iSCSI PDU 単位の読み出し命令として、iSCSI ターゲットに発行する。iSCSI ターゲットは、iSCSI PDU 単位で iSCSI イニシエータにデータを転送する。この一連の動作は同一の iSCSI コネクション内で完結しなければならない [1]。接続された複数の iSCSI コネクションに対して、SCSI データをどのように振り分けるかは実装依存だが、本シミュレーションでは、iSCSI スループットを最大化する目的で、連続する iSCSI Read 要求を、1 回目のみ各 iSCSI コネクションに、順に振り分ける。その後、iSCSI Data-in の完了したコネクションに、順に振り分ける処理を行った。なお、図 5 の Storage I/O delay (以降、 $T_{I/O}$) については、各 iSCSI コネクションが仮想的なディスクに 1:1 で接続されるものとして、所定の巾に一樣分布する読み出し遅延時間を適用した。すなわち、本シミュレーションでは、読み出し要求の単一ストレージへの集中により、ストレージがシステムボトルネックにならないものとする。

ところで、一般に、スループット G の計測方法には、チャンクサイズを固定する方法と、計測時間を固定する 2 つの方法、もしくは、その中間的な、GridFTP-APT [6] の採用する、チャンクサイズの逐次設定手法などが考えられる。iSCSI のデータ転送は、連続のデータ転送、かつ、固定長 (iSCSI PDU) 単位のデータ転送である。iSCSI スループットの高速化の観点からは、iSCSI PDU を MaxBurstLength に設定することが望ましい。一方、iSCSI PDU を最大値に設定した場合、TCP コネクション数により、計測時間に大きなばらつきが生じる (図 6)。iSCSI-APT 処理により、例えば、60sec 以内に多重度 N を収束させようとする、 N の遷移する回数を仮に 12 回とすれば、1 回の計測時間を 5sec 以内に抑える必要がある。この条件に適合するチャンクサイズは、図 6 から iSCSI PDU 単位にして 100~200 個程度に制限されることが分かる。チャンクサイズの上限が 200 個以下でのスループットのピーク値は、実際のスループットのピーク値と一致しない可能性があるため (図 7)、iSCSI-APT のスループット最大化のためのアルゴリズムを使用することが難しい。そこで本報告では、スループット G 算出に際して計測時間を固定値とする。連続する計測時間 T_m (固定

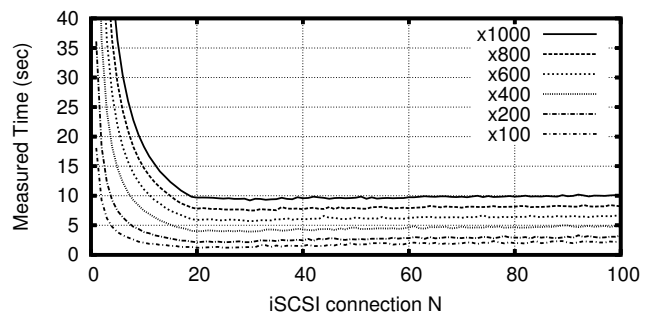


図 6: チャンクサイズ固定時の計測時間 (RTT 10ms, $T_{I/O}$ 0ms); x100 は iSCSI PDU 100 個分を転送した場合を意味する。

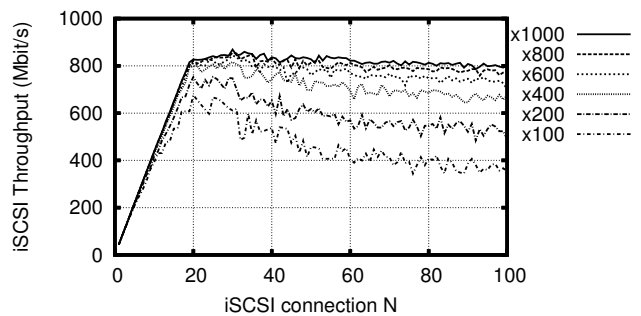


図 7: チャンクサイズ固定時のスループット (RTT 10ms, $T_{I/O}$ 0ms); 転送データ量が少ないとスループットのピークを判断できない

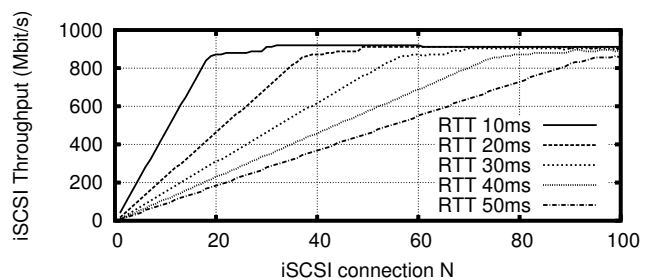


図 8: スタートから 60sec 経過時のスループット ($T_{I/O}$ 0ms); iSCSI コネクション数を固定し、iSCSI スループットの安定する 60sec 経過時のスループット。

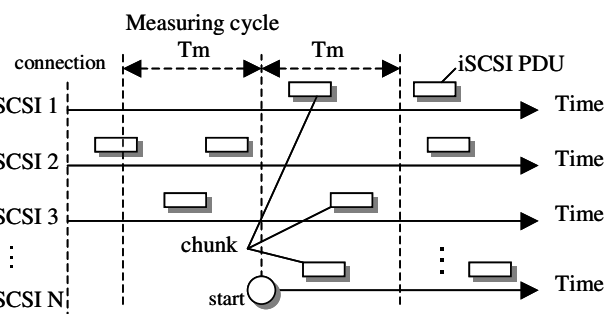


図 9: スループット G の計測; 固定値の計測時間 T_m 中にカウントされる iSCSI PDU 数の合計を不定サイズのチャンクと定義してスループット G を算出する。 ($G =$ 通過した iSCSI PDU 数/ T_m)

値) に受信する iSCSI 受信 (読み出し) データ量を対象として G を算出し、iSCSI-APT の動作シミュレーションを行う (図 9 参照)。iSCSI-APT 制御は、データ転送実行中に多重度 N を変

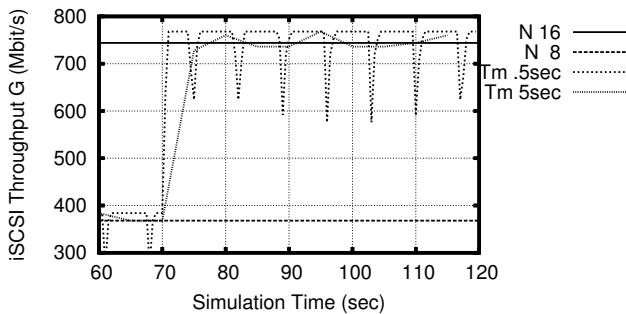


図 10: $N=8$ から $N=16$ へ変更時のスループット ($T_{I/O}=0\text{ms}$);
計測時間 T_m が 1s 以下では G の計測が困難

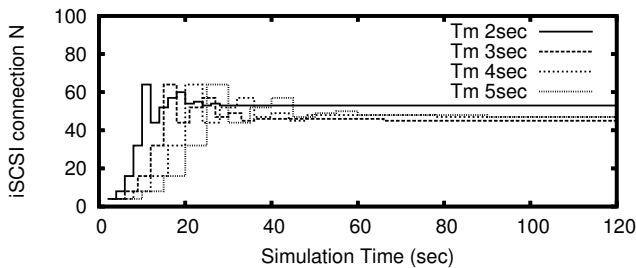


図 11: iSCSI-APT 動作時の iSCSI コネクション多重度 N の収束;
計測時間 T_m をパラメータとした時間遷移を示す

更するため、データ転送中の iSCSI コネクションと、iSCSI-APT 制御により追加される iSCSI コネクションが混在する。そこで、本シミュレーションでは、多重度 N がスタート時点より固定値（具体的には、iSCSI-APT の収束値）の iSCSI データ転送との比較により、iSCSI-APT の特徴を抽出する。

5. シミュレーション結果

表 1 シミュレーションに用いたネットワークパラメータ	
ネットワーク帯域	1 [Gbit/s]
RTT	10 [ms]
iSCSI Max Burst Length	1 [Mbyte]
iSCSI PDU Length	1 [Mbyte]
Storage I/O delay ($T_{I/O}$)	30-40 [uniform] [ms]
多重度 N の初期値	4
リンクキュー長	500 [packet]
リンクキュー管理	DropTail (FIFO)
TCP ソケットバッファサイズ	64 [kbyte]

本シミュレーションでは、表 1 のパラメータを使用する。

図 10 は、計測時間 T_m の長短が、計測するスループットに及ぼす変動を示す。これより、 T_m は数秒程度が必要であり、小さすぎると実際のスループットとの誤差が大きくなり、iSCSI-APT を動作させることが難しいことが分かる。

図 11 は、iSCSI-APT の動作を計測時間 T_m をパラメータとして算出したものである。 T_m の選択により、多重度 N の収束値に数本の違いが発生する。この理由として 2 つが推定できる。一つは、iSCSI スループットのピーク値が先鋭でなく、台形状（複数のピーク）を形成すること、もう一つは図 10 で示

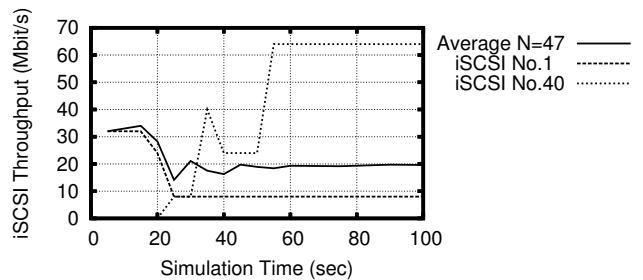


図 12: iSCSI コネクションのスループット比較例 ($N=47$);

図 11 $T_m 5\text{sec}$ の場合の iSCSI コネクション (No.1 と No.40)

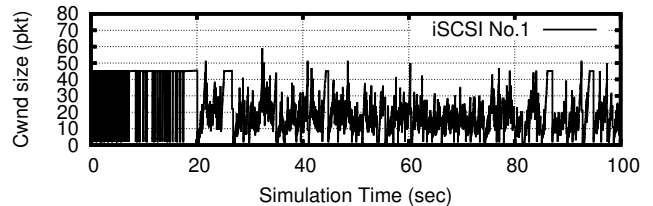


図 13: 図 12 iSCSI No.1 の輻輳 (Cwnd) ウィンドウ ($T_m 5\text{sec}$, $N=47$)

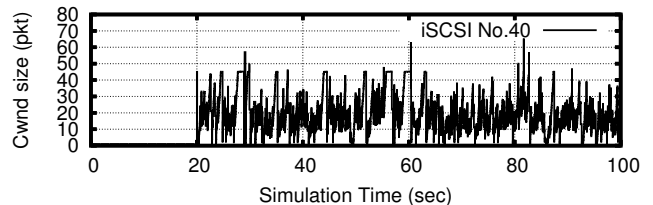


図 14: 図 12 iSCSI No.40 の輻輳 (Cwnd) ウィンドウ ($T_m 5\text{sec}$, $N=47$)

した T_m によるスループット G の変動である。

iSCSI-APT 動作時の各コネクションのふるまいを解析するため、特定の、2 つのコネクションのスループット、輻輳ウィンドウ (Cwnd) 値を図 12~14 に示す。iSCSI No.1 と No.40 の輻輳ウィンドウからはやや No.40 の優位性が見られる。

次に、iSCSI-APT を使用しない場合と使用する場合の、iSCSI PDU の読み出しに要する時間の分布を計測する (図 15 および図 16)。図 15 と比較すると、図 16 は同じコネクション数を用い、iSCSI スループットでもほとんど差がないものの、読み出し遅延の分布は異なる。この傾向は、 $T_{I/O}$ パラメータの中央値を 10ms 増加させても変化が生じなかった。

一方で、上記のばらつき傾向は、iSCSI PDU Length によって変化する。図 17 および図 18 から、iSCSI PDU Length により、iSCSI 読み出し時間のばらつきを調整できることが分かる。当該特性は、読み出し要求順と異なる順に、iSCSI 上位層へデータを送り出すことになるため、上位層でのスループットに影響を与える可能性がある (ただし、書き込みの場合、影響が小さい場合がある)。更に、iSCSI-APT をスタート時点だけでなく、データ転送中の実効帯域変動、例えば、他のトラフィックの流入など、に対して、自動適応 (多重度 N を定期的に再設定) する機能として使用する場合、調整 (切断) するコネクションの選択により、次の多重度 N でのスループットが異なることになるため、システムの安定性に影響を及ぼす可能性がある。

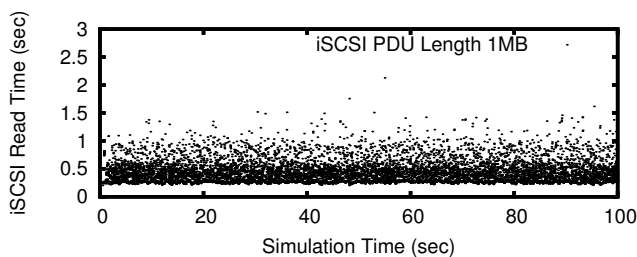


図 15: iSCSI 読み出し時間分布 A (T_m 5sec, $N=47$ 固定); dot が iSCSI PDU 受信を意味し、縦軸が iSCSI Read 発行から受信完了までの時間、横軸が完了時間を示す。

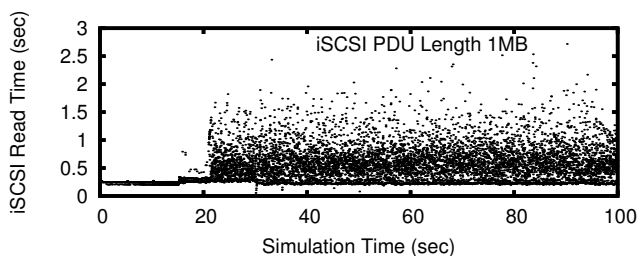


図 16: iSCSI 読み出し時間分布 A (T_m 5sec, iSCSI-APT/ $N=47$ 収束); 図 15 と比較して、読み出し遅延の分散度が大きくなっている。

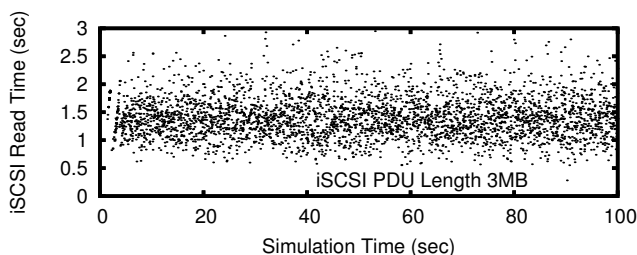


図 17: iSCSI 読み出し時間分布 B (T_m 5sec, $N=53$ 固定); iSCSI PDU Length を図 15 の 3 倍に設定

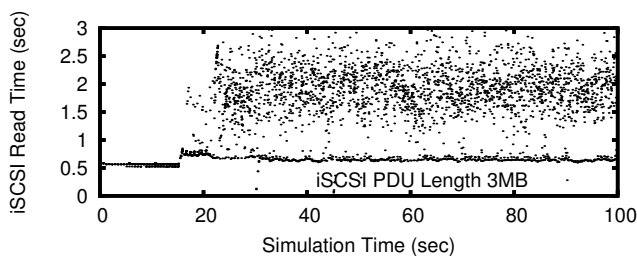


図 18: iSCSI 読み出し時間分布 B (T_m 5sec, iSCSI-APT/ $N=53$ 収束); 図 17 と比較して、読み出し遅延の分散傾向が低下する。一方で、速い・遅い接続の 2 極分離傾向が見える。

6. まとめと今後の課題

本報告では、広域・広帯域ネットワークでのデータバックアップ等の用途を想定した接続数の自動調整機構 iSCSI-APT を対象に、シミュレーション解析を行った。その結果、iSCSI-APT 機能で形成される複数の iSCSI コネクション間では、多重度 N が固定値の場合と比較して、読み出し遅延の分散傾向が拡大することが分かった。当該特性は iSCSI 上位層への影響や、今後、検討予定の帯域変動への自動追従機能の安定性、に対し

て考慮すべき課題となる。今後、読み出し遅延の分散度の改善を含め、明らかとなった特性への対応を、シミュレーション手法により検討する予定である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、日頃ご指導頂く、名古屋工業大学大学院 工学研究科の石橋 豊教授に感謝する。

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 Internet Conference on Network Protocols*, pp. 203–212, Oct. 1999.
- [5] T. Ito, H. Ohsaki, and M. Imase, "On parameter tuning of data transfer protocol GridFTP in wide-area Grid computing," *Proceedings of Second International Workshop on Networks for Grid Applications (GridNets2005)*, pp. 415–421, Oct. 2005.
- [6] T. Ito, H. Ohsaki, and M. Imase, "GridFTP-APT: Automatic parallelism tuning mechanism for data transfer protocol GridFTP," *Proceedings of 6th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid2006)*, pp. 454–461, May 2006.
- [7] 井上 史斗, 大崎 博之, 野本 義弘, 今瀬 真, "iSCSI 複数コネクションの多重制御によるスループット最大化手法," *DEWS2008*, Mar 2008.
- [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] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] M. Mesnier, "NS Modeling of iSCSI," tech. rep., Carnegie Mellon University, Mar 2003.
- [16] S. Vishwakarma and S. Bagaria, "iSCSI Simulation Study of Storage System," *10th International Conference on Computer Modeling and Simulation (uksim 2008)*, pp. 703–707, Apr 2008.