

複数イニシエータ接続 iSCSI ストレージの性能と動作解析に関する考察

山口 実靖[†] 小口 正人^{††} 喜連川 優^{†††}

[†] 工学院大学工学部情報通信工学科 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

^{††} お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

^{†††} 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: †sane@cc.kogakuin.ac.jp, ††oguchi@computer.org, †††kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 本稿では1台のiSCSIターゲットに数台のiSCSIイニシエータが接続された中規模のIP-SAN環境を想定し、各イニシエータから多数のI/O要求が発行された場合のiSCSIストレージ(ターゲット)の性能の評価と、その振る舞いの解析を行う。性能評価の結果、イニシエータ数や負荷プロセスが少数である場合はイニシエータや負荷プロセスの数を増やすとシステム全体の性能は向上するが、イニシエータの数を4台以上や負荷プロセスを100以上に増やすとシステム全体の性能は逆に減少することが分かった。また、IP-SANの動作を解析した結果、多数イニシエータ、多数負荷プロセス時にIP-SANシステム全体の性能が減少する原因は、iSCSI実装における処理時間の増加などが原因であることが分かった。

キーワード ネットワークストレージ, IP ストレージ, IP-SAN

Access Analyses of iSCSI Storage with Multiple Initiators

Saneyasu YAMAGUCHI[†], Masato OGUCHI^{††}, and Masaru KITSUREGAWA^{†††}

[†] Department of Computer Science and Communication Engineering, Kogakuin University 1-24-2
Nishishinjuku, Shinjuku Tokyo 163-8677 JAPAN

^{††} Department of Information Sciences Faculty of Science Ochanomizu University, 2-1-1 Otsuka
Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan

^{†††} Institute of Industrial Science, University of Tokyo 4-6-1 KOMABA MEGURO-KU, TOKYO 153-
8505, JAPAN

E-mail: †sane@cc.kogakuin.ac.jp, ††oguchi@computer.org, †††kitsure@tkl.iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract In this paper, we present the performance measurement of the middle-scale IP-SAN and its performance analyses. The IP-SAN is composed of some initiator machines and one target machine. Many I/O processes (from 1 to 512) are executed. As a result of the measurement, it was found that the total performance increased as num. of initiator machines and num. of benchmark processes increased when num. of initiator machines and benchmark processes was not large. However, the performance declined when it had more than 3 initiators or more than 100 processes. The analyses with the proposed trace system demonstrated that the performance decline was caused by the iSCSI driver implementation.

Key words Network Storage, IP Storage, IP-SAN

1. はじめに

近年、計算機システムの扱うデータ量の増大によりストレージの管理コストが増大し、これが大きな問題となっている。ストレージはバックアップやキャパシティプランニングなどの定期的な管理が必要とされ、一般にストレージの管理コストはストレージの導入コストの6倍から10倍以上と言われている[1], [2]。

ストレージ管理コストの削減手法としてSAN (Storage Area Network) を用いたデータ集約が提案され、大規模な計算機システムを運用する企業や学校などで使用される様になっている。SAN を用いない通常の運用方法では、ストレージデバイスは計算機の周辺機器として扱われ、各計算機に直接接続されている(この接続形態はSANと比較してDAS (Direct Attached Storage) と呼ばれる)。この場合、データのバックアップなどのストレージ管理を各計算機で個別に行う必要があり、多数の計

算機で構成される計算機システムにおいてはストレージ管理コストが高くなる．これに対して SAN を用いてストレージシステムを運用する場合，計算機群が使用するストレージを一カ所に集約し，計算機群とストレージを SAN により接続する．各計算機は SAN を用いてネットワーク上のストレージにアクセスする．この運用形態では，管理者は一カ所に集約されたネットワーク上のストレージの管理のみを行えばよく管理コストは大幅に削減される．

現在，SAN の構築手法としては FC (Fibre Channle) を用いる手法が一般的となっている．しかし，FC を用いる SAN (FC-SAN) の普及に伴い，①FC の導入コストの高さ，②FC 管理技術者の少なさ，③FC の接続距離の限界，④相互接続性，などの問題点も明らかとなり，これら FC-SAN の欠点を解決する SAN として IP-SAN が提案されるようになった．IP-SAN は，Ethernet と TCP/IP を用いて構築する SAN であり，FC-SAN と比較して，①導入コストが低い，②IP 技術者が多い，③接続距離に限界がない，④相互接続性が高い，などの利点がある．IP-SAN は FC-SAN の欠点を克服する次世代の SAN として期待される様になり，現在普及が始まっている段階にある．逆に IP-SAN の欠点としては，① IP-SAN の性能は FC-SAN よりも劣る [3]，② CPU 使用率が高くなる [4]，[5]，などが指摘されておりこれらの問題点の解決がストレージシステムにおける重要な課題となっている．そこで，本稿では後述する iSCSI を用いる IP-SAN システムの性能について考察を行う．また，IP-SAN は低遅延環境においては FC-SAN に匹敵する性能を提供することも可能であるが高遅延環境において性能が大きく劣化する [3] ため，特に高遅延環境に着目し考察を行う．

IP-SAN 用のデータ転送プロトコルとしては，SCSI ベースの iSCSI [6]，FC ベースの FCIP や iFCP などが IETF [7]，SNIA [8]，[9] などにより提案されている．既存の FC-SAN を活用して IP-SAN を構築する場合は FC との接続性がある FCIP や iFCP が適しており，新規に IP-SAN を構築する場合は iSCSI が適していると言える．SAN の導入コストの低下により今後は新規構築の IP-SAN が増加すると考えられ，本稿では iSCSI と Ethernet を用いて構築された IP-SAN に着目し，iSCSI IP-SAN について考察する．

IP-SAN の性能向上の重要性が以前より指摘されているにも関わらず，この実現が困難となっている理由に IP-SAN の構成の複雑さがあげられる．SCSI プロトコルを iSCSI プロトコルの中にカプセル化しストレージアクセスを行う IP-SAN では，プロトコルスタックが SCSI over iSCSI over TCP/IP over Ethernet という複雑な構成となり，さらに SCSI プロトコルの上位に多くの場合はファイルシステム，ブロックデバイスや RAW デバイスが配置される．ストレージアクセスはこれらの層全てを経由して行われるため任意の層が性能劣化原因となる可能性があり，性能について考察を行うにはこれら全ての層の振る舞いを網羅的に把握する必要がある．また，これらの層は OS のカーネル内に実装されているため計算機システムの外部よりシステムの振る舞いを把握することが容易でない．

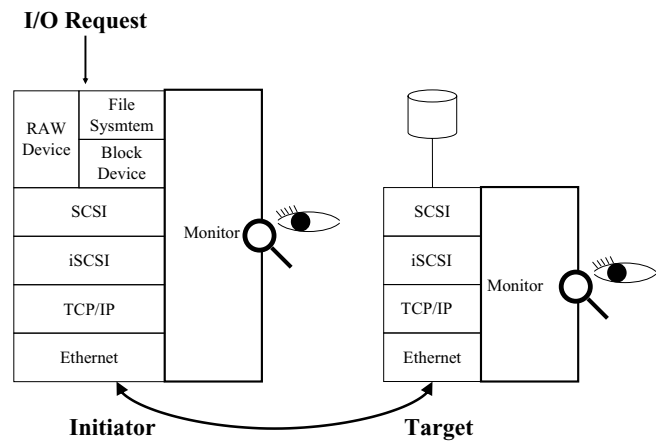


図 1 IP-SAN プロトコルスタックと解析システム

そして，IP-SAN は個別の OS で動作するサーバ計算機とストレージ機器が iSCSI プロトコルを用いて通信を行いながら協調して動作する分散協調システムであるため，サーバ計算機やストレージ機器の一方にのみ着目し性能について考察する手法では不十分となり，両者を統合的に考察することが必要となる．以上にあげた理由により，IP-SAN システムはその動作を把握することが困難となっており，結果として性能劣化原因の発見や性能向上の実現が困難となっていると考えられる．この問題に対して我々は，IP-SAN の全層の動作の観察が可能であり，サーバ計算機とストレージ機器の統合的な振る舞いの把握が可能である IP-SAN トレースシステムを提案した [10]．そして小規模な IP-SAN システムに対する提案システムの適用例を紹介し，提案システムの有効性を示した．本稿では，より規模が大きく，システム内の負荷が高い IP-SAN の動作解析手法を提案し，その解析例の紹介と性能の考察を行う．具体的には，1 台から 5 台の iSCSI イニシエータと 1 台の iSCSI ターゲットで構成される中程度の規模の IP-SAN を構築し，各イニシエータにおいて 1 個から 512 個の I/O プロセスを同時に動作させ (最大で 2560 個の I/O プロセスが同時に動作)，その振る舞いの解析を行い性能に関する考察を行う．

2. 複数イニシエータ接続 IP-SAN 解析システム

提案システムの実装として 1 台の iSCSI ターゲットと最大 5 台の iSCSI イニシエータ群からなる IP-SAN システムを構築した．イニシエータ群とターゲットの間には FreeBSD Dummynet [11] を用いて人工遅延装置を配置し，広域 IP-SAN システムを模擬した．イニシエータ群とターゲットは PC を用いて構築しその仕様は CPU Intel Pentium 4 1.5GHz，メインメモリ 375MB，NIC Intel PRO/1000 Server Adaptor，OS Linux 2.4.18 となっている．また，iSCSI 実装はニューハンプシャー大学 IoL [12] が開発する iSCSI ドライバ 1.5.02 [13] を用いた．

iSCSI を用いる IP-SAN は図 1 の様なプロトコル構成をしており，アプリケーションから I/O 要求が発行されるとイニシエータ機上で (1) カーネルのシステムコール層，(2) ファイルシステム層とブロックデバイス層または RAW デバイス層，(3) SCSI 層，(3) iSCSI 層，(4) TCP/IP 層，(5) Ethernet 層を経

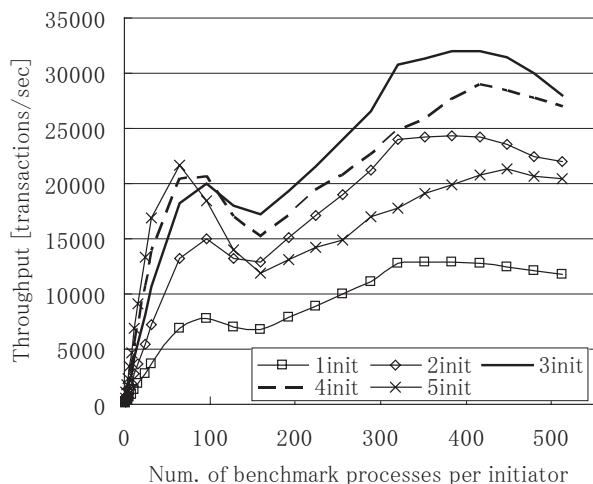


図 2 複数イニシエータ接続の高負荷 IP-SAN システムの性能

由し、ネットワークを越え、ターゲット機上で (6)Ethernet 層、(7)TCP/IP 層、(8)iSCSI 層、(9)SCSI 層を経由し、(10) ストレージにアクセスする。また、その応答は上記の層を逆向きに経由しアプリケーションに伝えられる。我々はカーネルやデバイスドライバに対して動作記録ツールを適用し、図 1 の様に I/O 要求が各層を通過するイベントを記録し、IP-SAN の振る舞いを追跡できる解析システムを構築した。

3. 高負荷時 IP-SAN 性能評価

前章の IP-SAN システムにおいて 1 台のターゲットに対して複数台のイニシエータから同時に多数の微少な I/O 要求を発行しその性能を計測した。具体的には各イニシエータ上で iSCSI 接続の raw デバイスに対して 512 バイトのシステムコール read() を連続して発行するベンチマークプロセスを複数並列に実行させた。ターゲットはファイルモードで動作させ要求データが常にメインメモリキャッシュ上にある状態で計測を行い、イニシエータ台数を 1 台から 5 台に、各イニシエータ上のベンチマークプロセス数を 1 個から 512 個に変化させて計測を行った。また、イニシエータ群とターゲットの間の遅延時間は 4 ミリ秒とした。

上記実験を行い、図 2 の結果を得た。同図の横軸が各イニシエータ上で動作させたベンチマーク数であり、縦軸は全イニシエータの全プロセスの合計速度である (速度は単位時間あたりのシステムコール処理数)。同図より少数ベンチマーク時 (1 個から 100 個程度) はプロセス数の増加に伴い全プロセス合計性能が増加するが、それを越える負荷 (100 個から 140 個程度) を与えると合計性能が逆に減少することが確認された。また、イニシエータ数 3 まではイニシエータ数の増加に伴い全イニシエータの合計性能が増加するがこれを越えると逆に減少することも確認された。

4. IP-SAN システムの動作解析

本章において、提案システムを複数台のイニシエータが接続されている IP-SAN システムに適応し、その動作について考察

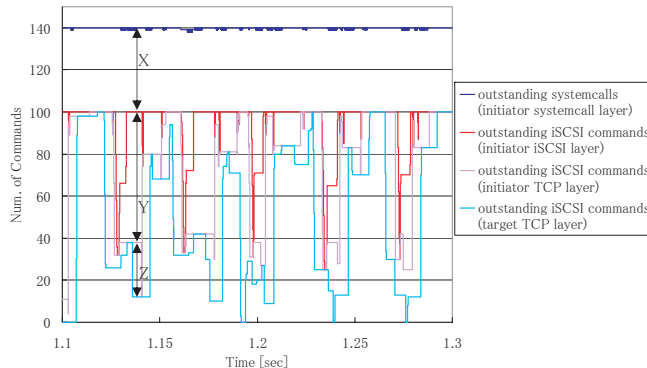


図 4 140 プロセス時の並列処理要求数 (B)

するとともに提案システムの有効性の検証を行う。具体的には、IP-SAN システムの各層の個別の処理時間の調査、負荷の増加に起因する処理時間の増加に関して各層個別の増加量の調査、各層が処理途中として保持している I/O 命令の数の調査を行い性能を劣化させている処理の考察を行う。

提案解析システムを用い前章の実験結果のイニシエータ数 4、プロセス数 140 時の IP-SAN システムの振る舞いを観察し、図 3、図 4 を得た。図 4 は図 3 の一部を拡大したものである (ただし、図 3 では “initiator TCP layer” における命令数が省略してある)。両図は 1 台のイニシエータ計算機から発行された I/O 要求に着目したものであり、処理中のシステムコールの数と、各層において処理中の iSCSI 命令の数の時間変化を表している。前者 (システムコール数) は発行されたが終了していないシステムコールの数を表しており、システムコール層 (図 1 においてファイルシステムより上位の層) において発行されたシステムコールの累積と終了したシステムコールの累積の差により求めることができる。後者 (iSCSI 命令数) は各層が下位層に対して I/O 要求を転送したが応答を下位層より受信していない iSCSI 命令の数を表しており、各層が下位層に転送した I/O 要求の累積数と下位層から受信した応答の累積の差により求めることができる。図内の各層の名は図 1 に対応する。

両図より、140 プロセス並列に実行した場合、140 個のシステムコールが並列に発行されその応答を待っている状態になるが、イニシエータの iSCSI 層は最大で 100 個の iSCSI 命令しか発行されていないことが確認でき、両層の間に並列実行 I/O 要求の数を 100 に制限する箇所が存在することが確認できる。またこれより下位の層 (イニシエータ TCP 層、ターゲット TCP 層) では、並列実行 I/O 数がさらに減少しており、これらは最上位層における並列実行 140 比べ大きく減少していることが確認できる。また、図 4 内の区間 X は “並列実行システムコール数” と “イニシエータ iSCSI 層での並列実行 iSCSI 命令数” の差を表しており、両層の間を通過途中 (あるいは処理が保留されている) I/O 要求の数を表している。同様に区間 Y は “イニシエータ iSCSI 層” と “イニシエータ TCP 層” の間を通過途中の I/O 要求の数である。区間 Z は “イニシエータ TCP 層” と “ターゲット TCP 層” の間を通過途中の I/O 要求の数であり、具体的にはネットワークにおいて転送されている途中の I/O 要

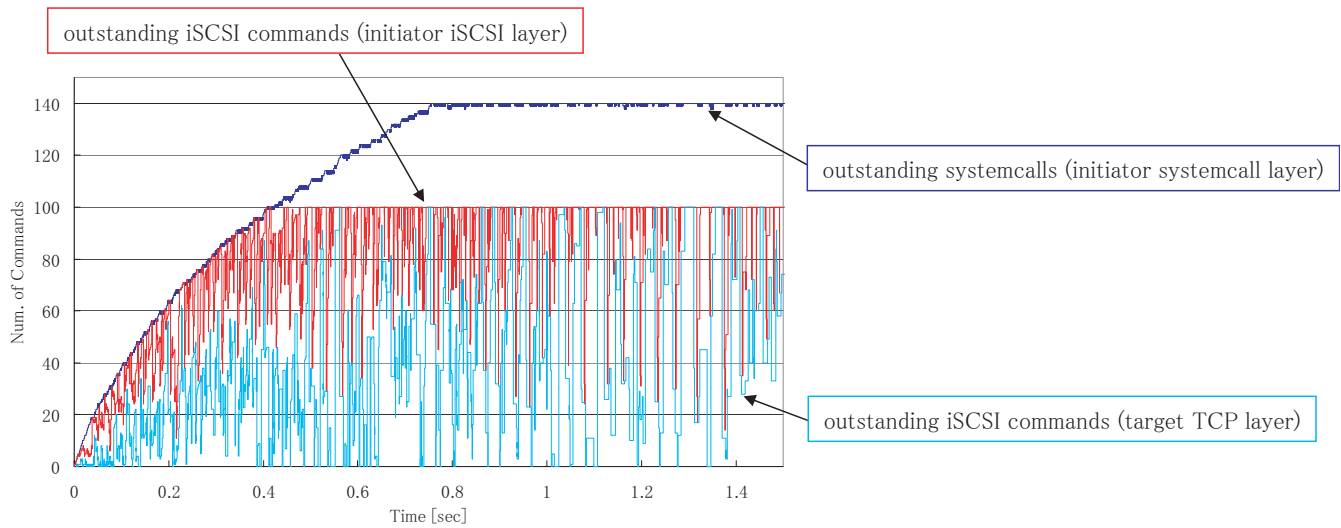


図 3 140 プロセス時の並列処理要求数 (A)

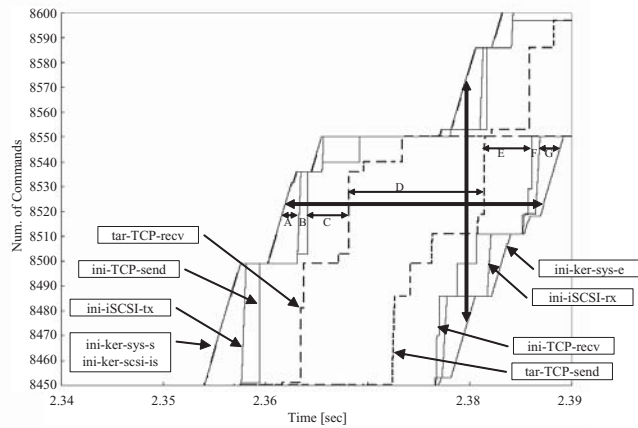


図 5 動作解析 (4 イニシエータ 100 プロセス時)

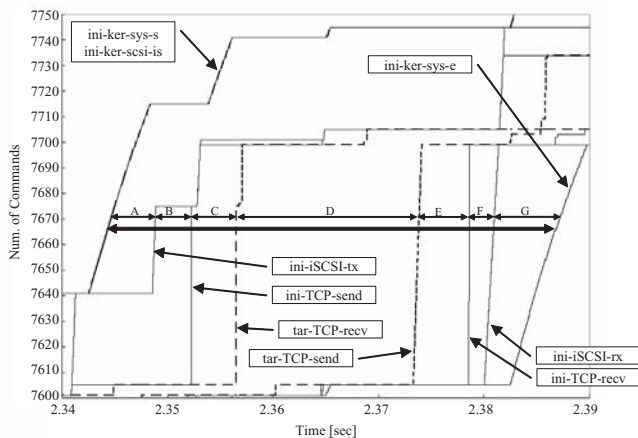


図 6 動作解析 (4 イニシエータ 140 プロセス時)

求の数 (ネットワーク内に存在する I/O 要求の数) である。このように各層において並列実行中の I/O 要求の数を観察することにより、各層間に存在する I/O 要求の数を観察することが可能となり、性能を劣化させている層の考察や各層が並列実行度を減少させている程度を定量的に観察することが可能となる。次に、イニシエータ数 4、プロセス数 100、140 時における

IP-SAN の振る舞いを比較しプロセス数の増加に伴い合計性能が低下する原因を考察する。IP-SAN の各層を通過する I/O 要求の中から特定のイニシエータに関するもののみを抽出し、各層を通過した I/O 要求の累積数の時間変化を図 5、図 6 に示す。図 5 が 100 プロセス時、図 6 が 140 プロセス時の累積通過要求数である。図内の ini-ker-sys-s がイニシエータカーネルにおけるシステムコールの発行、ini-ker-scsi-is がイニシエータカーネルにおける SCSI 要求の発行、init-iSCSI-tx が iSCSI ドライバにおける iSCSI 命令 PDU の送出、ini-TCP-send がイニシエータ TCP における iSCSI 命令 PDU パケットの送出、tar-TCP-recv がターゲット TCP における iSCSI 命令 PDU の受信、tar-TCP-send がターゲット TCP における iSCSI 応答 PDU の送信、ini-TCP-recv がイニシエータ TCP における iSCSI 応答 PDU の受信、ini-iSCSI-rx が iSCSI ドライバにおける iSCSI 応答 PDU の受信、ini-ker-sys-e がイニシエータカーネルにおけるシステムコールの終了を表している。ただし、システムコールの発行と SCSI 命令の発行はほぼ同時であり図内では重なって表現されている。横軸が時刻であり、縦軸は各層を通過した I/O 要求と応答の累積である。

図内に太線で記した水平の両方向矢印の区間があるシステムコールの発行時刻から終了時刻までを表しており、区間 A が SCSI 層による SCSI 命令の発行と iSCSI 層による iSCSI 命令 PDU の送出の間に要した時間であり、以下同様に区間 B が iSCSI PDU の発行と TCP 層のパケットの送出の間の時間、C がパケットのネットワーク転送時間、D がターゲットの処理時間、E がパケットのネットワーク転送時間、F が TCP 層のパケット受信と iSCSI 層の PDU 受信の間の時間、G が iSCSI 層の応答 PDU の受信とシステムコールの終了の間の時間となる。

また、図 5 に太線で記した垂直の両方向矢印の区間は発行されたシステムコール数と終了したシステムコール数の差であるため、現在処理中のシステムコールの数を表しており、以下同様に各階層間の差がその階層間で処理中の I/O 要求数を表している。例えば線 ini-TCP-send と線 tar-TCP-recv の差は、

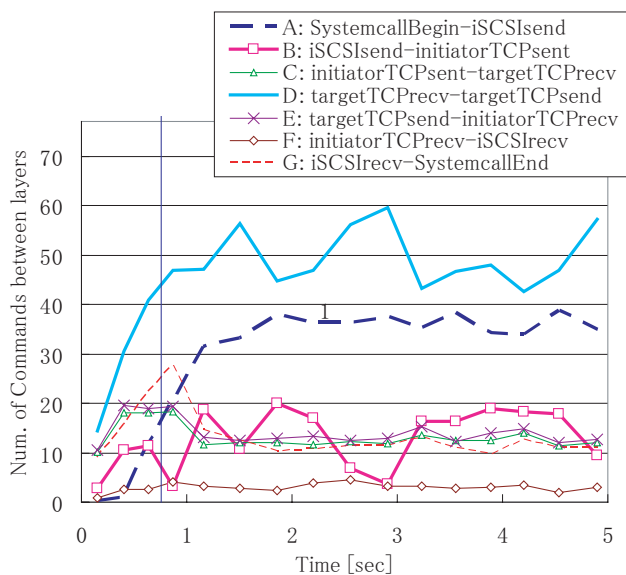


図7 各階層間処理中 I/O 要求数推移 (4 イニシエータ 100 プロセス時)

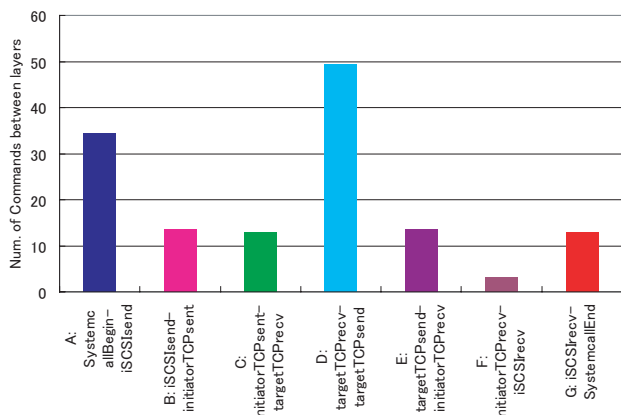


図8 平均各階層間処理中 I/O 要求数 (4 イニシエータ 100 プロセス時)

ネットワーク転送中の I/O 要求の数を表現している。

図5, 図6を比較し, 各システムコールの所要時間が大きく増加していることが確認できる(両図の水平矢印部の例では25ミリ秒と42ミリ秒)。各層ごとの処理時間では, ネットワーク転送時間(両図のC部とE部)はほぼ同程度であり, ターゲット機の処理時間(両図のD部)は増加しているがシステムコール所要時間の増加と比べると小さいことが分かる。これに対して両図のA部やG部が大幅に増加しており, 主な性能劣化要因は負荷の増大による計算機のI/O処理時間の増大であることが確認でき, 特にイニシエータ機 iSCSI 層における処理時間の増大の影響が大きいことが分かる。また, 本実験は片道4ミリ秒の擬似的な中規模ネットワーク環境で行ったが, ネットワーク遅延時間が全処理時間内でしめる割合が小さいことも確認できる。

次に, 上記A部からG部において処理中のI/O要求数の平均の推移を図7に示す。縦軸が各区間で処理中のI/O要求の数を表しており, 折れ線Aから折れ線Gがそれぞれの区間において処理中のI/O要求数の推移である。横軸は時刻を表してい

る。全てのI/Oベンチマークプロセスが起動する時刻は0.76秒であり, 同図に縦線が記してある。また, 全プロセス起動時(0.76秒)から時刻5秒までの各層間の処理中I/O要求数の平均は, 図8の様になる。図7, 図8より, 最下位層(本解析例では“ターゲット機TCP層”)以下において並列処理中のI/O要求の数は50程度であり最上位層(システムコール)における並列処理数の約1/3程度であることが分かる。また, 他の区間と比較しA部が多くI/O要求を保持しており, 本区間における処理により性能が劣化されていることなどが予想できる。

この様に提案解析システムを用いることで複数の計算機で構成され多数のI/O要求が発行されている複雑なIP-SANシステムにおいて, 各層個別の処理時間と処理時間の増加, 処理中I/O要求数などが観察可能となりシステムの振る舞いを把握することが可能となる。これらは, 性能の考察を行うのに有用であると考えられる。

5. 関連研究

iSCSIを用いたIP-SANの性能の評価に関する研究としては, 文献[1], [3]~[5], [14]~[16]があげられる。文献[1]は早期にSCSI over IPの性能評価を行った開拓的な研究である。独自のSCSI over IP実装を用い遅延のある環境におけるシーケンシャル/ランダムアクセスなどの基本性能の評価や, アプリケーション性能の評価を行っている。また, ファイルシステム等が性能に与える影響などについても考察を行っている。Sarkarらは文献[4], [5]において低遅延環境におけるiSCSIアクセスの性能についての評価を行っている。特にiSCSI使用時におけるCPU使用率の上昇とTOE(TCP Offload Engine)の使用について詳細な評価を行っており, iSCSI使用におけるCPU使用率向上の程度の評価と現世代のTOEの貢献の限界を指摘している。文献[3]はiSCSI性能を評価しソフトウェア処理手法はFC-SANに匹敵する性能を提供できることを示している。文献[14]は, iSCSI, SMB, NFSの性能評価と比較を行っている。文献[15]は, IP接続ストレージのアクセス手法としてiSCSIとNFSの比較を行い, NFSに対するiSCSIの優位性を示している。基本性能や応用性能の測定を行いiSCSI, NFS双方の性能やCPU使用率の評価を行っている。また, キャッシュの状態の性能への影響なども評価を行っている。文献[16]は, IPsecやSSLを用いるiSCSIの性能を評価している。以上の研究は各種状況におけるiSCSI性能の評価を行ったものであり, iSCSIの性能を知る上で有用な研究であると言える。しかし, システムの外部から負荷を与え性能を評価したものでありシステム内部の振る舞いについて考察を行ったものではない。また, 性能の向上方法について十分な考察を行ったものではなく, 性能を向上させるには適切な能力の計算資源を用意する以外の方法を提供しない。よって, 性能向上方法の提供を目指す本研究はこれら既存の研究に対しても十分に有用であると考えられる。

藤田らの文献[17]は, iSCSIターゲットの内部の実装手法も考慮してiSCSI性能の評価を行い, OSのカーネルに変更を加える手法や低レベルインターフェイスを使用する実装手法が性

能において優れていることを指摘してゐる。ターゲット実装に着目し詳細な考察を行っている点において、システム全体の統合的考察を目指す我々の研究と目的が同じでは無いが、ターゲットシステム実装の詳細な考察を行った既存の研究として価値が高いと思われる。また、iSCSIを用いたシンクライアントPCの実現と性能評価を行った研究として文献[18]がある。

6. おわりに

本稿ではストレージ機器が数台のサーバ計算機に接続されている中規模のIP-SANとその解析システムを構築し、高負荷時のIP-SANシステムの性能について考察した。IP-SANシステムを提案解析システムにより観察した結果、IP-SANを構成する各層の処理時間や各層内で処理中のI/O要求の量などが視覚的に観察可能となり、IP-SANの振る舞いを把握するのに有用であることが確認された。本実験環境の例においては高負荷時のIP-SANシステムの主な性能劣化原因は、負荷が集中するストレージ機器の性能の低下やサーバ計算機とストレージ機器を結ぶネットワークの転送速度の低下ではなく、イニシエータ計算機の処理時間の増大であることなどが確認された。

今後は、性能を劣化させていると考えられる階層に関してさらに詳細な考察を行い性能改善方法の考察などを行っていく予定である。

文 献

- [1] Wee Teck Ng, Bruce Hilly Elizabeth Shriver, Eran Gabber, and Banu Ozden. Obtaining High Performance for Storage Outsourcing. In *Proc. FAST 2002, USENIX Conference on File and Storage Technologies*, pages 145–158, January 2002.
- [2] F. Neema and D. Waid. Data Storage Trend. In *UNIX Review*, 17(7), June 1999.
- [3] Stephen Aiken, Dirk Grunwald, and Andy Pleszkun. A Performance Analysis of the iSCSI Protocol. In *IEEE/NASA MSST2003 Twentieth IEEE/Eleventh NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies*, April 2003.
- [4] Prasenjit Sarkar, Sandeep Uttamchandani, and Kaladhar Voruganti. Storage over IP: When Does Hardware Support help? In *Proc. FAST 2003, USENIX Conference on File and Storage Technologies*, March 2003.
- [5] Prasenjit Sarkar and Kaladhar Voruganti. IP Storage: The Challenge Ahead. In *Proc. of Tenth NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies*, April 2002.
- [6] J. Satran et al. Internet Small Computer Systems Interface (iSCSI). <http://www.ietf.org/rfc/rfc3720.txt>, April 2004.
- [7] IETF Home Page. <http://www.ietf.org/>, 2004.
- [8] Storage Networking Industry Association. <http://www.snia.org/>, 2004.
- [9] SNIA-J. <http://www.snia-j.org/>.
- [10] 山口実靖, 小口正人, and 喜連川優. “iSCSI ストレージアクセスのトレースシステム”. *DBSJ Letters Vol.3 No.3*, 2004.
- [11] L. Rizzo. dummynet. <http://info.iet.unipi.it/~luigi/ip-dummynet/>, 2004.
- [12] University of new hampshire interoperability lab. <http://www.io1.unh.edu/>, 2004.
- [13] iSCSI reference implementation. <http://www.io1.unh.edu/consortiums/iscsi/downloads.html>, 2004.
- [14] Yingping Lu and David H. C. Du. Performance Study of

iSCSI-Based Storage Subsystems. *IEEE Communications Magazine*, August 2003.

- [15] Peter Radkov, Li Yin, Pawan Goyal, Prasenjit Sarkar, and Prashant Shenoy. A performance Comparison of NFS and iSCSI for IP-Networked Storage. In *Proc. FAST 2004, USENIX Conference on File and Storage Technologies*, March 2004.
- [16] Shuang-Yu Tang, Ying-Ping Lu, and David H. C. Du. Performance Study of Software-Based iSCSI Security. In *1st International IEEE Security in Storage Workshop*, December 2002.
- [17] 藤田智成 小河原成哲. “iSCSI ターゲットソフトウェアの解析”. In *先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS 2004*, May 2004.
- [18] 市川俊一, 岡順一, and 鷲坂光一. iSCSI を利用したシンクライアント PC システム STRAGEX. *論文誌 (トランザクション) コンピューティングシステム*, 47:377–386, September 2006.