

大学インターネット接続システムにおける 地域IXを用いたサーバアクセス手法とその評価

八代 一 浩^{†1} 樋地 正 浩^{†2} 菊池 豊^{†3}
鈴木 嘉彦^{†4} 林 英輔^{†5}

インターネットが社会基盤として利用されるようになり、大学生活においても必要不可欠な存在となっている。そのため、利用者からはインターネット接続システムの可用性を高める要求が高まっている。システム全体の可用性を高めるためには、ISP (Internet Service Provider) などが提供するハウジングサービスを利用してシステムのサーバ運用の可用性を高めることに加え、サーバまでのアクセスに関して十分な品質を保持しつつ、アクセスの可用性を高めなければならない。そこで、エンドシステム間を高速に接続することができ、冗長化の仕組みを提供することができる地域IX (Internet eXchange) に着目した。そして、地域IXを利用したインターネット接続システムを実際に構築し、評価を行った。その結果、実用上問題のないアクセス品質と安定性を持つ可用性の高いシステムが実現できた。

Server Access Method and Its Evaluations with Regional IX for Internet Access System of Universities

KAZUHIRO YATSUSHIRO,^{†1} MASAHIRO HIJI,^{†2} YUTAKA KIKUCHI,^{†3}
YOSHIHIKO SUZUKI^{†4} and EISUKE HAYASHI^{†5}

Recently, the Internet has become the social infrastructure and we can't imagine the universities without the Internet. Therefore, users in our university require to improve the availability of the Internet access system. We can use housing service which many ISP (Internet Service Provider) provide to improve operational availability of servers. In addition, access methods to servers which had quality are also important to improve availability of total system. We focus on regional IX which has features to provide high performance throughput between end systems. And also it provides a redundant link between end systems. An Internet access system with regional IX based on proposals was built and evaluated. The results show that we built high available system having access quality and stability in practical usage.

1. はじめに

インターネットの発展により、ネットワークは社会基盤として欠かすことのできない存在となっている。

たとえば、大学でも、履修登録や証明書の発行申請などを Web 環境で行うことが日常化している。また、就職活動もインターネットを利用しないと企業とのコミュニケーションがとれない状況である。このように大学においても、インターネットは研究や教育ばかりでなく、学生生活一般でも広く利用されるようになってきている。

そのため、大学ネットワークシステムの利用者からは、サービスレベル向上への要求が急速に高まり、特にシステムの可用性を高める必要性が大きくなっている。可用性を高めるためにはシステムの冗長化を行うことが基本である。そのためには、インターネットサービスを実現するサーバやネットワークの二重化を行う必要があり、初期費用が多額になる。また、可用性を維持するためには、これらの機器の運用にも高度

†1 山梨県立大学国際政策学部

Faculty of Global Policy Management and Communications, Yamanashi Prefectural University

†2 東北大学会計大学院

Tohoku University Accounting School

†3 高知工科大学総合研究所

Kochi University of Technology

†4 山梨大学大学院医学工学総合研究部

Interdisciplinary Graduate School of Medicine and Engineering University of Yamanashi

†5 麗澤大学国際経済学部

The International School of Economics and Business administration, Reitaku University

な技術が必要となることから、運用を行う人材の確保ができるかという問題がある。

これらの問題の一部を解決する手法として、サーバの運用を外部委託する手法がある。ISP (Internet Service Provider) のハウジングサービスを利用して、サーバを学外に配置し、その運用までを委託することにより、サーバ運用の可用性の問題を解決できる。しかし、サーバを外部に配置することによって、従来のシステムと比較してアクセス品質が低下することや学内 LAN からのアクセスが中断する可能性が高くなることが問題になる。また、ネットワークの可用性の問題は解決できない。この問題を解決するためには、高品質で、冗長化構成がとれるサーバへのアクセス手法が重要になる。さらに、小規模な大学では、大量のトラフィックが望めないため、このようなアクセス手法を低コストで実現する必要がある。

我々は、そのようなアクセスを実現する手法として、地域 IX (Internet eXchange) を利用した手法を採用した。本手法に基づき構築したシステムを 1 年間運用したデータから、高いアクセス品質を維持したまま、計測期間中のサーバアクセスに高い可用性を実現できたことを示す。

以下、本論文では、2 章でシステム更新の際に利用者からあがった要求についてまとめる。3 章ではその要求を実現するための技術要件について議論する。4 章では、サーバアクセスの手法について検討し、地域 IX を用いたアクセス手法を提案する。5 章は検討に基づいたシステムの実装について述べる。6 章では、1 年間の運用データからサーバアクセス手法の有効性を評価する。7 章はまとめである。

2. 利用者からの要求

大学におけるインターネットの利用は、電子メール、Web アクセス (HTTP, FTP) が中心である。特に授業での利用を中心とした教育関連の利用では、以下の要求が大きい。

- (1) 情報教室における授業で十分なパフォーマンスが得られること (50 台程度の同時利用で性能問題が起きないこと)。
- (2) いつでもサーバの利用ができること (可用性の高い運用)。
- (3) 障害が発生した場合、授業計画に影響が出ないようにシステムが回復できること。

(1) の要求を満たすためには、サーバの性能とクライアントとサーバ間のネットワーク品質が重要になる。

(2) の要求を満たすためには、サーバを大学外部に

配置し、運用を外部委託する方法がある。大学内部にサーバを配置して、大学職員が運用したり、運用のみを外部委託したりすることも可能であるが、たとえば電気設備の停電による停止や、夜間の障害対応などを考えると大学内部にサーバを配置し、運用するには問題が多いためである。

(3) の要求を満たすためには、サーバ障害時、ネットワーク障害時のそれぞれを考える必要がある。サーバ障害時の復旧時間は上記 (2) の外部委託を用いた場合、SLA (Service Level Agreement) により担保することになる。ネットワーク障害時の対応には 2 つの方法がある。1 つは、ネットワークの冗長化である。ネットワークを冗長化して障害時に自動的に切り替えることにより、授業への影響は回避できる。もう 1 つは、インターネットへの接続とサーバへの接続を分離する手法である。たとえば、授業中に、サーバへの接続に障害が発生した場合、授業内容を情報検索に変更することでまったく授業ができないという状態を回避できる。反対にインターネット接続に問題が発生したとしても、サーバへの接続が行えれば、たとえば、情報検索の演習から電子メールの演習に変更することで授業への影響を最小限にとどめることができる。このように接続を分離することにより、障害に対して利用する側で柔軟に対応ができる。

3. 技術要件

2 章で述べた利用者からの要求を分析して、ネットワークに求められる具体的な技術要件を求めた。その結果、最も要求が厳しい授業における利用で授業に影響がない技術要件を下記のように定めた。

3.1 品質要件

- サーバまでのアクセス回線に 70 Mbps 以上のスループットを確保すること。
- サーバまでの RTT (Round Trip Time) を 5 ms 以内にする。

大学の規模や情報教育の内容により異なるが、一般にクラス単位で情報教育の授業を行うことを考えれば、情報教育に利用される情報教室の PC の台数は 50 台程度である。70 Mbps のスループットが確保できれば、授業中に 10 名が同時に 5 Mbyte の添付ファイルをダウンロードした場合 5.7 秒、最も条件の厳しい全員 (50 名) が同時にアクセスしたとしても 28.6 秒であり、この程度であれば、授業での利用に十分なパフォーマンスである。

また、RTT が大きいと TCP の通信では十分なスループットが得られない。そのため、RTT の時間を

短くして、理論上は 100 Mbps のスループットが得られる 5 ms とした。さらに、この程度の RTT が得られれば、サーバとの応答時間も問題がない。

3.2 可用性要件

- ネットワーク障害時の自動切替は 5 分以内とする。

ネットワークは冗長化することを前提とした。ネットワークに障害があった場合には、その復旧に要する時間は予測できない。最悪の場合には、数時間以上かかることが予想され、授業への影響が大きいのである。

5 分以内に復旧できれば、授業への影響はほとんどないため、冗長構成としたうえで、5 分以内に自動切替できることを要件とする。

4. 既存のアクセス手法と地域 IX を用いた手法

本論文では、ネットワークの可用性を高めるために、サーバへのアクセスとインターネットへのアクセスを分離してシステム構築を行う。このようなシステムの構築技術に、インターネットへの接続を複数確保するマルチホーム技術がある。しかしながら、マルチホーム技術を用いて運用するためには、一定規模のアドレス空間を持ち、さらにフルルートを扱う運用技術が求められるため、小規模な大学では、運用が困難である^{1),2)}。

そこで、学内 LAN の IP アドレスはインターネット接続を行う上位 ISP から割り当てられたアドレス空間を利用して運用を行う。そして、インターネットへの接続に関して可用性を高めるためにバックアップ回線を敷設する。また、サーバの IP アドレスは、委託先の ISP から割り振られた IP アドレスを利用する。これにより、サーバは学内 LAN が停止していても運用を継続することができる。また、学内 LAN からサーバへのアクセス線に障害が発生した際には、インターネット接続を経由してサーバへアクセスができる。

これらの条件のもと、システムを実現する形態としては、図 1 に示す (a) 従来型接続が一般的である。この場合、インターネット接続を提供する組織 (SINET) までの間にバックアップ回線を敷設し、AL1 に障害が発生した場合には AL2 からインターネット経由でサーバにアクセスする。AL2 に障害が発生した場合には、サーバには AL1 経由で、インターネットには予備回線経由でアクセスする。

サーバへの接続線 (AL1) については、専用線と複数の組織で回線を共有する共有線の 2 種類が考えら

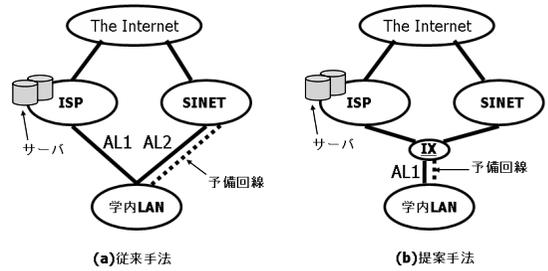


図 1 アクセス手法
Fig. 1 Access methods.

れる。

たとえば、立教大学では、(a) の接続形態で、サーバまでのアクセスに専用線を利用している³⁾。立教大学のように大規模な大学では、回線に対して十分なトラフィックが期待できるために、大容量の回線を借りても集約効果により通信費用を安価に抑えることが期待できる。しかし、小規模な大学では、十分なトラフィックを見込むことができないため、トラフィックに対して、通信事業者に定期的に支払う通信費用が高くなるのが問題になる。

また、日本大学商学部は⁴⁾、各種のサーバをデータセンタに配置したサーバで運用し、サーバとキャンパスの間は図 1 (a) の接続形態で、共有型の回線を利用している。しかしながら、共有線であることから、ネットワークの品質に関する保障がないという課題がある。さらに、一般には、ネットワーク品質を評価するデータや測定機会が得られないため、実際に利用するまでその品質を把握できないことが問題になる。

そこで、本論文では、サーバまでのアクセスに地域 IX を利用した、IX 接続手法 (図 1 (b) 提案手法) を提案する。地域 IX を利用した通信も、IX への参加者は IX に配置されたスイッチを共有し、IX までの回線を他のトラフィックと共有する点では、共有型の接続であり、専用線と比較すると低コストである。しかしながら、IX までの回線に十分な帯域があり、IX に設置されているスイッチがトラフィックに対して十分高速なパケット転送能力を持っている場合には、通信が高速で、品質も高いことが実証されている^{5),6)}。この点が、一般の共有線を利用する場合との違いになる。

また、品質に問題が生じた場合にも、IX の参加者は IX までの回線やルータを他の組織に依存することなく調整ができるため、容易に品質の改善が行える。

予備回線に関しては図 1 (b) のように自組織と IX までの間に敷設する。これにより、サーバアクセスのためには AL1 に障害があった場合には予備回線が用いられ、IX と ISP 間に障害があった場合には、イン

ターネットを経由してサーバにアクセスできる。

5. 実 装

前章までの議論に基づき実装した山梨県立大学（以下、本学と略す）のインターネット接続システムを図 2 に示す⁷⁾。大学の利用者は学生約 500 名、教職員約 60 名である。学生用の利用者端末は演習室に 47 台、図書館に 20 台、学生ホールに 5 台が設置されている。このほかに研究室、事務室に約 40 台の端末がある。

DHCP, DNS サーバは学内に配置し、それ以外のサーバは地域 ISP 内のデータセンタに配置した。

ISP は、サーバを無停電電源装置による可用性の高い施設で運用している。また、セキュリティを含めたサーバの保守運用も ISP に委託している。

サーバは本学のネットワークサービスのために 5 台が運用されているが、1 台 (S1) だけが本学のためだけに運用されており、他の 4 台 (S2 から S5) は ISP の顧客と共有している。これにより、運用上のコストの低減を図っている。S1 では、HTTP, SMTP, POP, RADIUS の運用を行っている。S2 は DNS のセカンダリサーバ, S3 は webmail, S4 はネットニュース, S5 はダイヤルアップ接続サービスのための機器である。学内 LAN には DNS サーバ (S6) が配置してある。

サーバにアクセスする際の IX には地域 IX (BeX-J⁸⁾) を利用した。ルータ R1 は ISP が, R2 は SINET がそれぞれ運用している。それ以外のルータは本学が運用している。

ISP (R1) から地域 IX までの接続 (L1) は 100 Mbps の Ethernet を, SINET (R2) と地域 IX までの接続 (L2) および本学 (R4) から地域 IX (R3) までの接続 (L3) は 155 Mbps の ATM UBR (Unspecified Bit Rate) で接続を行っている。さらに、地域 IX と大学間に CATV Internet を利用した予備回線 (L4) を用意した。

冗長化した経路を選択する仕組みとして、ネットワーク層の経路制御プロトコルである BGP4⁹⁾ を用いた。これは、IX で利用されている経路制御プロトコルが BGP4 であること、ルーティングポリシーを実装するうえでは、経路選択アルゴリズムで、多くの経路選択基準を利用できる BGP4 が適していると判断したためである。

R1-R3 間, R1-R5 間, R2-R3 間, R5-R6 間でそれぞれ異なる AS (Autonomous System) 間での接続 (ebgp) を行い、R3-R4-R6 間では同一 AS 内での BGP 接続 (ibgp) を行っている。BGP4 の経路送達は学内の基幹 Layer-3 スイッチである R4 への到達

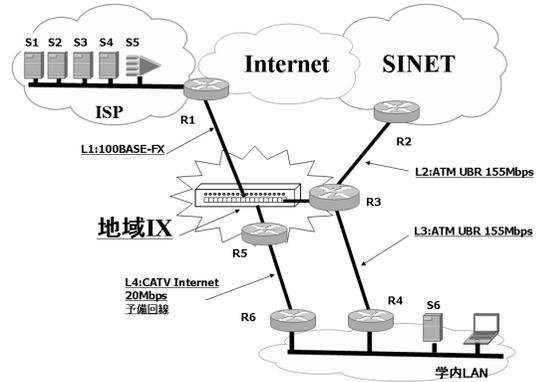


図 2 インターネット接続システムの実装
Fig. 2 An implementation for the Internet access system.

表 1 ルーティングポリシー
Table 1 Routing policies.

障害箇所	経路
L1	R1-R2-R3-R4
L3	R1-R5-R6-R4
IX スイッチ	R1-R2-R3-R4
R3	R1-R5-R6-R4

性を確保することが必要であるため、R4 から行うように設定した。経路選択基準では、回線が高速であることを考慮して、R1-R3-R4 の経路が優先されるように BGP4 の設定を行っている。また、R1, R2 ではデフォルト経路をインターネット側に静的に指定している。

この結果、平常時のサーバと学内 LAN の間は、R1-R3-R4 の各ルータを経由してサーバにアクセスする。この経路上に何らかの障害が起こった際には、表 1 に示す経路でサーバにアクセスする。

6. 評 価

本章では、採用した手法により、アクセス回線の品質を確保しつつ、高い可用性が実現できたかどうかを評価する。

評価のために 2003 年 10 月 1 日から 2004 年 10 月 1 日の 1 年間の運用データを用いる。ただし、停電によりシステムが利用できない時間は省いている。

サーバまでのアクセス回線の品質に関しては、RTT (Round Trip Time), RTT の変動, TCP 通信のスループットにより評価する。可用性については、サーバアクセスの安定性および経路切替えに要する時間で評価を行う。

6.1 RTT に関する評価

アクセス回線を利用した際の RTT を評価するため、

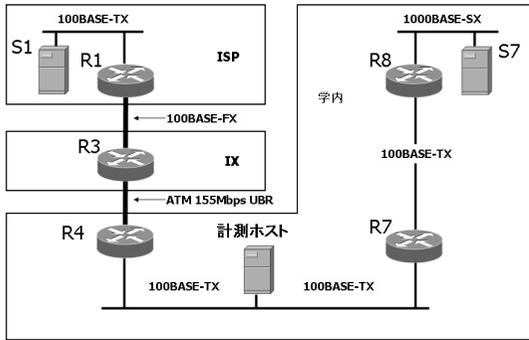


図 3 アクセス線に関する RTT 計測システム
Fig. 3 RTT measurement system for access line.

表 2 Router およびサーバの仕様

Table 2 Specifications of routers and servers.

Router/Server	仕様
R1	CISCO 7206 NPE300 300,000 pps
R3	CISCO 7505 RSP 1 (100 MHz) 220,000 pps
R4	CISCO 7206 NPE200 200,000 pps
R7	CISCO 3620 R4700 (80 MHz) 2,000 pps
R8	3 Com CoreBuilder 3500 4,000,000 pps
S1	FreeBSD-4.8, Pentium 4 2.4 GHz
S7	FreeBSD-3.5.1, Pentium 3 540 MHz
計測ホスト	FreeBSD-4.6.2, Pentium 4 1.7 GHz

実際の利用環境における RTT を 1 年間にわたり計測した。図 3 に示すように計測ホストを学内 LAN 上に設置した。計測対象には、ISP に設置されたサーバ群の中の S1, 学内 LAN に設置されたサーバ S7 を使用した。計測に使用したシステムの仕様を表 2 に示す。

RTT の測定は、定期的な間隔で複数回測定し、その中の最良値を選択することで、ほぼ実効値が得られることが知られてる¹⁰⁾。

そこで、smokeping¹¹⁾ を用いて、5 分ごとに計測ホストから S1, S7 に対して、20 回の測定を行い、その最良値から RTT を測定した。

smokeping を用いた計測システムは、一定期間が経過すると測定値を 12 時間ごとに集約し、最大 2 年間保存する。本学では、外部サーバ S1 への測定データは 5 分ごとに保存されているが、内部サーバ S7 への測定データは 12 時間ごとに集約されるため、評価には RTT の 12 時間あたりの平均値を使用した。2003 年 10 月 1 日から 2004 年 10 月 1 日までの 12 カ月間における RTT の 12 時間あたりの平均値を図 4 に示す。

図 4 において S1 への測定データで、大きく 2 ms を超えているところが 5 カ所ある。これは長時間にわたり、地域 IX を経由したサーバへのアクセスが遮断され、インターネットを経由したサーバへのアクセス

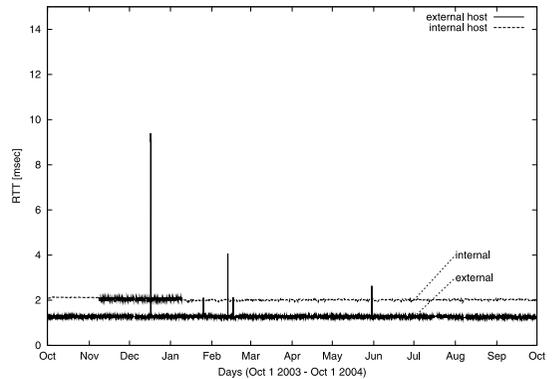


図 4 RTT の計測結果
Fig. 4 Results of the RTT measurement.

表 3 RTT の標準偏差

Table 3 Standard dispersion of the RTT.

ホスト	標準偏差
S1	3.75×10^{-4}
S7	5.75×10^{-5}

が行われていたことを示す。

S1 への計測結果 (external host) と S7 (internal host) への計測結果を比較すると、学外にある S1 への RTT の平均値は 1.28 ms である。一方で学内にある S7 への RTT の平均値は 2.15 ms であり、学外サーバへの RTT の方が短い。これは、経路上のルータの仕様の違い、特に R7 が他の機器と比較して転送能力が低いためである。この点を考慮しても、サーバを学外に配置して地域 IX を経由した接続を行った場合でも学内のサーバと同様の RTT が確保できており、学内に設置した場合と同様に利用できることが分かる。

6.2 RTT の変動に関する評価

次に、RTT がどの程度安定しているかを調べるため、測定期間の RTT の標準偏差を求めた。その結果を表 3 に示す。ただし、S1 への標準偏差は、地域 IX を利用した場合の値をもとに計算している。

S1 と S7 への RTT の標準偏差は大きな違いがある。しかしながら、RTT の変動が正規分布に従うとすると、平均 m と標準偏差 σ に対して、 $m + 3\sigma = 2.41$ ms 以内となる確率は 99.7% であり、目標値である 5 ms 以内にほとんどのパケットが収まっている。この程度の変動であれば、主な利用形態である電子メールや Web で実用上の問題はない。

6.3 TCP 通信のスループットに関する評価

スループットは、学内 LAN 上の計測ホスト S8 から、ISP に配置されたサーバ S1 に対し計測した。計測に使用したネットワーク構成を図 5 に示す。2004 年 10 月にシステムの一部が更新され、地域 IX まで

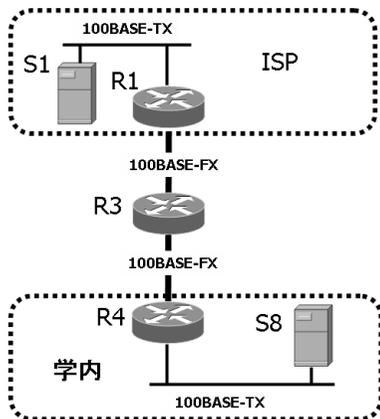


図 5 アクセス線のスループット計測システム

Fig. 5 Throughput measurement system for access line.

表 4 Router とサーバの仕様

Table 4 Specifications of routers and servers.

Router/Server	仕様
R1	CISCO 7206 NPE300
R3	Juniper M7i
R4	CISCO 3750
S1	FreeBSD-4.8, Pentium 4 2.4 GHz
S8	FreeBSD-4.7, Pentium 3 650 MHz

のアクセス回線 (R3-R4 間) が 100BASE-FX になった後の計測結果である。

使用したルータおよびサーバの仕様を表 4 に示す。

スループットの計測には netperf¹²⁾ を用いた。S1 上で、netperf のサーバプログラムである netserver を起動する。次に、S8 からクライアントプログラムである netperf を起動し、スループットを測定する。netperf における信頼レベルとして、95% から 99% までが得られるまで、2 回から 10 回計測を行っている。

スループットは TCP ウィンドウサイズと RTT に依存する。そこで、計測では、複数のウィンドウサイズに対して計測を行った。TCP ウィンドウサイズは、クライアントの OS として最も多く使われる Microsoft 社の Windows OS を想定して、パラメータを決めた。Microsoft 社の Windows 98 では、ウィンドウサイズは 8 kB¹³⁾、Windows 2000/XP では、16 kB でアダプティブにスケールアップ (RFC 1323) が有効でない限り、最大サイズは 64 kB となる¹⁴⁾。そこでウィンドウサイズはソケットサイズ以上にはならないことを利用し、ソケットサイズを 8 kB から 64 kB の間で 8 kB ごとに変化させた。また、メッセージサイズによる影響を考慮し、4,096 byte, 8,192 byte, 16,384 byte, 32,768 byte の 4 種類のメッセージサイズについてス

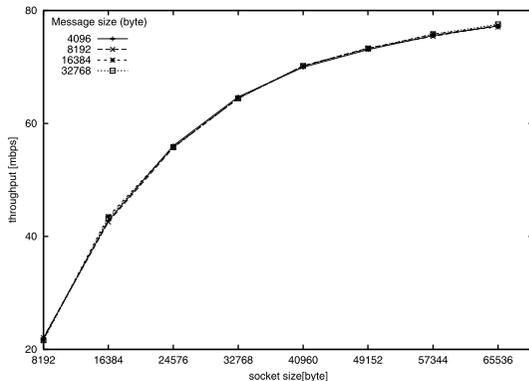


図 6 サーバ S1 とサーバ S8 間のスループット

Fig. 6 Throughput between the server S1 and the server S8.

表 5 サーバ S1 とサーバ S8 間のスループット [Mbps]

Table 5 Throughput between the server S1 and the server S8 [Mbps].

socket size [byte]	Message size [byte]			
	4,096	8,192	16,384	32,768
65,536	77.27	77.39	77.09	77.56
57,344	75.56	75.43	75.83	75.81
49,152	73.08	73.35	73.21	73.28
40,960	69.96	70.19	70.22	70.17
32,768	64.71	64.48	64.43	64.46
24,576	56.05	55.73	55.84	55.78
16,384	42.81	42.56	43.54	43.25
8,192	21.95	22.08	21.64	21.61

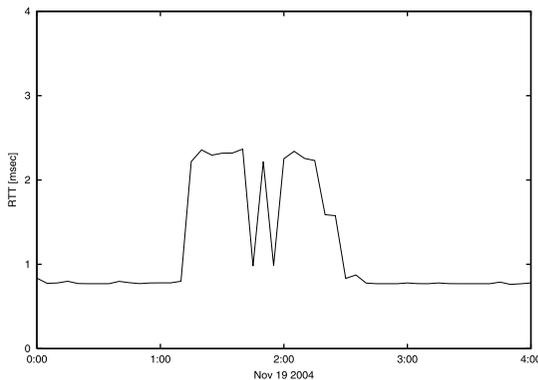


図 7 スループット計測時の RTT

Fig. 7 RTT while throughput was being measured.

ループットを計測した。

スループットの計測中には、あわせて RTT の計測も行っている。RTT の計測には、smokeping を用いている。スループットの計測は 2004 年 11 月 19 日 (土) の 1:15 から 2:25 まで行った。スループットの測定結果を図 6 および表 5 に、また、スループット計測時の RTT を図 7 に示す。

メッセージサイズを変化させても、それぞれの計測

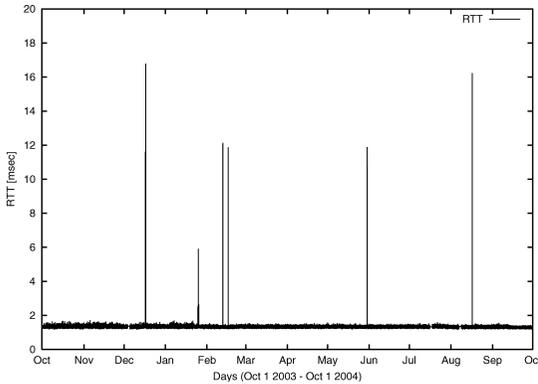


図 8 経路の変化

Fig. 8 Transition of route.

において、スループットに大きな違いはない。ソケットサイズは大きいほどスループットも向上している。

図 7 から分かるように通常の RTT は 1 msec 以下であり、そこからスループットを計算すると 100 Mbps になる。しかし、図 6 で示すようにソケットサイズを 65,536 byte、メッセージサイズを 32,768 byte とした場合のスループットの計測値は、77.56 Mbps であり、RTT から算出したスループットと一致しない。その理由は、ISP や本学のルータで TCP 通信に関するセキュリティ関連のフィルタ処理を行っているためと考えられる。しかし、実測値においても 80 Mbps 近いスループットが得られており、サーバへのアクセスにおいて実用上の問題はない。

6.4 安定性に関する評価

本手法ではサーバアクセスの可用性を実現するために、経路制御技術を用いて冗長化を実現している。そこで、どの程度安定して、サーバまで接続できているかを評価する。評価は計測期間中に、どの程度、通常のアクセス経路が利用されていたかを示す利用率、および、バックアップ経路に切り替えられた頻度を用いて評価する。

評価は、図 3 の計測システムで、2003 年 10 月 1 日から 2004 年 10 月 1 日までの 1 年間、計測ホストから S1 に対して RTT を 5 分ごとに計測したデータを用いる。

図 8 で、数回にわたり RTT の値が 10 ms を超えている期間がある。これは正常時に使用している地域 IX を経由している通信が遮断され、インターネットを経由する経路（バックアップ経路）に変更されたときである。また、RTT が 6 ms になっている期間もある。これは、経路障害により、往復の経路が違っていたと考えられる。測定期間内でバックアップ経路が利

表 6 バックアップ経路を経由した期間

Table 6 Period when backup route was used.

変更開始時間	変更終了時間	経由時間 (分)
12 月 17 日 2:05	12 月 17 日 12:20	615
1 月 22 日 13:40	1 月 22 日 13:45	5
1 月 25 日 15:55	1 月 25 日 16:55	60
2 月 12 日 20:10	2 月 12 日 23:40	210
2 月 16 日 21:50	2 月 16 日 22:50	60
5 月 30 日 12:20	5 月 30 日 14:05	105
8 月 16 日 20:25	8 月 16 日 20:40	15

用された期間を表 6 に示す。

測定期間を P 、バックアップ経路を経由して接続されていた時間を O とし、通常経路の利用比率 A を以下のように定義する。

$$A = \frac{(P - O)}{P} \quad (1)$$

測定期間は全測定期間 527,040 分から、停電により測定を停止していた期間 4,050 分を除いた 521,920 分になる。バックアップ経路を経由していた時間は 1,070 分であるから、通常経路を利用している比率は 99.80% になる。この結果から、サーバへのアクセスに通常経路が使用されている時間はきわめて長く、利用者は高品質な通信環境でサーバにアクセスできていることが分かる。

また、通信経路の切替え頻度を中川ら⁶⁾と同様に「経路が変化するまでの平均時間」と定義し、切替え頻度 (B) を測定期間 (P) と経路変化の回数 (N) を用いて、

$$B = P/N \quad (2)$$

と表現する。測定結果から $P = 521,920$ 分、 $N = 7$ であるため、これを式に適用すると、切替え頻度は 74,560 分 (約 52 日) となる。

切替え頻度からは、1~2 カ月に 1 回はサーバへの通常のアクセス経路が利用できない状況が発生することが分かる。その際の利用できない時間は、5 分程度から数時間を超える場合まで多岐にわたる。通常のアクセス経路が利用できなくなった場合に、何時間程度利用できないかが分からないことを考慮すると、本手法で採用したようにバックアップ経路を用意することは不可欠である。

6.5 経路切替え時間に関する評価

大学の中で、サーバの利用が最も厳しく要求されるのは、授業時間中である。授業の中でサーバが利用できず、授業の中断時間が長くなると授業計画への影響も大きくなる。そのため、アクセス経路に障害が発生した際に、バックアップ経路に切り替える時間も重要になる。そこで、バックアップ経路に切り替わる時間

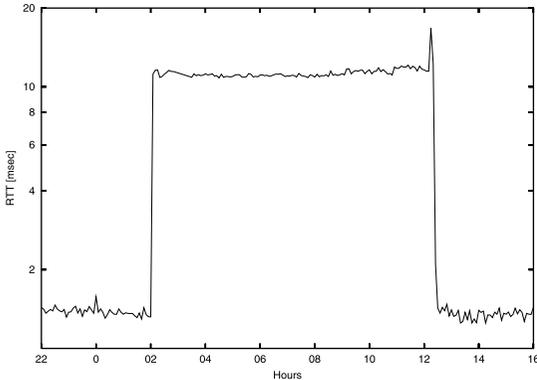


図9 障害発生時(2003年12月17日)のRTT

Fig.9 RTT during the trouble occurred (17 Dec. 2003).

を評価した。表6に示すように1年間の計測で、7回バックアップ経路が利用されている。表6の中で最も長い時間にわたりバックアップ経路が利用されていた2003年12月17日の経路切替の様子を、図9に示す。

経路選択アルゴリズムに用いたBGP4ではひとつのルータ間でセッションが構成されると、経路情報が交換される。その後は定期的なkeepaliveメッセージの交換や、経路情報が変更された際にupdateメッセージの交換などが行われる。ネットワーク層の経路上に障害がおきると、keepaliveメッセージが届かなくなる。そして、一定時間(holdtime)が経過するとルータから経路情報が消滅し、経路が切り替わる。holdtimeはルータの設定で決めることができる。現在の運用ではholdtimeは90秒に設定しているため、理論上は90秒以内に経路が変化する。

図9においては、5分間のサンプリング間隔であるため、この間の経路変化については観測できていない。

ここでは、典型的な例を示したが、他の経路切替時においても、同様な結果が得られている。このように5分間のサンプリングでは検知が行えないほど、短い時間で経路が切り替えられている。

この程度で切り替えることができれば、授業の中で切替えが発生した場合にも再度、システムへのアクセスを試みる程度の影響でよいと考えられる。

7. おわりに

本論文では、インターネット接続システムにおけるサーバへのアクセス手法として地域IXを用いる手法を提案した。そして、実際に地域IXを利用してシステムの構築を行った。構築したシステムでは、地域IXを利用することにより、回線品質を保持しつつ冗長な

アクセス手段を提供し、利用者のサーバへのアクセスの高可用性を実現できている。さらに、冗長化と回線品質に関して、システムの1年間の運用データから評価を行った。その結果、構築したシステムは実用上問題のない品質と安定性を持つことが示された。

今後の課題として、障害状況をリアルタイムで利用者に伝達するシステムなどについて検討を行う必要がある。

謝辞 本研究を行うに際して、山梨大学工学部片谷教孝助教授には議論への参加、また多くの助言をいただいた(株)ウインテックコミュニケーションズの鈴木新一、岡裕人両氏からは運用を行ううえでの助言や運用データの公開に協力をいただいている。また、地域情報基盤に関する研究を行っている諸兄から多くの意見、協力をいただいている。本研究の一部は(株)日本ネットワークサービスより援助を受けている。これらの皆さんに深く感謝する。

参考文献

- 1) 岡山聖彦, 山井成良, 島本裕志, 宮下卓也, 岡本卓爾: マルチホームネットワークにおける透過的な動的トラフィック分散, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.12, pp.3255-3264 (2000).
- 2) 八代一浩, 大西康雄, 二戸麻砂彦, 中俣賢司, 笹本正樹, 岡裕人, 林英輔: BGP情報を用いたアプリケーションレベルのマルチホームを実現するシステムの構築, 分散システム/インターネット運用技術シンポジウム2003論文集, Vol.2003, No.6, pp.123-128 (2003).
- 3) 株式会社アイアイジェイテクノロジー: 次世代バーチャルキャンパス. http://www.ijj-tech.co.jp/case_study/user/virtualcampus.html
- 4) 東日本電信電話会社: アウトソーシングソリューションの紹介, 私情協ジャーナル, Vol.11, No.4 (2003). http://www.shijokyo.or.jp/LINK/journal/0302/09_05.html
- 5) 八代一浩, 笹本正樹, 平川寛之, 山本芳彦, 林英輔: 地域IXを用いた通信環境改善手法の実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.12, pp.3245-3254 (2000).
- 6) 中川郁夫, 米田政明, 安宅彰隆: 地域IXによる安定した地域内通信環境の実現と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.12, pp.2887-2896 (2001).
- 7) 八代一浩, 大西康雄, 二戸麻砂彦, 笹本正樹, 岡裕人: 地域IXを利用した分散型大学ネットワークの運営, 分散システム/インターネット運用技術研究報告, Vol.2002-DSM-28, No.28, pp.37-42 (2002).
- 8) 八代一浩, 林英輔: MAN技術を用いた地域商用IXの構築, 情報処理学会論文誌, Vol.42,

No.12, pp.2909-2915 (2001).

- 9) Rekhter, Y. and Li, T.: A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), RFC 1771 (1995).
- 10) Jacobson, V.: Pathchar (1999). <ftp://ftp.ee.lbl.gov/pathchar/>
- 11) Oetiker, T.: About SMOKEPING (2004). <http://people.ee.ethz.ch/~oetiker/webtools/smokeping/>
- 12) Jones, R.: The Public Netperf HomePage (1999). <http://www.netperf.org/>
- 13) Microsoft: Windows TCP/IP Registry Entries (2004). <http://support.microsoft.com/default.aspx?scid=kb;en-us;158474>
- 14) Microsoft: Microsoft Windows 2000 TCP/IP 実装詳細 (2000). <http://www.eu.microsoft.com/japan/technet/itsolutions/network/deploy/depovg/tcpip2k.msp>

(平成 18 年 5 月 19 日受付)

(平成 18 年 9 月 14 日採録)



八代 一浩 (正会員)

1987 年山梨大学大学院工学研究科電気工学専攻学科修了。1997 年より山梨県立女子短期大学助教授。2005 年より山梨県立大学助教授。インターネットシステムの運用技術に関する研究に従事。電子情報通信学会, 日本教育工学会各会員。



樋地 正浩 (正会員)

1986 年山形大学理学部物理学科卒業。同年日立東北ソフトウェア(株)(現(株)日立東日本ソリューションズ)入社。1997 年東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士課程修了。博士(情報科学)。2005 年より東北大学会計大学院教授を兼任。自律分散協調システム, リスク管理モデルの研究開発に従事。電子情報通信学会, ソフトウェア科学会, ACM, IEEE/CS 各会員。



菊池 豊

1992 年東京工業大学大学院情報工学専攻博士課程単位取得退学。同年より東京工業大学助手, 同大ネットワーク運用センター勤務。1996 年より財団法人高知工科大学設立準備財団勤務。1997 年より高知工科大学情報システム工学科助教授。2004 年より同大総合研究所に移籍, 地域情報化支援企業(有)ナインレイヤーズ設立。ネットワーク管理, 地域指向型インターネット技術の研究に携る。工学博士 1994 年(東京工業大学)。日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会各会員。



鈴木 嘉彦

1974 年東京工業大学大学院博士課程修了(工学博士)。同年より山梨大学講師, 助教授を経て, 1989 年山梨大学教授。現在, 工学部長, 大学院医学工学総合教育部長。環境科学会, エネルギー学会等の会員。持続可能社会における情報の役割の研究を行っている。



林 英輔 (正会員)

1933 年生。1963 年東京都立大学大学院理学研究科修士課程物理学専攻修了。1971 年工学博士(名古屋大学)。山梨大学名誉教授, 現在, 麗澤大学国際経済学部教授・情報システムセンター長。分散システム/インターネット運用技術研究会元主査。