

地域 IX を用いた通信環境改善手法の実現と評価

八代 一 浩^{†1} 笹本 正 樹^{†2} 平川 寛 之^{†3}
山本 芳 彦^{†4} 林 英 輔^{†5}

インターネットの規模拡大とトラフィックの急増により、経路の不安定性やパケット損失などの問題が指摘されている。これらの問題はエンドシステム間の通信を不安定にし、最悪の場合には、通信不能状態を引き起こす。我々は、このような問題を改善する手法として、地域 IX を用いて地域におけるエンドシステム間の通信環境を改善する手法を提案している。本論文では、まず、この手法を実装した山梨地域相互接続機構 (Y-NIX) について述べる。次に、地域に IX を構築することにより期待できる通信環境の改善効果を評価するため実験を行う。実験より、伝播遅延、ジッタ、パケット損失に関して優れた効果があることを示す。さらに、実験で得られた測定結果をもとに、TCP を用いた通信のシミュレーションを行った。これらの結果から、本手法が地域におけるエンドシステム間の通信環境の改善に有効であることを示す。

Implementation and Evaluation of the Communication Environment Improvement Method Using Regional IX

KAZUHIRO YATSUSHIRO,^{†1} MASAKI SASAMOTO,^{†2}
HIROYUKI HIRAKAWA,^{†3} YOSHIHIKO YAMAMOTO^{†4}
and EISUKE HAYASHI^{†5}

The growth of and the drastic increase in the traffic on the Internet cause several problems such as the instability of the route and loss of packet. These problems can lead to the instability of the path between end systems, and can lead to the loss of connectivity in the worst case. We propose a method to improve the communication environment between end systems in a regional area using a regional IX. This paper first describes the Yamanashi area Network Information eXchange (Y-NIX) which is an implementation of our proposed method. Next, we explain about the experiments that evaluate the degree of improvement in the communication environment within the Y-NIX area. The results of the experiments show that a regional IX is effective in improving the communication environment, especially in the area of propagation delay, jitters and packet loss. We also simulate the behavior of TCP communication with parameters that are derived from the experiments.

1. はじめに

インターネットの成長とともに、ネットワークの通信環境に関して、様々な問題が指摘されている。これらの問題の多くはネットワークの規模の拡大とトラ

フィックの急増によるものである。ネットワークの規模が大きくなると、経路情報も複雑かつ大規模になる。インターネットサービスプロバイダ (以下、ISP: Internet Service Provider) のバックボーンには、高機能でかつ信頼性の高いルータが配置されている。しかしながら、エンドシステム間の通信を考えると、経路上にあるいずれかのルータの異常により通信が不安定になる。これらの異常は、経路の頻繁な変更、ループ、非対称性などを引き起こし、最悪の場合には非到達という問題になる。ルータの異常は、物理的な障害ばかりでなく、トラフィックの集中や異常な経路情報の伝播などによっても起こりうる。Paxson はエンドシステム間の経路の振舞いについて定量的な測定を行い、経路上の問題が増加していることを指摘している¹⁾。また、エンドシステム間の経路上のネットワークに輻

†1 山梨県立女子短期大学
Yamanashi Women's Junior College

†2 ニスカ株式会社
NISCA Corporation

†3 山梨県富士工業技術センター
Yamanashi Prefectural Fuji Industrial Technology Center

†4 サンテックノカレッジ
SUN Techno College

†5 麗澤大学国際経済学部
The International School of Economics and Business Administration, Reitaku University

輻輳が生じた場合にも問題がある。ネットワークに輻輳が生じると TCP を用いた通信では輻輳回避アルゴリズムにより、スループットが低下する。また、ルータは輻輳時にはパケットをキューに収容するが、キューに収容できないパケットは廃棄される。ネットワークの輻輳はジッタやパケット損失という問題を引き起こす。さらに、問題の解決を直接接続していない ISP に依存しなくてはならない場合も生じる。

このような問題を解決するため、ネットワークを複数箇所でも相互接続し、トラヒックの分散やエンドシステム間の経路を短くする手法がある。ネットワークを相互接続するには、相互に協定を結んだ ISP 間でネットワークの一部もしくはすべてをプライベートに接続する方法と、複数の ISP が比較的広範囲なネットワークの間でパブリックに接続する方法がある。このうち後者のようにネットワークを相互接続する技術として、インターネットエクスチェンジ (IX: Internet Exchange) 技術がある^{2),3)}。そして、実際に接続を行う機構をエクスチェンジポイント (Exchange Points) あるいは単に IX と呼ぶ。IX は様々な視点から分類できるが、IX で交換される経路情報の地理的な範囲に着目し、International IX, National IX, Regional IX (以下、地域 IX) と分類する場合が多い^{3),4)}。

International IX には経路情報とトラヒックが集中する。Labovitz らは 5 つの International IX で、経路情報について定量的な観測を行った。その結果、想像以上に経路が不安定であることを指摘している⁵⁾。一方、日本国内では、WIDE プロジェクトによる NSPIX⁶⁾ が運営されていたが、1997 年からは、商用の IX として JPIX (JaPan Internet eXchange⁷⁾) や MEX (Media Exchange⁸⁾) も運営を開始している。これら National IX は国内に終始するトラヒックを主に流通させているため、International IX に対するトラヒックの分散を行うことができる。しかしながら、インターネットの利用の拡大にともない、National IX においても IX に対して十分な帯域が確保されていない場合には、パケット損失などの問題があることが指摘されている^{9),10)}。

これらの問題を解決する方法として、我々は、地域内で、IGP (Internal Gateway Protocol) を用いて複数のネットワークを接続・統合し、地域におけるエンドシステム間の通信環境を改善する方法を提案し、実装を行った^{11),12)}。さらに、実際の運用から問題点を明らかにし、それを改善する方法としてパブリックに相互接続を行う地域 IX を構築する手法の提案を行った。山梨地域における地域 IX、山梨地域インターネット相

互接続機構 (以下、Y-NIX: Yamanashi Network Information eXchange) は本提案の実装である¹³⁾。地域 IX の実現以前は、経路の短縮化は情報通信の迅速化をもたらすであろうと単純に予想していたが、実際に IX が構築されてみると、この様子はそれほど単純ではないことが判明した。ある場合には地域 IX 経由の情報伝達は迅速でないと感じられたり、また、ある場合には、格段に迅速であると感じられたりする。迅速でない要因は、地域 IX に参加する ISP の接続回線の帯域幅が十分でないことと推定されるが、同じ帯域幅の回線を利用していても速度に違いを感じる場合がある。これは地域 IX を経由しない場合の通信では、遅延や信頼性などに問題があると考えられる。接続回線の帯域幅は、トラヒックへのニーズに見合う投資といった経済効果によって左右されるので、地域 IX への接続回線は、その利用率の向上を図るなどの地域内の要因によって改善されることが期待されるが、経路上の遅延や信頼性の改善は、地域内の要因のみで改善され難いことは明らかである。ここに地域 IX の有効性を経路上の遅延や信頼性などの視点から検証する意義が存在する。

本論文では、まず、地域 IX の実装である Y-NIX について述べる。そして、地域 IX を構築することにより期待できる通信環境の改善について評価するために、Y-NIX 上で実験を行う。この実験より山梨地域のエンドシステム間の通信環境が、Y-NIX を経由しない場合と比較して、どの程度改善されたかを定量的に示す。さらに、実験で得られた測定結果をもとに、TCP を用いた通信をシミュレーションし、これらのパラメータがエンドユーザに与える影響についても考察する。

以下 2 章では、地域 IX について要約する。3 章では本手法の実装である Y-NIX について述べる。4 章では Y-NIX 上で評価実験を行い、通信環境の測定を行う。5 章では実験で得られた測定値をもとに、TCP を用いた通信のシミュレーションを行う。

2. 地域 IX について

国内には、複数の地域 IX が存在するが、それぞれの地域の特性から、異なった目的を持っている¹⁰⁾。これらを大別すると経済的な効果を考慮したものとネットワークの通信環境の改善効果を期待するものに分けることができる。前者の場合はインターネットへのアップリンクを共有する手法をとっている^{14),15)}。後者では、IX に参加する組織は、インターネットへのアップリンクは独自に持ち、地域 IX にも参加を行う方法をとっている^{16),17)}。

地域 IX の運用により、ネットワークの通信環境として、大きく 2 点の改善が期待できる。

第 1 は地域 IX の構築により、地域に閉じた通信をエリア内に集約することである。これにより、トラヒックの集約を行うことができる。しかしながら、地域 IX に参加する ISP の数やエンドノードの数が少ない場合には、単一の地域 IX では効果は少ない¹⁸⁾。

第 2 は、エンドシステム間の経路の短縮による通信環境の改善である。エンドシステム間に入る機器の数が減少するので、RTT (Round Trip Time), 遅延, ジッタなどの改善が期待できる。

また、RSVP¹⁹⁾ など、エンドシステム間で帯域制御を行う方法は、ISP のバックボーンを経由する場合には、適用されていない²⁰⁾。しかしながら、地域 IX の構築により、他の ISP への依存度を少なくできるため、経路上の機器に対する調停やネットワークポリシーの設定も容易に行えるという長所もある。同様にネットワーク機器の異常やネットワークの輻輳が生じた場合も、地域 IX に参加する ISP の協調作業で解決することもできる。

一方で地域 IX の構築に関しては、

- 技術者が少ない。
- 経営規模の小さい ISP が多い。
- 費用対効果が明瞭でない。

など、社会的な問題も指摘されている¹⁰⁾。

3. 山梨地域インターネット相互接続機構 (Y-NIX)

山梨地域において、エンドシステム間の通信環境の改善を目的として、地域 IX を設計し、実装を行った。Y-NIX は以下の特徴を持つ地域 IX の実装である。図 1 に Y-NIX の構造を示すとともに、以下に概略をまとめる。

- ネットワークオペレーションの抽象化
ルートサーバ²¹⁾ とルーティングレジストリデータベース²²⁾ の導入により、データベースへの登録から、経路情報の供給が可能となる。また、ネットワーク情報の一元管理から、ネットワークオペレーションの作業量を軽減することができる。
- 経路制御プロトコルの変換
RIP2²³⁾ を用いて接続する組織の経路を BGP4²⁴⁾ に変換して経路制御を行う。この部分の運用は管理者と IX への参加者が共同で行う。プロトコル変換機構の導入により、ネットワーク機器の費用の抑制や、技術者のオペレーション技術の向上を図ることができる。

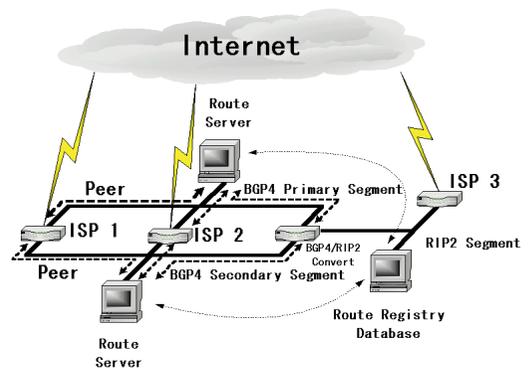


図 1 Y-NIX の構造
Fig. 1 Structure of Y-NIX.

● 信頼性の確保

BGP4 を用いて経路情報の交換を行うネットワークセグメントでは、ルートサーバ、ネットワークの二重化を行い、信頼性の確保を行っている。

● LAN スイッチの導入

二重化されたセグメントのネットワークは LAN スイッチにより構成されている。地域 IX への接続は参加する ISP からの距離が短い場合がある。このような場合には通信事業者に依存せずに、独自に無線や光通信などの媒体を用いて接続することができる。さらに接続方法も、データリンク層での接続を行うことも可能である。このような接続を行うことによって、ルータの数を減少させることができ、通信環境の改善も期待できる。

4. 評価実験

山梨地域のネットワーク通信環境の Y-NIX 導入による改善効果を評価するための実験を行う。

実験は地域内にあるエンドシステム間の通信に対して 2 種類の経路を構築し、その性能を反映するデータを測定した。それぞれのエンドシステムは互いに異なる ISP のネットワークに属している。その間を接続する第 1 の経路は Y-NIX を経由しない場合であり、地域外の経路を経由するものである。この経路を、ここでは非 Y-NIX 経由の経路と呼ぶ。第 2 の経路は Y-NIX を経由するものであり、これを Y-NIX 経由の経路と呼ぶ。この実験では、RTT (Round Trip Time), 伝播遅延, ジッタおよびパケット損失の諸量を測定した。これらの各量は、現在インターネットで使用されている主なアプリケーションばかりでなく、実時間処理を必要とするアプリケーションに対しても重要な影響を与える要素でもある。

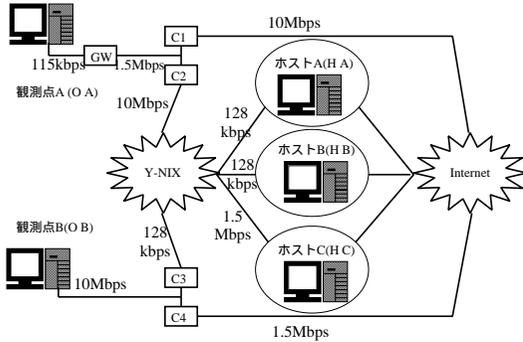


図 2 測定実験網

Fig. 2 Measurement network.

4.1 実験環境

測定を行ったネットワークを図 2 に示す。Y-NIX に参加する 6 組織のうち、測定可能な 5 組織の 6 区間で、実際に稼働しているネットワークを使用して実験を行った。

まず、観測用に 2 カ所にホストを配置する（以下、観測点 A、観測点 B と呼ぶ）。次に実験用のホストをそれぞれ 3 カ所に配置する（以下、ホスト A、B、C と呼ぶ）。測定時のネットワーク利用状況を観測するために C1、C2、C3、C4 の各ルータでトラフィックの測定も行う。また、観測ホスト A の直近にはゲートウェイ (GW) を設置し、物理的な回線速度を調整している。測定は、ホスト A、B、C と観測点 A、B の間で Y-NIX 経由と非 Y-NIX 経由について行った。

4.2 RTT, 伝播遅延の測定

伝播遅延, RTT の測定には pathchar²⁵⁾ を用いて測定を行った。pathchar は UDP と ICMP を用いて、2 点間の経路と通信環境を実測データをもとに推測する。多くのサンプルから推測を行うため、異なる時間帯で測定を行ってもほぼ同じ結果となる。pathchar を用いて測定を行った場合の伝播遅延は、物理媒体での遅延（物理媒体の速度と距離に依存）とルータでのフォワーディング遅延により構成されている。一方、RTT は path-MTU サイズの packets がルータでのキューイング遅延なしに 2 点間を往復する時間を示しており、伝播遅延、転送遅延およびエンドシステムでの処理遅延などを含んでいる。

pathchar の測定は図 2 の観測点 A、B からホスト A、B、C に対してそれぞれ行った。pathchar は UDP パケットを用いて、各ゲートウェイ間の実効帯域、伝播遅延、パケットロスを推測する。推測を行うために経路上に存在するゲートウェイ間を順次 UDP パケットのサイズを変化させて複数回の測定を行う。今回の

表 1 RTT, 伝播遅延 (ms)

Table 1 RTT and propagation delay (ms).

区間	Y-NIX 経由		非 Y-NIX 経由	
	伝播遅延	RTT	伝播遅延	RTT
H A-O A	34.33	343.70	60.20	285.00
H B-O A	13.73	281.80	61.26	252.44
H C-O A	9.47	183.00	41.80	214.30
H A-O B	46.36	291.10	51.88	122.60
H B-O B	24.95	228.40	52.92	93.39
H C-O B	20.37	131.00	33.38	51.09

表 2 RTT, 伝播遅延の測定時間

Table 2 Time and day of the measurements of RTT and propagation delay.

区間	Y-NIX 経由		非 Y-NIX 経由	
	日時 (1999 年)		日時 (1999 年)	
H A-O A	6/10 14:04-6/11 22:16	8/2 08:03-8/3 05:53		
H B-O A	6/10 13:47-6/11 03:04	7/27 09:53-7/28 08:57		
H C-O A	8/4 09:25-8/5 06:50	6/15 00:53-6/21 21:37		
H A-O B	6/3 00:56-6/4 17:50	7/28 14:19-7/29 00:32		
H B-O B	6/10 17:54-6/12 02:37	7/27 10:49-7/28 03:40		
H C-O B	7/27 22:49-7/29 14:03	6/10 14:14-6/10 17:30		

測定では 64 バイトから 1500 バイトまでを 44 バイトずつ増加させ、それぞれ 10 回、計 320 回の測定を各ゲートウェイ間に行った。さらに、エンドシステム間の測定も 10 回行った。そのため、各ゲートウェイ間は 3200 回の測定を行っている。これまでの測定結果では、pathchar の測定を 1 週間行った結果、pathchar の推測する値は時間帯やトラフィックによらず、毎回ほぼ等しい値となるため¹⁸⁾、10 回の測定で十分と判断した。

RTT と伝播遅延の測定結果を表 1 に示す。また、それぞれ測定を行った時間を表 2 に示す。そして、測定時の C1、C2、C3、C4 におけるトラフィック状況を図 3 に、Y-NIX のトラフィック状況を図 4 に示す。計測はルータのインターフェイスに対して 15 分ごとに MIB (Management Information Base)²⁶⁾ 変数 ifInOctets (メディアから受信した総オクテット数)、および ifOutOctets (メディアから送信した総オクテット数) の値を収集している。ここでは、ifInOctets と ifOutOctets の合計を表示している。

4.3 RTT, 伝播遅延に関する考察

RTT に関しては、経路上に存在する回線の転送遅延 (帯域幅) に依存している。観測点 A での観測において、Y-NIX に 128 kbps で接続しているホスト A、B の場合、非 Y-NIX 経由が優れた特性を示している。しかしながら、1.5 Mbps で接続しているホスト C の場合には、Y-NIX 経由が優れた特性を示している。同様に観測点 B での観測においても、観測点 B が Y-NIX

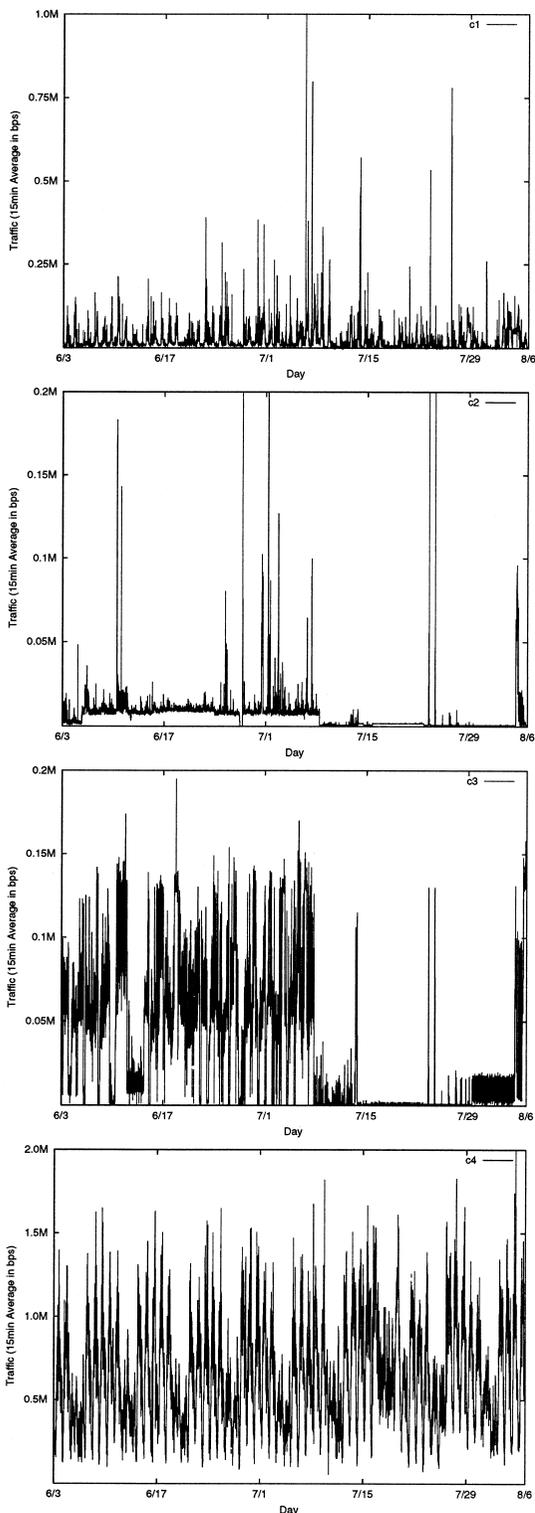


図 3 C1, C2, C3, C4 のトラフィック
Fig. 3 Traffic at C1, C2, C3, C4.

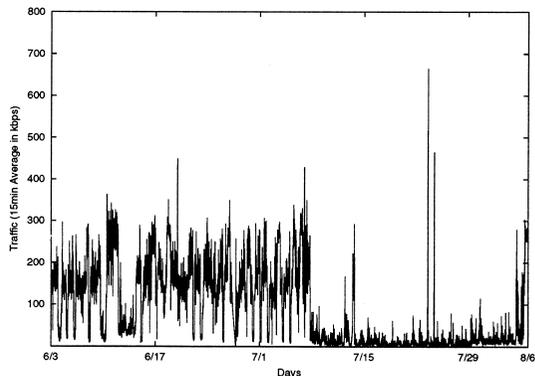


図 4 Y-NIX のトラフィック
Fig. 4 Traffic of Y-NIX.

表 3 Hop あたりの伝播遅延 (ms)
Table 3 Propagation delay per hop (ms).

区間	Y-NIX 経由		非 Y-NIX 経由	
	Hop	遅延/Hop	Hop	遅延/Hop
H A-O A	8	4.29	13	4.63
H B-O A	8	1.72	14	4.38
H C-O A	7	1.35	12	3.48
H A-O B	6	7.73	10	5.19
H B-O B	6	4.16	11	4.81
H C-O B	5	4.07	7	4.77

に対して 128 kbps の回線で接続しているために、非 Y-NIX 経由の特性が優れている。測定値より、RTT は Y-NIX への回線速度に依存しており、Y-NIX に対して、十分高速な回線速度を持っている場合には改善されている。伝播遅延に関しては、すべての区間で Y-NIX 経由が優れた特性を示している。これは、回線速度には依存していない。伝播遅延は伝送媒体の速度が同じだとしたとき、伝送距離と経路間に入るネットワーク機器に依存するが、伝送媒体の速度に対して、伝送距離は大きな差とはならないと考えられる。そこで、各測定区間でネットワーク層の処理を行う機器の数 (Hop 数) を調べ、機器 1 台あたりの伝播遅延を計算した。結果を表 3 に示す。

測定結果から、全 6 区間のうち、5 区間においては 1 Hop あたりの伝播遅延も Y-NIX 経由が少ない。これには 2 つの原因が考えられる。

第 1 はデータリンク・物理層の機器の数の差である。たとえば、国内をサービスエリアとする ISP では、バックボーンに ATM (Asynchronous Transfer Mode) 網を用いる場合が多い。ATM 網ではネットワーク層の処理を行わないために、Hop 数としては表れない。

第 2 はネットワークの輻輳である。ルータからパ

表 4 ジッタ、パケット損失
Table 4 Jitters and packet loss.

区間	Y-NIX 経由		非 Y-NIX 経由	
	標準偏差	損失率	標準偏差	損失率
H A-O A	75.40	0.07%	560.53	0.44%
H B-O A	24.49	0.02%	539.15	0.43%
H C-O A	2.24	0.00%	7776.67	6.57%
H A-O B	285.81	0.12%	304.94	0.17%
H B-O B	276.98	0.09%	166.97	2.12%
H C-O B	2.24	0.00%	7421.01	0.99%

ケットを送り出す場合に、輻輳状態にあると、ルータはパケットを送り出すことができない。その間はルータ内部にパケットが保持され、最悪の場合にはパケットの損失となる。そのため、パケット損失の多い経路では、伝播遅延も大きくなる。

伝播遅延の測定結果をまとめると、非 Y-NIX 経由の値を 1 とすると、6 区間において、22.41% から 89.36%、平均では 49.94% に改善されている。

4.4 ジッタ、パケット損失の測定

図 2 においてホスト A, B, C をパケット発信機とし、観測点 A, B をパケット収集機とする。ホスト A, B, C から観測点 A, B に対して 1 秒間隔でシーケンシャル番号を付与した UDP パケットを送出する。これを観測点 A, B で収集し、シーケンシャル番号の確認とパケットの到着間隔を測定する。本実験では、パケットの到着間隔のばらつきをジッタと定義し、ジッタを評価するため、パケットの到着間隔を測定し、そのデータの標準偏差をもって、ジッタを評価する。また、パケット損失はシーケンシャル番号に欠番が生じたとき、これをパケット損失とする。

UDP パケットのサイズは 10 バイトおよび 1024 バイトで行った場合に大きな差はないことが確認されている¹⁸⁾。そこで、ここでは、G.729a²⁷⁾ を使用した Voice over IP サービスを想定し Ethernet パケット長を 78 バイトとした。

測定は曜日や 1 日の変化などを考慮し、各区間で 1 週間にわたり、約 590,000 パケットを送出して行った。

ジッタおよびパケット損失の測定結果を表 4 にまとめる。また、それぞれ測定を行った時間を表 5 に示す。測定時の C1, C2, C3, C4, Y-NIX におけるトラフィック状況および測定方法は 4.2 節と同様である。

4.5 ジッタ、パケット損失に関する考察

全 6 区間のうち、5 区間において、Y-NIX 経由が優れた特性を示している。特に観測点 A での観測では、各区間においてオーダに違いがある。ホスト C から非 Y-NIX 経由の測定値は他と比較すると大幅な差がある。これは、経路上に過負荷なルータが存在する

表 5 ジッタ、パケット損失の測定時間
Table 5 Time and day of the measurements for jitters and packet loss.

区間	Y-NIX 経由		非 Y-NIX 経由	
	日時 (1999 年)		日時 (1999 年)	
H A-O A	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00
H B-O A	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00
H C-O A	7/15 19:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00
H A-O B	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00
H B-O B	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00
H C-O B	7/15 18:00-7/22 18:00	6/16 22:00-6/23 22:00	6/16 22:00-6/23 22:00	7/15 18:00-7/22 18:00

か、あるいは利用率の非常に高い回線が存在しているためであると思われる。経路が長くなり、ISP のバックボーン回線を経由する場合には、このような確率も高くなる。ジッタの測定値 (標準偏差) を Y-NIX 経由と非 Y-NIX 経由で比較すると、非 Y-NIX 経由の値を 1 とした百分率で示すと、0.03% から 165.89% の値になっており、平均では 46.28% に改善されている。

パケット損失に関しては、全区間で大幅な改善が見られる。非 Y-NIX 経由では 1% を超えるパケット損失も測定されているが、Y-NIX 経由では最大でも 0.12% である。パケット損失の測定値を Y-NIX 経由と非 Y-NIX 経由で比較すると、非 Y-NIX 経由の値を 1 とした百分率で示すと、6 区間で 0% から 70.59%、平均では 15.90% の値に改善されている。

5. TCP パフォーマンスのシミュレーション

現在のインターネットで利用されるアプリケーションの多くが TCP を利用している。しかしながら、前章で測定した諸量は UDP および ICMP を用いて計測を行っている。そこで、本章では、前章で測定した伝播遅延、パケット損失率をもとに TCP での通信をシミュレーションし、これらの通信パラメータがエンドシステムにどのような影響を与えるか考察する。シミュレーションには、図 5 に示すモデルを使い、UCB/LBNL/VINT の開発による Network Simulator²⁸⁾ で行った。図 5 において、 n_0 , n_1 はエンドシステムを示す。また、 n_0 , n_1 を結ぶ通信線の特徴 (伝播遅延、パケット損失率) に前章で得られた測定結果を反映させる。シミュレーションでは n_0 から n_1 に対しデータが流れるように ftp を 9 秒間実行し、その間に通信線上を流れる TCP パケットを観測する。これにより、前章の実験で得た伝播遅延とパケット損失が生じるような通信線において、ftp を行った場合の転送速度をシミュレーションにより求めてみる。

シミュレーションは、Y-NIX 経由と非 Y-NIX 経由のそれぞれ 6 区間で行った。このモデルでは通信線

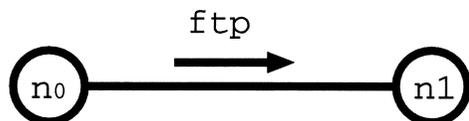


図 5 シミュレーションモデル
Fig.5 A simulation model.

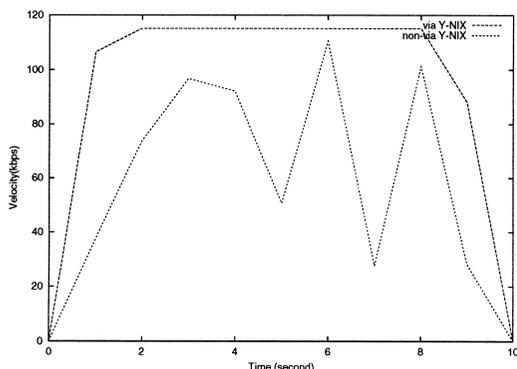


図 6 転送速度のシミュレーション(観測点 A-ホスト C 間)
Fig.6 Transmission velocity simulation between
observation A and host C.

を 1 つに単純化しているため、転送遅延が同じになる。そのため RTT は Y-NIX 経由の方が小さくなる。これは現在のネットワーク状況とは異なっているが、Y-NIX への接続回線の帯域幅を十分なものにする事で、改善することができる。また、ここでのシミュレーションの結果には大きな影響を与えない。以下、図 2 の観測点 A, B を想定したシミュレーションによって得られた転送速度について観測点別に考察する。

5.1 観測点 A

パケット損失率の最も多い、観測点 A とホスト C の間で ftp を行った場合の転送速度を図 6 に示す。ここで、横軸は時間(秒)を、縦軸は転送速度(kbps)を表す。

観測点 A では、直近に GW を設置し、帯域を 115 kbps に制限しているため、Y-NIX 経由、非 Y-NIX 経由のいずれにおいても最大転送速度は 115 kbps となる。Y-NIX 経由の場合はパケット損失率が 0% であるため、TCP のスロースタートアルゴリズムに従って転送速度が増加し理論値に近い速度で転送が行われている。一方、非 Y-NIX 経由では、損失率が 6.57% あり転送速度が制限されている。これは損失があるたびに、TCP のタイムアウトが発生し、TCP の倍数減少輻輳回避アルゴリズムによってウィンドウサイズが減少するために起こると考えられる。このように同じボトルネックを共有していても通信パラメータの違いに

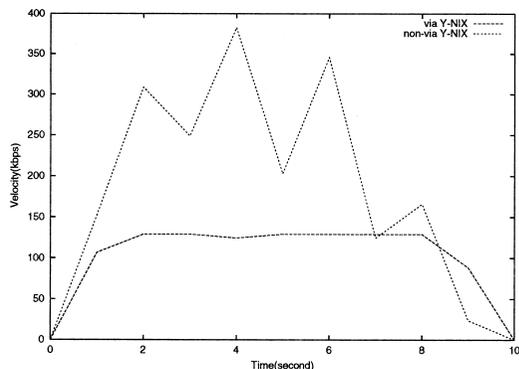


図 7 転送速度のシミュレーション(観測点 B-ホスト B 間)
Fig.7 Transmission velocity simulation between
observation B and host B.

より、転送速度には大きな影響が生じる。9 秒間の転送量を比較すると、Y-NIX 経由に対して非 Y-NIX 経由では 61.8% 程度しか転送できていない。平均転送速度は Y-NIX 経由では 111.3 kbps であるのに対し、非 Y-NIX 経由では 68.7 kbps である。

他のホスト(A, B)と観測点 A の間のシミュレーションでは、パケット損失率がいずれの場合も少ないため、大きな違いは生じていない。

5.2 観測点 B

パケット損失率の最も多い、観測点 B とホスト B の間で ftp を行ったときの、転送速度を図 7 に示す。ここで、横軸は時間(秒)を、縦軸は転送速度(kbps)を表す。

観測点 B とホスト B の間の最大転送速度は、Y-NIX 経由の場合は 128 kbps であり、非 Y-NIX 経由の場合は 384 kbps である。非 Y-NIX 経由では、パケット損失率が 2.12% であるために、十分な転送速度が得られていない。特に 7 秒付近においては、128 kbps 程度の転送速度となっている。9 秒間の転送量を比較すると、Y-NIX 経由に対して非 Y-NIX 経由では 3 倍の転送速度を持ちながらも 178.8% 程度である。また、平均転送速度は Y-NIX 経由では 121.5 kbps であるのに対し、非 Y-NIX 経由では 217.3 kbps である。

他のホスト(A, C)と観測点 B の間のシミュレーションでは、通信線の帯域幅の差が大きく影響しており、それぞれ十分なパフォーマンスでの転送が行えている。

5.3 パケット損失率と平均転送速度に関する考察

これまでの転送速度のシミュレーションから、パケット損失が TCP を用いた通信のパフォーマンスに大きな影響を与えることが明らかになった。そこで、さらに、パケット損失率と平均転送速度の関係を調べるた

表 6 パケット損失率と転送速度
Table 6 Packet loss rate and transmission velocity.

損失率 (%)	平均転送速度 (kbps)
0	108.2
1	104.6
2	104.1
3	90.7
4	82.1
5	76.4

めにシミュレーションを試みる。シミュレーションは非 Y-NIX 経由で観測点 A とホスト C が通信を行った場合を想定し、伝播遅延 41.8 ms、帯域 115 kbps とした。パケット損失率の値を変化させ、9 秒間 ftp を行った場合の平均転送速度を調べる。比較のため、Y-NIX 経由で観測点 A とホスト C が通信を行った場合を想定したとき（伝播遅延 9.47 ms、帯域 115 kbps、パケット損失率 0%）のシミュレーションも行った。この場合の平均転送速度は 111.3 kbps である。表 6 にパケット損失率と平均転送速度の関係を示す。

表 6 より、2 つの注目すべき点が示されている。第 1 は、パケット損失率が 0% であっても、Y-NIX 経由の通信を想定した場合（111.3 kbps）と比較して平均転送速度に約 3% の差が生じることである。これは、伝播遅延の差が影響している。同じ帯域幅の通信回線を同数共有している場合には、転送遅延が同じになるため、一般に、伝播遅延の少ない方が RTT が小さくなる。TCP はスロースタートアルゴリズムによって、徐々に転送速度を速めて行くが、RTT が短いと輻輳回避段階に安定するまでの時間が短くなる。つまり、転送速度の立上り速度が速くなる。そのため、全体での平均転送速度に影響を与えている。

第 2 は、パケット損失率が 3% を超えると、平均転送速度が大幅に（約 16%）低下することである。TCP を用いた通信では、パケット損失が生じると、タイムアウト、パケットの再送が行われると同時に、倍数減少輻輳回避アルゴリズムにより、ウィンドウサイズが小さくなるため、転送速度も抑制される。パケット損失が 3% を超えるような通信路が存在する場合には、利用者は接続回線速度に対して十分なパフォーマンスを得ることができない。このような場合に、地域 IX の構築により、利用者の環境を大きく改善することができる。

6. おわりに

本論文では、地域におけるエンドシステム間の通信環境の改善手法として、地域 IX を用いる手法の実装、およびその評価を行った。

本手法の実装を行った山梨地域 IX (Y-NIX) での評価実験から、本手法が伝播遅延、ジッタ、パケット損失に関して特に優れた通信環境を提供できることを定量的に示した。また、実験から得られた通信パラメータをもとに、TCP を用いた通信の転送速度をシミュレーションにより推測した。

現在のインターネット利用者の約 80% がインターネットへの接続線の速度が 64 kbps 以下である²⁹⁾ ことを考えるとき、本手法の適用による山梨地域のエンドシステム間における通信環境改善効果は大きいと考えられる。さらに、今後のインターネット利用を考えるとき、音声や動画など実時間処理が必要なアプリケーションの利用が欠かせない。このような場合にも本手法の適用による効果が期待できる。

今後の課題として、

- 地域 IX を構築したときのトラフィック集約効果についての研究
- 地域 IX のスケールと効果についての研究
- 地域 IX を基盤として、その特徴を活かしたシステムの開発³⁰⁾
- ネットワーク接続のポリシーに、帯域確保などの情報を含めた IX 環境の構築
- 高速媒体を用いたネットワーク接続手法の研究などを行っていく必要がある。

謝辞 本研究に際しては Y-NIX 参加 ISP の技術者の方々から多くの意見、協力をいただいている。特にトラフィックデータを公開していただき、また実験にも協力をいただいた山梨地域インターネット協会 (YACC) の方には深く感謝する。また、Y-NIX の設立および運営には山梨県および甲府市の援助協力を受けている。これら関係者の方々にも感謝する。

参 考 文 献

- 1) Paxson, V.: End-to-End Routing Behavior in the Internet, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.5, pp.601-615 (1997).
- 2) Manning, B.: Exchange Point Information, <http://www.ep.net/> (1999).
- 3) Chinoy, B. and Salo, T.: Internet Exchanges: Policy-Driven Evolution, *Harvard Workshop On Co-Ordination Of The Internet* (1996).
- 4) McFadden, M.: Regional Exchange Points Growing Trend in U.S., *CIXTRA*, Vol.2, pp.1-6 (1996).
- 5) Labovits, G., Malan, G. and Jahanian, F.: Internet Routing Instability, *ACM SIGCOMM '97*, ACM (1997).
- 6) WIDE-Project: WIDE/NSPIX Home Page,

- http://xroads.sfc.wide.ad.jp/NSPIXP/ (1999).
- 7) JPIX: Japan Internet Exchange, <http://www.jpix.co.jp/> (1999).
 - 8) MEX: Media EXchange Co., Inc., <http://www.mex.ad.jp/> (1999).
 - 9) 菅野浩徳, 樋地正浩, 布川博士: コミュニティインターネットの相互接続実験, 分散システム運用技術研究報告, Vol.97-DSM-6, No.6, pp.19-24 (1997).
 - 10) 中川郁夫, 米田正明, 安宅彰隆: 国内における地域 IX の動向, 分散システム運用技術研究報告, Vol.97-DSM-7, No.7, pp.1-6 (1997).
 - 11) 林 英輔, 本多弘樹, 吉川雅修, 八代一浩, 山本芳彦: TRAIN-Yamanashi の NOC 運用と山梨地域インターネット YACC (1994).
 - 12) 林 英輔, 本多弘樹, 吉川雅修, 八代一浩, 山本芳彦: 地域内インターネット相互接続機構の技術と運用, 分散システム運用技術研究報告, Vol.96-DSM-1, No.1, pp.41-48 (1996).
 - 13) 八代一浩, 笹本正樹, 平川寛之, 山本芳彦, 林英輔: 地域 IX 技術の運用と地域情報化への適用, 分散システム運用技術シンポジウム'98, pp.11-18, 情報処理学会 (1998).
 - 14) 東海地域ハブ研究会: <http://www.tkix.net/> (1999).
 - 15) 岡山県高度情報化推進協議会: <http://www.okix.ad.jp/> (1999).
 - 16) 東北地域地域内インターネット相互接続研究会: <http://www.tia.ad.jp/trix/> (1999).
 - 17) 富山地域 IX 研究会: <http://www.toyama-ix.net/> (1999).
 - 18) 八代一浩, 笹本正樹, 平川寛之, 山本芳彦, 林英輔: 地域 IX (Y-NIX) の運用とネットワーク特性, 分散システム運用技術研究報告, Vol.99-DSM-13, No.13, pp.49-56 (1999).
 - 19) Zhang, L., Berson, S., Herzog, S. and Jamin, S.: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification, Braden, R. (Ed.), RFC 2205 (1997).
 - 20) 瀬戸康一郎ほか: ギガビット Ethernet 教科書, アスキー出版局 (1999).
 - 21) Project, R.A.: The Route Server Daemon, <http://www.isi.edu/div7/ra/RSd/> (1999).
 - 22) Services, R.I.: RADB database Services, <http://www.merit.edu/radb/> (1999).
 - 23) Marikn, G.: RIP Version 2 Carrying Additional Information, RFC 1723 (1994).
 - 24) Rekhter, Y. and Li, T.: A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4), RFC 1771 (1995).
 - 25) Jacobson, V.: Pathchar, <ftp://ftp.ee.lbl.gov/pathchar/> (1999).
 - 26) Case, J., Fedor, M., Schoffstall, M. and Davin, J.: A Simple Network Management Protocol (SNMP), RFC 1157 (1990).

- 27) G.729, I.-T.R.: Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited-linear-prediction (CS-ACELP), G.729 (1996).
- 28) McCanne, S. and Floyd, S.: UCB/LBNL/VINT Network Simulator ns version 2, <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/> (2000).
- 29) 日本インターネット協会: インターネット白書'99, インプレス (1999).
- 30) 八代一浩, 笹本正樹, 平川寛之, 山本芳彦, 林英輔: 地域 IX を基盤とするネットワーク中継, 分散システム運用技術研究報告, Vol.98-DSM-10, No.10, pp.49-54 (1998).

(平成 12 年 5 月 7 日受付)

(平成 12 年 10 月 6 日採録)



八代 一浩 (正会員)

1962 年生。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。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。電子情報通信学会会員, 日本教育工学会会員。



笹本 正樹

1963 年生。1986 年日本大学工学部工業化学科卒業。同年(株)ニスカ入社, 現在事業開発本部勤務。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。



平川 寛之

1965 年生。1988 年桐蔭学園工業高等専門学校電気工学科卒業。1994 年放送大学教養学部卒業。1994 年山梨県工業技術センター研究員。1998 年より現職。ネットワーク関連技術, 制御工学に関する研究に従事。



山本 芳彦

1968 年生。1992 年山梨大学大学院工学研究科計算機科学専攻修了。1992 年よりサンテクノカレッジ研究員, 現在に至る。1993 年より山梨大学工学部電子情報工学科非常勤講師。インターネット技術に関する研究に従事。日本ソフトウェア科学会会員。



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
術研究会前主査・現在運営委員.
