

確率過程による LAN トラフィックのモデル化における一考察

上田 浩^{†1}, 奈須野 裕^{†2} 岩谷 幸雄^{†1}
五十嵐 隆治^{†3} 木下 哲男^{†4}

東北大学電気通信研究所の基幹ネットワークスイッチの実測トラフィックを確率過程としてとらえ、ネットワーク状態と自己相似性の強弱を示す Hurst パラメータの関連について、ネットワークアプリケーションごとに検討を試みた。その結果、HTTP などバースト性の高いトラフィックの Hurst パラメータは高く、FTP など一様なトラフィックのそれは低いことが分かった。さらに、長期間のトラフィックデータから推定した Hurst パラメータは一定の値に収まっており、ネットワーク状態の変化に追隨して Hurst パラメータが変化する場合があることが分かった。

Note on Modeling for LAN Traffic by Stochastic Process

HIROSHI UEDA,^{†1} YUTAKA NASUNO,^{†2} YUKIO IWAYA,^{†1}
RYUJI IGARASHI^{†3} and TETSUO KINOSHITA^{†4}

We consider about a relationship between Hurst parameter, a measure of self-similarity of network traffic on R.I.E.C, Tohoku Univ. and network status by analyzing traffic data which is categorized by network application. As a result, we observed that the Hurst parameter of the traffic that has high-burstness, for example HTTP is high, and that of the uniform traffic, for example FTP is low. Furthermore, we recognize that the case Hurst parameter varies with network status because of the Hurst parameters being estimated from long-term traffic data goes to similar extent.

1. はじめに

これまで用いられてきたネットワークトラフィックに関するモデル化の例として、電話網における呼の到着のポアソン過程としてのモデル化をあげることができる。ポアソン過程は電話の呼の到着間隔 τ が指数分布 $\tau = e^{-\mu\tau}$ に従う確率過程であり、単位時間あたりの呼の到着数 μ のみで記述できるため、電話網の設計とそのトラフィック予測において実用上大きな利点

がある。

一方、IP 網のトラフィックに関しては、1994 年以来、LAN トラフィックに自己相似性があるとの様々な報告がなされている^{(1),(6),(9),(10)}。自己相似性とは、“対象の持つ特徴が長さや時間などのスケール変換に対して不変である性質”と定義できる⁽⁸⁾。たとえば、図形においては、図 1 のコッホ曲線のように、図形を拡大縮小しても同じ形が見られることである、LAN トラフィックにおいては、注目する単位時間のスケールにかかわらず同様の変動が観測されることである⁽⁸⁾。

図 2 に、東北大学電気通信研究所の実測 LAN トラフィックとシミュレーションで生成したポアソン過程に従う擬似トラフィックの例を示す。ポアソン過程に従うトラフィック（右）は、注目する単位時間のスケールが大きくなると、ポアソン過程の平均値 μ に漸近し平滑化されるのに対し、実測 LAN トラフィック（左）

†1 東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

†2 日本テレコム/東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻
Japan Telecom Corporation/Department of Electrical and Communication Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

†3 秋田大学工学資源学部

Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

†4 東北大学情報シナジーセンター

Information Synergy Center, Tohoku University

現在、群馬大学総合情報メディアセンター

Presently with Library and Information Technology Center, Gunma University

ネットワーク上の様々なイベント（呼の発生時期、通信時間、必要帯域など）はいずれも不確定でランダムであるが、これらの事象がランダムに、ある確率分布に従って生起していると考えられ、確率過程を用いたモデル化によって、ネットワークの挙動をある程度理解できる。

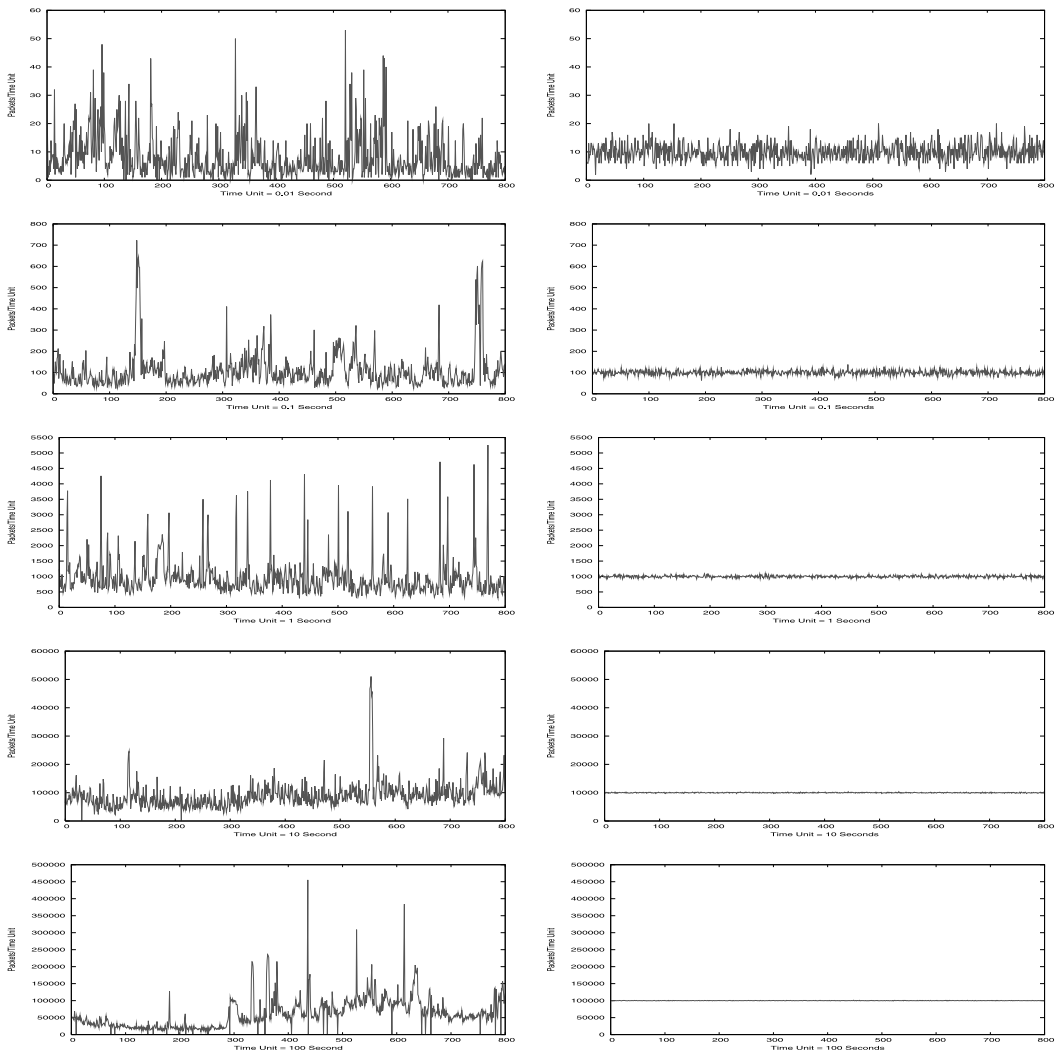


図 2 単位時間を 0.01, 0.1, 1, 10 s にとったトラフィック時系列。(左)上から順に, 2005/09/14 の 13:58-14:03, 13:58-14:03, 13:58-14:18, 13-15 時, 2005/09/14 全体の東北大学電気通信研究所の対外接続装置の上位リンクのトラフィックのそれぞれ最初の 800 ポイント。時間スケールが大きくなっても平滑化されない。(右) $\mu = 10000$ で生成した, 擬似ポアソン過程のトラフィック時系列。時間スケールが大きくなると平滑化される

Fig. 2 A comparison of LAN traffic (left) with Poisson traffic (right).

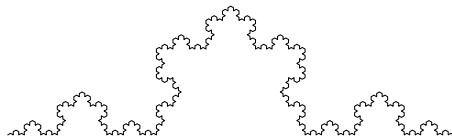


図 1 自己相似性の例：コッホ曲線

Fig. 1 An example of self-similarity: Koch-Curve.

は, 左のように注目する時間スケールが大きくなっても(すなわち, 拡大しても), そのバースト性が失われない自己相似的なものであるため, ポアソン過程で

表 1 電話網と IP 網の比較

Table 1 A comparison of Telephony network with IP network.

電話網		IP 網
リンク利用	占有, 連続的	共有, 離散的
イベント生起	ポアソン分布	他のパケット生起に依存

モデル化するのは困難であることが分かる。

LAN トラフィックにポアソン過程が適用できない理由は, 表 1 に示すように, IP 網では, リンクの利用形態が電話網とは異なることと,

- 大きなデータはフラグメントされ送られる,
- TCP は Window Control を行う,
- Ethernet の通信方式が CSMA/CD である,

ことから, パケット生起が他のパケット生起に依存し, 電話網で成り立つイベント生起の独立性, 無記憶性, 時間的一様性が成り立たないことがあげられる¹⁴⁾.

一方, 独立な多数のユーザがアクセスしているインターネットのバックボーントラフィックにはある種のランダム性があり, ポアソン過程に非常に近い性質を示すとの報告もあるため¹¹⁾, ポアソンのか, 自己相似のどちらかというトラフィックの性質はネットワークの利用状況に依存すると予想される.

ネットワークの利用状況を詳細に調べるための 1 つの手段として, http, ftp などのネットワークアプリケーション別のトラフィック解析をあげることができる.

トラフィックはネットワーク上の (複数の) サービスのパケットを重畳したものであるから, ネットワークアプリケーション別のトラフィックの自己相似性を検証することに興味を持たれる.

本論文は, 東北大学電気通信研究所の基幹ネットワークスイッチで観測したトラフィックを確率過程としてとらえ, その自己相似性を全トラフィックだけでなく, ネットワークアプリケーション別に解析し, 自己相似性の顕現に関し詳細に考察するものである.

以下, まず 2 章で確率過程の自己相似性について述べる. 次に, 3 章で既存研究に触れ, 本研究の位置付けを明確にする. 4 章では東北大学電気通信研究所の基幹ネットワークスイッチのトラフィックを観測した手法について述べ, 5 章では, 4 章のデータに基づいてトラフィックの自己相似性をネットワークアプリケーション別に解析し, 結果についての考察を行う. 自己相似性とネットワークの利用状況の関係についても考察する. 最後に, 6 章でまとめと今後の課題を述べる.

2. 自己相似性を持つトラフィックについて

本章では, 確率過程の自己相似性について定義し, その度合いを示す Hurst パラメータの推定方法について述べる.

2.1 自己相似性

本論文では時間区間 $(t, t+1]$ における到着パケット数を定常確率過程 X_t として扱う. いま, X_t を m 個ずつのブロックにまとめた過程を考える. すべての

$m \geq 1$ に対して, X_t と

$$X_t^{(m)}(H) = \frac{1}{m^H} \sum_{k=0}^{m-1} X_{mt+k} \quad (1)$$

が同じ確率法則に従うとき, X_t は H を自己相似パラメータに持つ自己相似過程であるという. H は Hurst パラメータと呼ばれる (2.2 節で後述). m の変化は単位時間スケールの変化に相当し, m にかかわらず, もとの確率過程の時間スケールを m 倍し, 大きさのスケールを $1/m^H$ 倍した確率過程はもとの確率過程と同じ確率法則に従うことを意味している.

特に, $X_t^{(m)}$ の自己相関関数

$$r_t^{(m)} \rightarrow r(t) \sim t^{-(2-2H)} \quad (2)$$

のとき, 確率過程 X_t は漸近的な 2 次の自己相似性を持つという. これは, 十分大きな t に対しても自己相関関数の減衰が非常に緩やかであり, その積分値が発散することを意味している.

式 (1) より, H が 1 に近いほど自己相似性が強いといえる. このことは, 確率過程の H によるモデル化の可能性を示唆している.

2.2 R/S 解析による Hurst パラメータの推定

H の推定方法にはいくつかの手法があるが, 本論文では R/S 解析と呼ばれる手法を用いる. R/S 解析とは, R/S 統計量と呼ばれる量を両対数グラフにプロットし, その回帰直線の傾きを求めることで H を推定する方法である.

確率過程 X_t を m 個ずつに分けたとき, $l = 1, 2, \dots$ 番目のブロックについて, ブロック内での平均値を $X_l^{(m)}$ とするとき,

$$Z(l, m, i) = \sum_{j=(l-1)m+1}^{(l-1)m+i} X(j) - iX_l^{(m)} \quad (3)$$

で示される, i 番目の時点での平均値からのずれを計算し, 以下の R/S 統計量

$$\frac{R(l, m)}{S(l, m)} = \frac{\max_{1 \leq i \leq m} Z(l, m, i) - \min_{1 \leq i \leq m} Z(l, m, i)}{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=(l-1)m+1}^{lm} \{X_i - X_l^{(m)}\}^2}} \quad (4)$$

を求める. Hurst は, ナイル川の流量解析から経験的に $m \rightarrow \infty$ のとき, $1/2$ より大きい H に対して R/S 統計量が m^H に比例することを発見した³⁾. すなわち,

$$\log E \left[\frac{R}{S} \right] \approx a + H \log m \quad (5)$$

と近似できる. R/S 統計量- m の両対数プロットをとり, 直線で回帰したときの傾きが Hurst パラメータの

たとえば, WWW サーバの heavy-tail なファイル分布がトラフィックの自己相似性の原因であると報告されている⁷⁾.

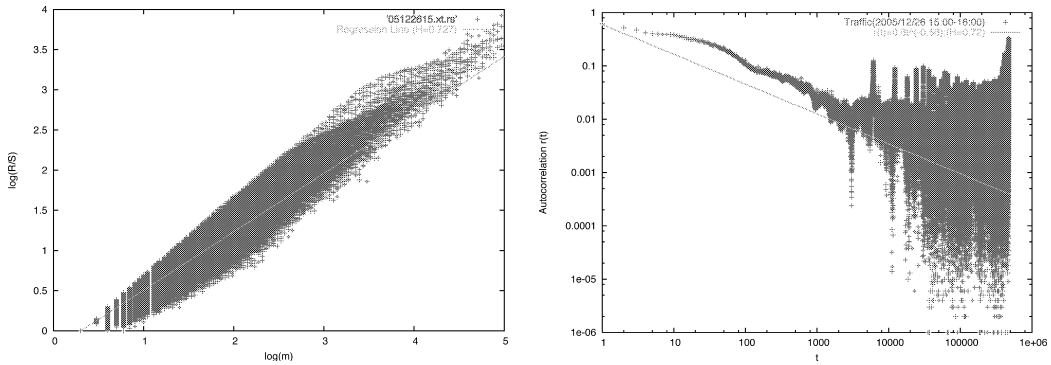


図3 2005年12月15日のトラヒックのR/S解析(左)と自己相関解析(右)の結果
Fig. 3 Pox plot diagram (left) and autocorrelation function (right) of traffic data on 26 Dec. 2005.

推定値となる。

3. 既存の研究と本研究の位置付け

本章では、既存の自己相似トラヒックに関する研究について触れ、本研究の位置付けを明確にする。

近年の研究結果から、LAN、WANなど測定対象のネットワークの種類によって、また、観測の時間スケールに依存して、トラヒックの特性が自己相似であったり、ポアソンのであったりすることが指摘されている^{4),16)}。これをふまえ、大学内LANのトラヒックについて、さらに学術情報ネットワーク(SINET)のトラヒックの自己相似性を検証しトラヒックモデルのあてはめを試みた例が報告されている^{15),17),19)}。

さらに、ネットワークアプリケーションレベルのトラヒック特性の違いに注目しインターネットのHTTP、SMTPトラヒックに関して検討を行った結果、局所的なポアソンの性質が見られたという研究もある²⁾。

加えて、TCP、UDPといった上位プロトコルがどのようにトラヒックの自己相似性に影響を与えるのか、シミュレーションモデルによる検討もなされている^{12),13)}。

このように、トラヒックの自己相似性はネットワークの利用状況に依存する。さらに、ネットワークの利用状況はネットワークアプリケーション別のトラヒックを重畳したものであるから、トラヒックを確率過程としてモデル化し、Hurstパラメータを推定することによりトラヒック特性をネットワークアプリケーション別に考察することはネットワークの状態を把握するために有用であると考えられる。

ネットワークアプリケーション別にトラヒックの自己相似性について検討を行った報告は少ないため、本論文で述べる解析結果はきわめて新規性が高いもので

ある。

4. トラヒック観測手法

本章では、東北大学電気通信研究所(以下通研)の基幹ネットワークスイッチのトラヒックを観測した手法について述べる。

通研から外部へのトラヒックは、4台の基幹ルータと1台の対外接続装置を通過していくため、これらのトラヒックを収集することを考える。詳細には以下のとおりである。

- (1) 対外接続装置、基幹ルータそれぞれの上位リンクをポート単位でミラーリング
- (2) ミラーリングしたトラフィックを、Gigabit Ethernet Controllerを装備したFreeBSD OSのサーバ(Pentium4/2.80E GHz)5台で、tcpdumpコマンド⁵⁾を用いてファイルにパケットダンプ
- (3) 5分ごと(HH:03, HH:08, HH:13...)にパケットダンプしたファイル(以下ログファイル)に日付と時間で名前を付けて保存
- (4) 5分ごと(HH:00, HH:05, HH:10...)にログファイルを再びtcpdumpで解析し、ネットワークアプリケーションごとのパケット数をカウントしファイルに保存

5. 解析結果と考察

本章では、4章で観測したデータを解析した結果について述べる。本論文では、上記手法にて取得したトラヒックデータのうち、対外接続装置の上位リンクに流れるトラヒックを解析した。

本観測は、東北大学電気通信研究所教授会の承認の下行われた。

5.1 ネットワークアプリケーション別の Hurst パラメータ推定

2005年12月26日15時から16時のパケットトラフィックをサンプル時間0.01sを用いサンプリングし、R/S解析を行いHurstパラメータを推定した結果を図3左に示す(この図のことをPox plot diagramという)。H = 0.72であり、このとき、自己相関関数は式(2)より、 $t^{-(2-2H)} = t^{-0.56}$ に比例する減衰特性を持つと推定される。図3右より、計算した自己相関関数と、 $0.6t^{-0.56}$ が一致していることが分かる。以上より、通研のトラフィックには自己相似的な特性があり、さらに長期間のデータの傾向ならびにネットワークアプリケーション別の自己相似性に興味を持たれる。

5.2 長期間のデータからの Hurst パラメータ推定

2005年9月1日~11月30日の3カ月間に観測したトラフィックデータから、5分ごとにネットワークアプリケーション別のパケット数を求め、R/S解析によりそれらのHurstパラメータを推定した。3カ月のHurstパラメータ推定値を表2に、9月、10月、11月それぞれの推定値をそれぞれ表3、表4、表5に示

表2 2005年9~11月のネットワークアプリケーション別の Hurst パラメータの推定値とパケット数の割合

Table 2 Hurst parameters and rates classified by network applications on Sep.-Nov. 2005.

Applications	Hurst Parameter	Average # of Packet	Rate (%)
ALL	0.810657	225258.1	-
HTTP	0.815704	85867.5	38.12
Shell	0.767001	13904.14	6.173
FTP	0.659990	552.6	0.245
MAIL	0.698158	5124.83	2.275
DNS	0.735163	5483.48	2.434
ARP	0.498984	0.2	0.000
NetBIOS	0.767349	1196.0	0.531
ICMP	0.735883	1308.82	0.581
RTSP	0.761934	4565.14	2.027

表3 2005年9月のネットワークアプリケーション別の Hurst パラメータの推定値とパケット数の割合

Table 3 Hurst parameters and rates classified by network applications on Sep. 2005.

Applications	Hurst Parameter	Average # of Packet	Rate (%)
ALL	0.806629	210515.9	-
HTTP	0.810084	83598.2	39.71
Shell	0.761240	9067.9	4.308
FTP	0.656358	61.5	0.0292
MAIL	0.698465	5526.1	2.625
DNS	0.716187	5631.6	2.675
ARP	0.493772	0.2	0.0001
NetBIOS	0.757383	1128.8	0.5362
ICMP	0.750535	960.1	0.4561
RTSP	0.755208	3117.0	1.481

す。また、図4に、3カ月のHurstパラメータ推定に用いたR/S統計量の傾向を示す。

また、ネットワークアプリケーション(以下アプリケーション)の内訳については、HTTPにはHTTPSを、MailにはSMTP/POP3/IMAPをそれぞれ含むものとする。

アプリケーション別のHurstパラメータの推定値から以下の知見を得ることができる。

- HTTP, RTSP(ストリーミング), ICMPなど、データの送受信にバースト性が高いアプリケーションの自己相似性が強い。
- FTPなど、一定時間様なトラフィックを発生させるアプリケーションの自己相似性は弱い。

このように、アプリケーション別にHurstパラメータを求めた結果、自己相似性の高いトラフィックを生み出すアプリケーションとその他のアプリケーションのトラフィックが重畳されていることが分かる。

また、表2と表3~5の比較から、アプリケーション別のHurstパラメータは3カ月間ほぼ一定であることが分かる。このことから、準リアルタイムでHurst

表4 2005年10月のネットワークアプリケーション別の Hurst パラメータの推定値とパケット数の割合

Table 4 Hurst parameters and rates classified by network applications on Oct. 2005.

Applications	Hurst Parameter	Average # of Packet	Rate (%)
ALL	0.812845	228157.6	-
HTTP	0.813749	86663.3	37.98
Shell	0.780706	19745.6	8.650
FTP	0.652916	129.51	0.060
MAIL	0.694190	5097.6	2.230
DNS	0.723321	5307.9	2.330
ARP	0.505288	0.2	0.000
NetBIOS	0.764893	1266.4	0.560
ICMP	0.690234	1049.5	0.460
RTSP	0.759443	4551.4	1.990

表5 2005年11月のネットワークアプリケーション別の Hurst パラメータの推定値とパケット数の割合

Table 5 Hurst parameters and rates classified by applications on Nov. 2005.

Applications	Hurst Parameter	Average # of Packet	Rate (%)
ALL	0.811274	252965.8	-
HTTP	0.821725	91738.4	36.27
Shell	0.760737	15732.82	6.220
FTP	0.667794	1743.3	0.690
MAIL	0.700622	4618.0	1.830
DNS	0.769630	5471.7	2.160
ARP	0.514227	0.190	0.000
NetBIOS	0.748986	1278.6	0.510
ICMP	0.748571	2280.7	0.900
RTSP	0.773874	7093.88	2.800

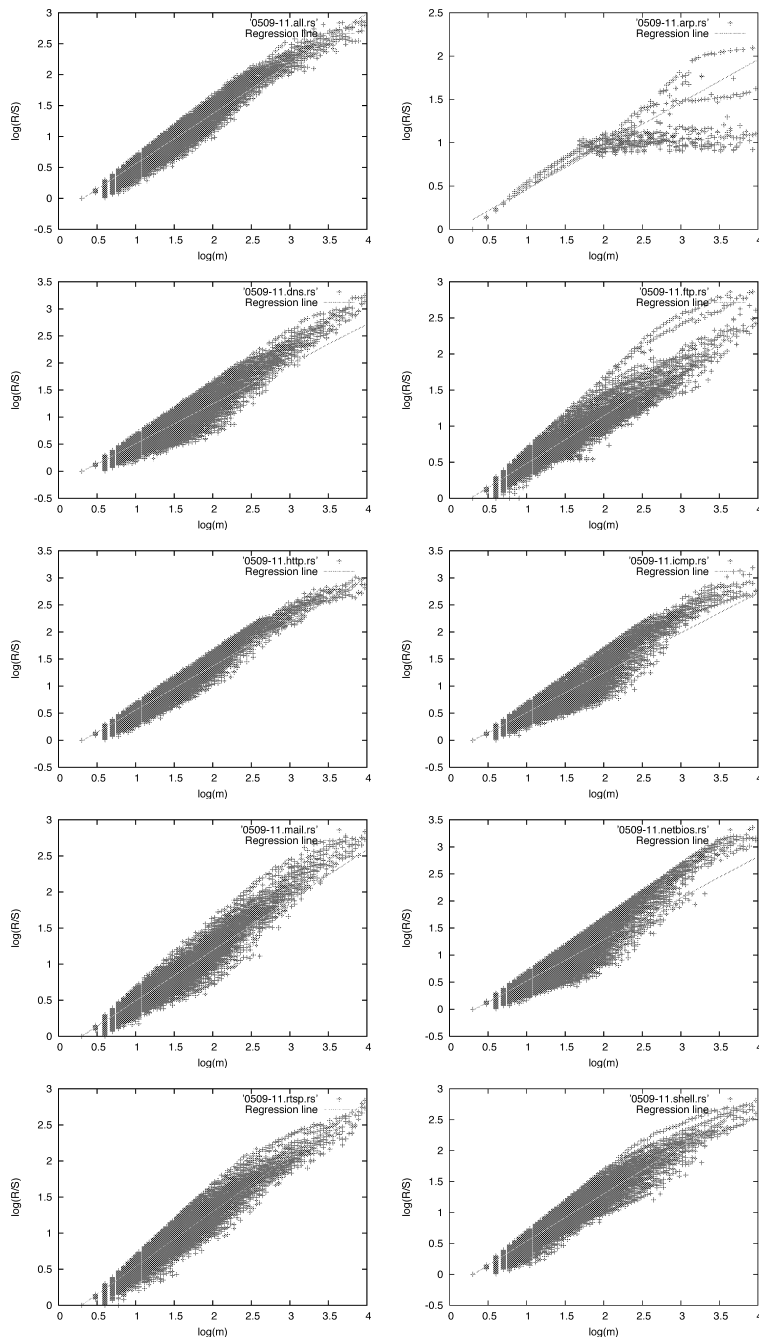


図 4 2005 年 9–11 月のトラフィックの R/S 解析の結果 (表 2 に対応する)。左列上から、全トラフィック、DNS、HTTP、POP/IMAP/SMTP、RTSP。右列上から、ARP、FTP、ICMP、NETBIOS、TELNET/SSH

Fig. 4 Pox plot diagram on Sep.–Oct. 2005 (Corresponds to Table 2); Left column, from above: All traffic, DNS, HTTP, POP/IMAP/SMTP, RTSP; Right column, from above: ARP, FTP, ICMP, NETBIOS, TELNET/SSH.

パラメータを推定することによるネットワーク状態検出への応用の可能性が示唆される。

5.3 ネットワーク利用状況の変化と Hurst パラメータ

前節で提起された、ネットワークの利用状況の変

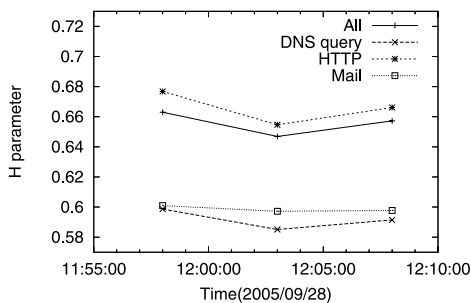


図5 システム移行時の Hurst パラメータの変化

Fig. 5 Variation in Hurst parameter at system switch on 28 Sep. 2005.

化と Hurst パラメータの関係について考察するため、2005 年 9 月 28 日に行われた、通研のシステム移行時の Hurst パラメータを比較した (図 5)。システム移行時刻である、12:00 を含む時間帯では、いずれも Hurst パラメータが減少しているため、この時間帯においては、システムの切替えにともないトラフィックの特性が変化していることがうかがえる。

6. おわりに

本論文では、IP 網のパケットトラフィックを確率過程としてとらえ、その自己相似性の検証に加え、アプリケーションでスライスして自己相似性パラメータを推定することで、ネットワークの状態検出への応用の可能性を検討した。長期間観測したトラフィックの Hurst パラメータはほぼ一定の値に収まっており、これをネットワークの定常状態と定義して、Hurst パラメータの変化とネットワーク状態の変化の関連に明確な関連があるかどうか、システム移行時のトラフィックを例にあげて検討した。

今後は、観測をさらに長期間続け、ネットワークの何らかの状態変化と自己相似性の関連をさらに明確に示すことができるように解析を続けていく必要がある。

参考文献

- Beran, J., Sherman, R., Taqqu, M.S. and Willinger, W.: Long-Range Dependence in Variable-Bit Rate Video Traffic, *IEEE Trans. Commun.*, Vol.43, No.2/3/4, pp.1566-1579 (1995).
- Cao, J., Cleveland, W.S., Lin, D. and Sun, D.X.: On the Nonstationarity of Internet Traffic, *Proc. ACM SIGMETRICS '01*, pp.102-112 (2001).
- Hurst, H.E.: Long-Term Storage Capacity of Reservoirs, *Trans. Amer. Soc. Civil Eng.*,

Vol.116, pp.770-799 (1951).

- Karagiannis, T., Molle, M., Faloutsos, M. and Broido, A.: A Nonstationary Poisson View of Internet Traffic, *INFOCOM 2004*, Vol.23, No.1, pp.1559-1570, IEEE (2004).
- LBL's Network Research Group: tcpdump. ftp://ftp.ee.lbl.gov/tcpdump.tar.Z
- Leland, W.E., Taqqu, M.S., Willinger, W. and Wilson, D.V.: On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version), *IEEE/ACM Trans. networking*, Vol.2, No.1, pp.1-15 (1994).
- Park, K., Kim, G. and Crovelli, M.: On the relationship between file sizes, transport protocols, and self-similar network traffic, *Proc. IEEE International Conference on Network Protocol*, pp.171-180 (1996).
- Stallings, W.: *High-Speed Networks: TCP/IP and ATM Design Principles*, chapter 8, pp.181-207, Prentice Hall (1998).
- Taqqu, M.S., Teverovsky, V. and Willinger, W.: Estimators for long-range dependence: an empirical study, *Fractals*, Vol.3, No.4, pp.785-798 (1995).
- Willinger, W., Taqqu, M.S., Leland, W.E. and Wilson, D.V.: Self-Similarity in High-Speed Packet Traffic; Analysis and Modeling of Ethernet Traffic Measurements, *Statistical Science*, Vol.10, No.1, pp.67-85 (1995).
- Zhang, Z., Ribeiro, V., Moon, S. and Diot, C.: Small-time scaling behaviors of Internet backbone traffic: An empirical study, *Proc. INFOCOM 2003*, pp.1826-1836 (2003).
- 住田義明, 大崎博之, 村田正幸, 宮原秀夫: 上位層プロトコルがネットワークトラフィックの自己相似性に与える影響, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-B-I, No.8, pp.1-9 (1998).
- 福田健介, 高安秀樹, 高安美佐子: 自己相似トラフィックにおける TCP の寄与について, インターネットコンファレンス 2000 講演論文集, pp.57-64 (2000).
- 中村 元, 滝根哲哉: ポアソンモデルに基づく IP 網設計の可能性, 電子情報通信学会誌, Vol.87, No.4, pp.309-313 (2004).
- 阿部俊二, 藤野貴之, 計 宇生, 松方 純, 浅野正一郎: 学術情報ネットワークにおける長期依存性トラフィック解析とキュー長テール分布法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-B, No.12, pp.2487-2500 (2003).
- 佐藤昌平, 吉田万貴子: 次世代インターネットとトラフィック工学, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-B, No.6, pp.875-889 (2002).
- 大久保智史, 篠 英明, 八名和夫: ネットワークトラフィック時系列のフラクタル性と信号モデル,

技術報告，ゆらぎ現象研究会予稿集 (2001).

- 18) 小沢利久：長期依存性/自己相似性を持つトラフィックのモデル，システム/制御/情報，Vol.43, No.3, pp.117-122 (1999).
- 19) 五十嵐隆治，井上博勝，宮林尚英，田村雄介，増田有悟，岩谷幸雄，坂田真人，横山博之，藤原克哉，高橋秋典，玉本英夫，行松健一：ハーストパラメータとネットワークトラフィック量変化との相関，技術報告 DSM-35，情報処理学会研究報告 (2004).

(平成 18 年 2 月 16 日受付)

(平成 18 年 3 月 25 日採録)



上田 浩 (正会員)

2004 年豊橋技術科学大学大学院博士後期課程修了。同年東北大学電気通信研究所博士研究員。2006 年群馬大学総合情報メディアセンター助教授。博士 (工学)。確率過程モデル，HIV と免疫系の相互作用モデル，生態系の数理モデルに興味を持つ。電子情報通信学会，日本数理生物学会各会員。



奈須野 裕 (正会員)

1983 年仙台電波高等専門学校電子工学科卒業。同年電電公社 (現 NTT) 入社後，デジタル交換機の技術全般の解析，設計に従事。1993 年日本テレコム入社後，インテリジェントネットワーク，IP-VPN 網，VoIP 網の研究開発に従事。現在，同社マネージドサービス事業本部在籍。電子情報通信学会会員。



岩谷 幸雄 (正会員)

1993 年東北大学大学院修士課程修了。同年秋田大学鉱山学部助手。2000 年秋田大学工学資源学部講師。2002 年東北大学電気通信研究所助教授。博士 (情報科学)。電子情報通信学会，音響学会，IEEE 各会員。知能情報通信，バーチャルリアリティ等の研究に従事。



五十嵐隆治 (正会員)

1974 年秋田大学鉱山学部電気工学科卒業。1974 年アキタ電子株式会社。1975 年秋田大学鉱山学部助手。1986 年工学博士 (北海道大学)。1987 年 LBL: アメリカ合衆国ローレンス・バークレー国立研究所客員研究員。1987 年秋田大学講師。1995 年秋田大学助教授。計数型検出器メカニズムの実験的検討と計数過程による記述から発展し，現在はネットワークトラフィックの実測と確率過程による解析に興味を持つ。電気学会，電子情報通信学会，応用物理学会，計測自動制御学会，IEEE，放電学会，応用物理学放射線分科会，日本素材物性学会各会員。



木下 哲男 (正会員)

1979 年東北大学大学院修士課程修了。同年沖電気工業 (株) 入社。1996 年東北大学電気信研究所助教授，2001 年同大学情報シナジーセンター教授。知識工学，エージェント工学，エージェント応用システム等の研究開発に従事。情報処理学会平成元年度研究賞，同平成 8 年度論文賞，電子情報通信学会平成 13 年度業績賞等受賞。工学博士。電子情報通信学会，人工知能学会，日本認知科学会，IEEE，ACM，AAAI 各会員。