

ギガビットネットワークを利用した遠隔地高精細画像の伝送実験

小出和秀 Ahmed Ashir 齋藤武夫 Glenn Mansfield 白鳥則郎

東北大学電気通信研究所/情報科学研究科

JGN(JapanGigabitNetwork)[1]のような超高速大規模ネットワークの実現により、メガ～数十メガビット級の情報を扱う次世代アプリケーションが現実のものとなりつつある。このようなアプリケーションを高精度・高効率に運用するために、高速ネットワークのトラフィック状況をアプリケーションへ提供する必要がある。我々が既に提案しているNIWH(Network Information Ware House)は、ネットワーク情報の収集・解析を行い、効果的に高度なネットワーク情報を生成してアプリケーションに提供する。しかしながらNIWHを高速ネットワーク上でも実現するためには、高速ネットワークのトラフィック特性を十分に考慮する必要がある。本研究は、高速ネットワークのトラフィック特性を明らかにすること、およびそれを解析する手法を確立することを目的としている。本稿では実験環境として高速ネットワーク(JGN)を用い、高速ネットワークの活用例として適切と思われる高解像度画像伝送の実験を行い、その際のネットワークレベルでのトラフィックを観測し、自己相似性の評価を行う。

High Resolution image/video Transmission over JGN

KOIDE Kazuhide, Ahmed Ashir, SAITOH Takeo,
Glenn Mansfield and SHIRATORI Norio

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

In our previous work, we have already proposed Network Information Ware House (NIWH) service for a better performance of network applications. NIWH collects network information from the network, analyses them to generate high level information and provides them to the concerned network applications. In this paper, we focus on collecting and characterizing high speed network traffic. In our experiments, we have monitored high speed network traffic from JGN (Japan Gigabit Network) and discussed about its self-similar nature seen both at the ATM (gathered by OC3MON) and at the Ethernet Links(gathered by tcpdump). The traffic contains transmission of high resolution still images from Sendai City Museum to Tohoku University and transmission of video from University of Aizu to Tohoku University. The experiment results and the future directions are presented.

1 はじめに

ネットワークアプリケーションを効率よく運用していく上で、ネットワーク情報の獲得が重要である。しかしネットワークから得られる情報は膨大であり、かつ何らかの処理を行わなければ実用的な形の情報とすることはできない。また個々のアプリケーションにこのような情報の獲得・整理を行わせていたのでは多大な労力と時間を消費することとなる。そこで、ネットワークとネットワークアプリケーションの間に立って、ネットワークから情報を収集・解析し、アプリケーションに提供するという機能を持つネットワークアーキテクチャが必要となる。

そこで我々は、NIWH(Network Information Ware House)を提案している[2][3]。NIWHはネッ

トワークのさまざまな地点から情報収集・解析を行い、利用しやすい情報、すなわちスループットやジッタといった「高度なネットワーク情報」を生成してアプリケーションに提供するアーキテクチャである。

現段階ではNIWHは、現行の比較的低速度なインターネットを対象としている。しかし、現在、JGN(Japan Gigabit Network)のような超高速大規模ネットワークが実現され、それに伴い、扱う情報がメガ～数十メガビットとなる次世代ネットワークアプリケーションが現実のものとなりつつある。このようなアプリケーションに対してNIWH等でネットワーク情報を提供していく場合、高速ネットワークのトラフィック特性を十分に考慮しなければならない。

本研究の目的は、高速ネットワーク上でのさまざまなトラフィック測定および解析を通して、高速ネットワークの種々のトラフィック特性を明らかにするための解析手法を確立することで、次世代ネットワークアプリケーションへのネットワーク情報提供の基盤を与えることである。

そこで、本稿では、まず現在利用可能なトラフィック計測ツール群を概観し評価を行う。また、トラフィック特性解析の際に注目するポイントとしてトラフィックの自己相似性を取り上げ、次世代ネットワークアプリケーションの例として、ネットワーク上のマルチメディア・モデル博物館の実験、高速ネットワークを利用したビデオストリーミングの実験を行い、結果を元に、検討を行う。

2 トラフィック計測とその解析

2.1 トラフィック計測・解析ツール

トラフィック計測、解析の手段として、現在さまざまなツールが開発され実用に供されている。例えば tcpdump などはトラフィックデータ収集用ツールとして有名であるが、他にも高速ネットワークの解析に利用可能と思われるツールを以下にあげてみる。

(1) EtherPeek[4]

アクティブ/パッシブ両型のパケット解析ツールであり、Ethernet から FastEthernet, GigabitEthernet といった高速ネットワークにまで適用できる。リアルタイムもしくはあらかじめキャプチャしておいたデータを集約し、ノード別やプロトコル別にパケットをフィルタリングして統計的な傾向を出力させることが出来る。また、メジャーなほとんどの方式のパケットを生成することが出来る。

(2) LANQuest Net/WRx[5]

アクティブ/パッシブ両型のパケット解析ツールであり、Ethernet, トークンリング, FDDI といったネットワークから、GigabitEthernet のような高速ネットワークまで適用可能である。OSI7 階層のどのレベルのパケットでも生成・観測が可能で、リアルタイムでネットワーク情報を取得してさまざまなフィルタリングをかけたり、帯域やレイテンシ、データ損失率などを測定することも可能である。

(3) cflowd[6]

パッシブ型のフロー解析ツールであり、Cisco 社が提唱する高速レイヤ 3 スイッチング方式 NetFlow が Enable となっている Cisco 社のルーターやスイッチの flow-export packet の解析を行う。「cflowdmux」「cflowd」「cfdcollect」の 3 つのプログラムから構成されており、cflowdmux は UDP プロトコルによって Cisco ルーターより送られてくるフローデータを

受け取り、共有メモリに書き込むことで利用可能とする。cflowd は cflowdmux よりデータを受け取り、データを表の形にサマライズする。そして cfdcollect が、定められた一定間隔で cflowd より表データを回収し、ARTS 形式で保存する。このために、arts++ というクラスライブラリが必要となる。最終的には、等時間間隔のトラフィックデータを生成するものである。データを集約して高度な情報を生成する能力はない。

(4) CoralReef[7]

パッシブなトラフィックモニターを入力デバイスとしてデータを集め、解析・出力するツール群である。現段階では ATM 計測ツールである OC3/12MON をサポートしており、OC3/12MON のリアルタイムトラフィックデータをインプットとして、ATM トラフィックのセルレベルの解析・出力が行える。以前に保存したダンプデータを入力として解析することも可能である。解析のためのツールが多く付属しており、さまざまな形式でのデータの集約が行える。解析結果をウェブブラウザで閲覧可能な形で出力することも可能である。

(5) Cricket[8]

パッシブ型の解析ツールで、トラフィックの時間軸上の傾向をモニタリングする。データコレクタとグラフャーからなっており、データコレクタは cron によって 5 分（もしくは設定によって別の時間）間隔で起動されデータを収集し、それをグラフャーがウェブ情報の形で表示する。データ形式の変換・統一や保存などは RRD Tool と呼ばれる C プログラムが行っている。config tree と呼ばれるコンフィグ・ファイルを持っており、収集するデータのタイプや収集方法、データ収集のターゲット等を記述できる。

(6) Orca[9]

テキストベースのデータファイルを入力とし、コンフィギュレーションを変えることで設定を変えることで任意の形式のデータを任意の形式でプロットし HTML や PNG ファイルに出力することが出来るソフトウェアである。トラフィック解析ツールというよりは、トラフィックのビジュアル化ツールと言ったほうがいいかもしれない。定期的に更新分のデータを取得して次々にプロットしていくことが可能である。

ネットワークのトラフィックを調査するためには、まず (a) トラフィック (パケットやセル) を捕捉してデータ列を生成し、次にそのトラフィック列を (b) 何らかのアルゴリズムで処理して情報を取り出す、というステップがある。この中で、(a) のトラフィックの捕捉に関しては、現存するツールで既に十分可能である事がわかった。しかしながら (b) のデータ列

の処理に関しては、高速ネットワーク特有の特性についての評価・検討が不十分な点が多く、研究の余地があると考えられた。そこで、我々の研究においては、トラフィックの取得に関しては既存のツールを用いて行う事とし、取得したデータの処理方法の考察と、その結果得られた情報の評価を行い、最終的には何らかのトラフィックデータ処理アプリケーション（あるいはアルゴリズム）を開発することを目的とする。

2.2 自己相似性を利用した解析

解析の対象となりえるトラフィック特性は、たとえばレイテンシ、ジッタ、バースト性、再送率等さまざま存在する。これらの特性を評価するにあたり、高速広帯域ネットワーク特有の問題点を考慮しなければならない。例えば高速ネットワークでは、トラフィック計測が従来の計測システムではスケールしないという問題がある。すなわち、広帯域ネットワークにおいては流れるトラフィックの量が膨大であり、しかも急激に増加する可能性がある。

この様な中で、高速ネットワークのトラフィック計測のスケールの問題を解決する可能性のあるトラフィック特性として、「自己相似性」[10]が発見されている。「自己相似性」とは端的に言えば、ネットワークのトラフィックをどのようなタイムスケールで計り直してもその形状・統計的特性が保存される、という性質である。この性質がさまざまなトラフィック特性にも関係しているとすれば、計測時間間隔を広くとって計測したデータも意味を失わないことになり、高速ネットワークのトラフィック計測時のタイムスケールの問題をある程度解決できる可能性がある。

現在我々は、高速ネットワーク JGN(Japan Gigabit Network) を利用したネットワークアプリケーション・モデルのトラフィック測定実験を多数行っている。本稿ではその中から二つの例を取り上げ、そのトラフィックの自己相似性についての解析を行った。

3 トラフィック測定実験

3.1 実験環境

3.1.1 実験 1：高解像度画像を含む Web 情報の伝送実験

第一の実験は、東北大学白鳥研究室に設置したクライアントマシンを、仙台市博物館内に設置した Web サーバーと JGN を利用して接続し、3次元高解像度精細画像を含む HTML データを表示させるという形で行った。この実験は、仙台市博物館に設置した Web サーバーをマルチメディア・モデル博物館（収蔵品のデジタル高精細画像を蓄積・配信する Web サーバー）と位置付け、これより高速ネット

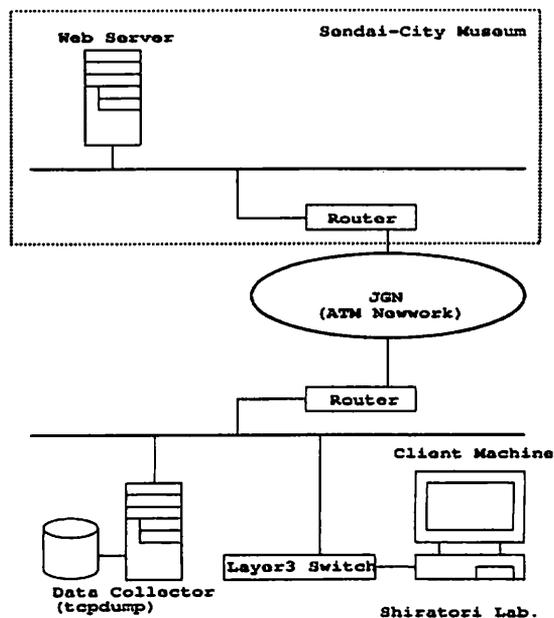


図 1: 実験 1 測定環境

ワークを通して 3 次元高精細画像をクライアントマシンに伝送・表示するという、次世代高速ネットワークを活用したアプリケーションのひとつのモデルと位置付けられる。図 1 に実験環境のトポロジーを示す。この実験に際し、クライアント側の Ethernet リンク上で、パケットの観測ソフトウェアとして一般的な tcpdump をモニタリングマシン上で動作させ、トラフィックのダンプデータを収集した。収集されたデータは Ethernet パケットレベルのパケットダンプデータである。

3.1.2 実験 2：高解像度動画の伝送実験

次に、やはり東北大学白鳥研究室に設置したクライアントマシンを、会津大学に設置したビデオカメラの映像を送信するマシンと JGN を利用して接続し、高解像度動画を表示させる実験を行った。これは、高速ネットワークを用いてより一般的になると考えられるビデオストリーミング・アプリケーションのひとつの例と考えられる。動画は HTTP データとして送信され、Web ブラウザを用いて表示される。図 2 に実験環境のトポロジーを示す。この実験に際し、クライアント側の Ethernet リンク上で tcpdump を用いたトラフィック観測を行い、また ATM リンク上で、ATM トラフィックを観測することができるソフトウェアである OC-3MON および CoralReef を用いて ATM トラフィックの観測も行った。Ethernet リンク上のトラフィックと比較するため、ATM セルではなく Ethernet パケットのレベルに集約した形でデータを収集した。

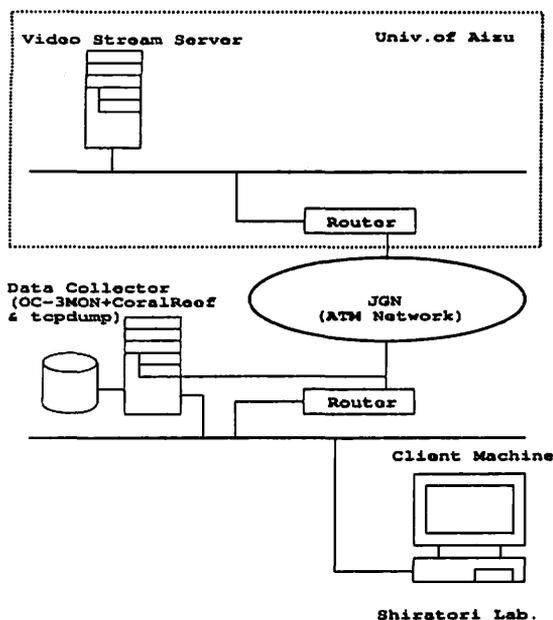


図 2: 実験 2 測定環境

3.2 実験結果

3.2.1 実験の基礎データ

実験 1 のトラフィック測定に関する基礎的なデータは表 1 に、実験 2 については表 2 に、それぞれ与えている。ここで、「C → S 方向」とはクライアントマシンからサーバーに向かう方向を表す。「S → C 方向」はその逆でサーバーからクライアントへの方向を表す。以下同様にこの表記を用いる。

測定時間 [sec]	16553
総パケット数 [個]	24189
C → S 方向パケット数	10007
S → C 方向パケット数	14182

表 1: 実験 1 基礎データ

測定時間 [sec]	31000
総パケット数	3547548
C → S 方向パケット数	955750
S → C 方向パケット数	2591798

表 2: 実験 2 基礎データ

3.2.2 自己相似性

ある単位時間内に流れたトラフィック (パケット数あるいはバイト) を集計して、単位時間ごとのトラフィックデータ列 $X = X_1, X_2, \dots$ を生成すると

すると、 X は確率過程であり、平均 $\mu = E(X)$ 、分散 $Var(X)$ 、自己相関関数 $\gamma(k), k = 0, 1, 2, \dots$ とする。この X より、

$$X_1^{(m)} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_m}{m},$$

$$X_2^{(m)} = \frac{X_{m+1} + X_{m+2} + \dots + X_{2m}}{m}, \dots$$

のように、 $m (m = 1, 2, \dots)$ 個ずつのブロックとしてその平均を取り、新たに $X^{(m)} = X_1^{(m)}, X_2^{(m)}, \dots$ を生成することができる。これはちょうどトラフィックデータ列を異なる単位時間で測りなおしたことに相当する。この新しい系列 $X^{(m)}$ に対して、平均 $\mu = E(X^{(m)}) = E(X)$ 、分散 $Var(X^{(m)})$ 、および自己相関関数 $\gamma^{(m)}(k)$ が定義される。このとき、

$$\gamma^{(m)}(k) = \gamma(k)$$

$$Var[X^{(m)}] = \frac{Var[X]}{m^\beta}$$

であれば、2 次の厳密な自己相似性が X に存在している。通常ネットワークトラフィックの自己相似性については、より条件の緩い漸近的な自己相似性の定義が用いられる。すなわち m を大きくしていった時に $Var[X^{(m)}]$ が漸的に m^β に比例する場合、すなわち

$$Var[X^{(m)}] \sim \frac{Var[X]}{m^\beta}$$

が成り立つことを自己相似性の定義とする (ただし β は $0 < \beta \leq 1$ の範囲)。beta は 0 に近づくほど自己相似度が大きくなり、1 に近づくほどポアソン分布に近くなる性質を持つことになる。また、自己相似性を判定する指標として広く用いられているハーストパラメータ H は、 $H = 1 - \frac{\beta}{2}$ と定義される。本稿では β を H に変換することは特にせず β のまま扱うこととする。

3.2.3 自己相似性パラメータ算出法

自己相似性パラメータ β を算出する方法はいくつか知られている [11] が、本稿で用いた方法は最も一般的といわれる「VTP 法」である。前節で、トラフィック列 X より生成される新しい系列 $X^{(m)}$ を定義したが、これを用いて座標

$$(\log(m), \log(\frac{Var(X)}{Var(X^{(m)})}))$$

をグラフにプロットする。その結果を最小 2 乗法を用いて直線近似し、得られた直線の傾きが β となる。

3.2.4 自己相似性パラメータ β の解析

得られたトラフィックデータから、VTP法を用い自己相似性パラメータ β を求める解析を行った。なお、算出にあたっては、1秒ごとに数え上げたパケット数の系列を X とし、この系列 X より、 $m=2,4,8,16,32,64,128,256,512$ の m について新たな系列 $X^{(m)}$ を前述した方法により生成し、算出結果をグラフにプロットすることで求めた。

図3、図4はともに実験1で得られたトラフィックデータの解析結果である。図3はクライアントからサーバーへと送られたパケットについて算出している。図4はそれとは逆にサーバーからクライアントに送られたパケットについて算出している。

図5より図8は、実験2で得られたEthernet上およびATM上のトラフィックデータの解析結果である。図5、図6はEthernet上のトラフィックについて算出したもので、双方向のトラフィックについてそれぞれ算出している。図7、図8はATM上のトラフィックについて算出したもので、同様に双方向のトラフィックについてそれぞれ算出している。

表3、表4に、算出した β パラメータをまとめた。

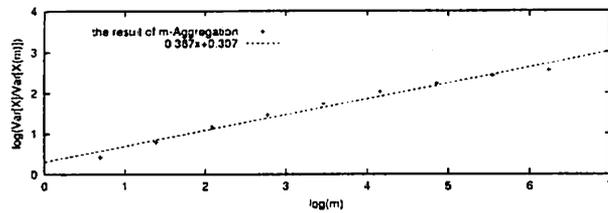


図3: 実験1: Ethernetリンク上で観測したC→S方向トラフィックの β パラメータ

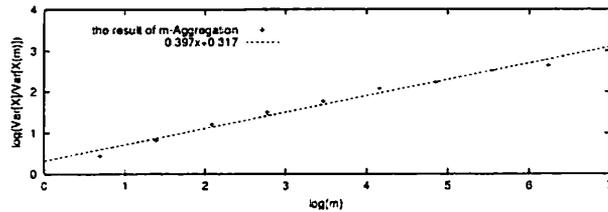


図4: 実験1: Ethernetリンク上で観測したS→C方向トラフィックの β パラメータ

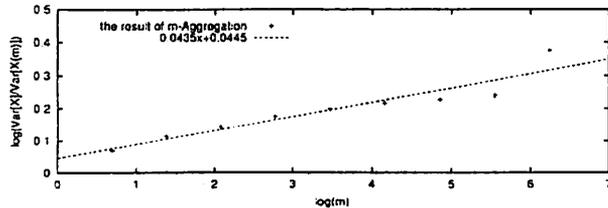


図5: 実験2: Ethernetリンク上で観測したC→S方向トラフィックの β パラメータ

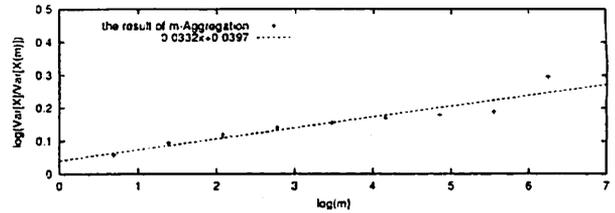


図6: 実験2: Ethernetリンク上で観測したS→C方向トラフィックの β パラメータ

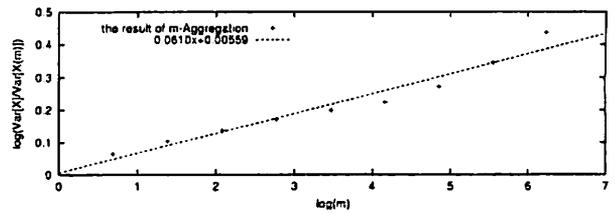


図7: 実験2: ATMリンク上で観測したC→S方向トラフィックの β パラメータ

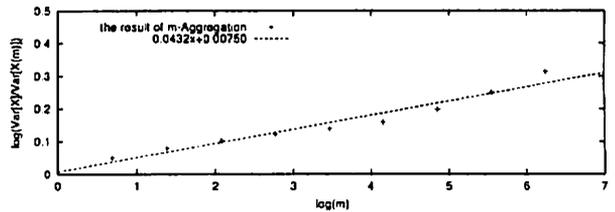


図8: 実験2: ATMリンク上で観測したS→C方向トラフィックの β パラメータ

	β パラメータ
C→S方向	0.387
S→C方向	0.397

表3: 実験1: β パラメータ算出結果

	β パラメータ
Ethernet 上 C→S 方向	0.0435
Ethernet 上 S→C 方向	0.0332
ATM 上 C→S 方向	0.0610
ATM 上 S→C 方向	0.0432

表4: 実験2: β パラメータ算出結果

3.3 考察

実験1, 実験2 双方ともにほぼ同一のネットワーク環境のもとで実験を行い, また基本的に HTTP トラフィックであるため, ネットワークそのものの特性やプロトコルの特性の影響は両実験ともにほぼ同一であると考えられる. そのため, 両実験で得られた自己相似性パラメータ β の値の差は, 運用したアプリケーションの差に由来するものと考えられる. 実験1は, 高解像度画像を含む Web ページを人間が閲覧するので, 人為的なインタラクションがそのトラフィック発生の基本的な要因となっているのに対し, 実験2においては定常的にビデオ映像を流している. 定常的にトラフィックが存在し, かつ人為的な部分のない場合の方がより自己相似性が高くなる結果が得られた.

また, 実験2において, Ethernet 上および ATM 上での観測の結果を比較すると, 同一トラフィック方向の β の値の差は 0.01~0.02 程度で, アプリケーションの違いにより生ずる差に比べるとその差はきわめて小さいと言える.

今回はプロットした点について一意に最小2乗法を用いて直線近似をし, 傾きから β を求めたが, より傾向を詳細に見ると, 実験1においては一様な比例関係が見て取れるのに対し, 実験2においては, Ethernet 上の場合 $m=256(\ln(m)=5.54$ 付近) までの傾向に対して $m=512(\ln(m)=6.23$ 付近) の増加率が高い傾向が読み取られ, また ATM 上では $m=128$ 以降の点とそれ以前とではやはり増加率に違いが見て取れる.

4 まとめ

本稿においては, JGN を用いた高解像度画像を含む Web 情報の伝送実験, また, 同じく JGN を用いた高解像度動画画像伝送実験を行い, 観測されたトラフィックに対して自己相似性パラメータを解析し考察した. その結果, 定常的・非人為的なビデオ・トラフィックの方がより高い自己相似性を示した. また, Ethernet 上と ATM 上という異なる環境で同一のトラフィックを観測した場合, 自己相似性の値にはほとんど差が生じなかった. しかし, トラフィックデータを集約していく際の $\log(m)$ と $\log(\text{Var}[X]/\text{Var}[X^{(m)}])$ との相関関係には, それぞれの場合において傾向が見られることがわかった.

今後の課題としては, 今回見られた $\log(m)$ と $\log(\text{Var}[X]/\text{Var}[X^{(m)}])$ との相関関係の傾向についてより詳細に検討する必要がある. また, これらの相関関係が, これから検討していく予定の種々のトラフィック特性と自己相似性との関係にどのように影響していくのか, また, 今回は十分な帯域, 単一のアプリケーションという理想化された状態での実験であったが, 帯域制限や QoS 変動が存在したり, その他のアプリケーション・トラフィックが同

時に存在するなど何らかの外乱が存在する場合にどのような影響が見られるのか, についても検討していく必要がある.

参考文献

- [1] Japan Gigabit Network - <http://www.jgn.tao.go.jp/>
- [2] 斎藤 武夫, G. Mansfield, A. Ashir, 白鳥 則郎 “ネットワーク情報ウエアハウスシステムの構築とその応用”, 第60回全国大会, 情報処理学会, March 2000.(2000)
- [3] A. Ashir, G. Mansfield, T. Saito, M. Kaneko, N. Shiratori “An Open and Configurable Network Information Warehouse Service”, PAM2000(Poster Session), New Zealand, April 2000.
- [4] AG Group - EtherPeek, <http://www.aggroup.com/products/etherpeek/>
- [5] LANQuest - NETWRx, <http://www.lanquest.com/products/netwrx/netwrx.html>
- [6] “Internet Statistics and Metrics Analysis: Passive Measurement Data and Analysis”, Workshop Report January 14-15, 1999 San Diego Supercomputer Auditorium <http://www.caida.org/outreach/isma/9901/report.html>
- [7] CAIDA - CoralReef Status, <http://www.caida.org/tools/measurement/coralreef/>
- [8] SourceForge: Project Info - Cricket, <http://sourceforge.net/projects/cricket/>
- [9] Geological & Planetary Sciences - Orca, <http://www.gps.caltech.edu/blair/orca/docs/orcallator.html>
- [10] Will E. Leland, Murad S. Taqqu, Walter Willinger, and Daniel V. Wilson “On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version)” IEEE/ACM Transactions on Networking, February 1994.
- [11] William Stallings “HIGH-SPEED NETWORKS” PRENTICE HALL, 1998.