

コンピュータネットワークにおける適応制御に関する
予備的調査研究

島根大学 総合理工学部 数理・情報システム学科

計算機科学講座 田中研究室

s003092 本村 拓也

目次

| | |
|--|----|
| 表紙..... | 1 |
| 目次..... | 2 |
| 0 概要..... | 4 |
| 1 導入..... | 5 |
| 1.1 先行研究の調査..... | 5 |
| 1.2 I N S P E C | 5 |
| 1.3 検索過程の詳細..... | 6 |
| 1.3.1 検索結果 1 | 8 |
| 1.3.2 検索結果 2 | 9 |
| 1.4 選出結果..... | 9 |
| 2 研究例..... | 11 |
| 2.1 Quality of Service (QoS)モデリングに関する研究..... | 11 |
| 2.1.1 序文..... | 11 |
| 2.1.2 QoS..... | 11 |
| 2.1.3.1 例示 1 | 11 |
| 2.1.3.2 現状と展望..... | 13 |
| 2.1.4.1 例示 2 | 13 |
| 2.1.4.2 現状と展望..... | 15 |
| 2.1.5.1 例示 3 | 15 |
| 2.1.5.2 現状と展望..... | 17 |
| 2.2 動的なセキュリティ管理に関する研究..... | 18 |
| 2.2.1 序文..... | 18 |
| 2.2.2 パケットフィルタ..... | 18 |
| 2.2.3 例示..... | 19 |
| 2.2.4 現状と展望..... | 20 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 2.3 | 高信頼性マルチキャストにおける輻輳制御に関する研究..... | 2 1 |
| 2.3.1 | 序文..... | 2 1 |
| 2.3.2 | 高信頼性マルチキャスト..... | 2 1 |
| 2.3.3 | 例示..... | 2 2 |
| 2.3.4 | 現状と展望..... | 2 3 |
| 3 | シミュレーション例 (additional section)..... | 2 4 |
| 3.1 | 序文..... | 2 4 |
| 3.2 | ネットワークにおけるシミュレーション..... | 2 4 |
| 3.3 | ns..... | 2 4 |
| 3.4 | シミュレーション例..... | 2 5 |
| 3.5 | シミュレーションの詳細..... | 2 5 |
| 3.5.1 | 環境..... | 2 5 |
| 3.5.2 | シミュレーション内容..... | 2 5 |
| 3.6 | 結果..... | 2 6 |
| 3.7 | まとめ..... | 2 6 |
| 4 | まとめ..... | 2 7 |
| 5 | 謝辞..... | 2 8 |
| 6 | 引用文献..... | 2 9 |
| 7 | 参考文献..... | 2 9 |

0 概要

コンピュータネットワークにおける適応制御に関する予備的調査研究

現在においてコンピュータネットワークという言葉を想像したとき,その言葉が非常に多くの意味や方向性を内包するものとなっていることに容易に気づくことができるであろう.

コンピュータネットワークに関する研究活動における目的には実に様々なものがあり,それら存在する目的それぞれに対して各々の研究者がまた多種多様な手法を用いて日々,研究努力を積み重ねている.このような,非常に多岐に渡る知的活動が行われているという混沌とした状況下において,大局を見て,過去から現在までに渡って為されてきた諸研究及び今後の見通し等についての知識を得,いくらかの概観を把握し理路整然とした展望を得ることは,今後,合理的な研究活動を進めていくためにも有益かつ重要なことでありまた,必要なことであると考え.

この論文においては,コンピュータネットワークにおける適応的制御周辺に関する調査を行い,実際の論文などから得た情報を編纂することに加えて,各文献などを統合した知識からの考察及び今後考えられる課題等について言及した.

構成を解説する.まず 1 において,先行研究の調査過程について記す.続けて 2 で,実際の研究例をもとにして行った,調査の詳細を記述し更に 3 で,追加的な要素として,ns ネットワークシミュレータを用い,シミュレーションの例を示す.そして最後に,4 で全体の要約を行う.

1 導入

1.1 先行研究の調査

まずはじめの段階として、既存の研究についての信頼できる情報を得るために、理工系書誌情報データベースである INSPEC を用いた検索を行うこととした。あらかじめ自身の興味に沿って選定した、複数の検索語を使用することによって文献の検索を行った。その具体的な過程について詳細を述べる。

1.2 INSPEC について

INSPEC とは 1969 年より IEE(Institution of Electrical Engineers)によって構成された、物理学、電気工学、エレクトロニクス、コンピュータ関連分野にわたる世界的な科学技術文献を網羅したリソースである。3,500 誌を超える学術雑誌、1,500 以上の会議録、数多くの書籍、報告書、学位論文を収録し、約 700 万件の書誌情報を収録しており、最新の研究情報から過去の貴重な情報までを包括的にカバーする情報源であり、毎年約 35 万件以上のレコードが追加されている。

INSPEC は IEE という、電気通信などの分野において不動といってもよいであろうレベルの信頼性をもつコミュニティによって提供されており、また、実際に過去から現在に渡ってまでの間、多くの人々の間で幅広く利用されてきているというその事実から、データベース自体への信頼性も十分に期待できであろうという判断理由をもって、今回このリソースを検索の対象として使用することとした。

1.3 検索過程の詳細

概要に記した内容を達成するに適切だと予想される,複数のキーワードを選定し,最終的に検索語として adaptive, filter, dynamic, tcp, ip, model, packet, というこれらの語を用いて, INSPEC から論文の抽出を行った.その具体的な過程を表 1.5.1.1 及び,表 1.5.2.1 に,詳細を表 1.5.1.2 及び,表 1.5.2.2 に示す.なお,年代的に古すぎるものを除外するために,検索対象とする文献の発行年代を 1995 年から 2004 年までに限定している.また,検索日時は 2003 年 10 月 30 日であり,表は,当然,最新のものではなく,その時点での INSPEC からの検索結果となっている.

1.3.1 検索結果 1

| 該当件数(件) | 検索語 |
|---------|------------------------------------|
| 2704 | tcp AND ip |
| 480 | tcp AND ip AND model* |
| 52 | Tcp AND ip AND model* AND adaptive |

表 1.3.1.1

内訳 (表 1.3.1.2)

| | |
|----|--|
| 1 | Characterization of performance of TCP/IP over PPP and ATM over asymmetric links |
| 2 | Efficient simulation of TCP/IP for mobile wireless communications using importance sampling |
| 3 | TCP-friendly transmission of voice over IP |
| 4 | TCP/IP throughput performance evaluation for ATM local area networks |
| 5 | A study of TCP/IP throughput performance in heterogeneous ATM local area networks |
| 6 | Ethernet TCP/IP in automation: a short introduction to real-time requirements |
| 7 | An enhanced TCP mechanism - Fast-TCP in IP networks with wireless links |
| 8 | Efficient flow control for multimedia and TCP/IP traffics |
| 9 | A mathematical model for the steady state throughput of the Westwood TCP congestion control algorithm |
| 10 | TCP in a wireless world |
| 11 | Additive increase adaptive decrease congestion control: a mathematical model and its experimental validation |

| | |
|----|---|
| 12 | An adaptive model of RED/ECN parameters |
| 13 | Tuning delay differentiation in IP networks using priority queueing models |
| 14 | Adaptive network modeling scheme |
| 15 | Adaptive message management using hybrid channel model in parallel file system |
| 16 | Microprocessor adapter for ATM networks |
| 17 | Joint source and channel coding for Internet image transmission |
| 18 | Neural networks applied in intrusion detection systems |
| 19 | Network Control and Engineering for QoS, Security and Mobility. |
| 20 | Potential Internet protocol technologies |
| 21 | Seamless Interconnection for Universal Services. |
| 22 | Performance evaluation and scalability analysis of SNMPv3 with superimposition in a mobile environment |
| 23 | Reliable multicast congestion control (RMCC) |
| 24 | Evaluating the impact of ALF on communication subsystems design and performance |
| 25 | RMX: reliable multicast for heterogeneous networks |
| 26 | A networked FPGA-based hardware implementation of a neural network application |
| 27 | Exploiting Gigabit Ethernet capacity for cluster applications |
| 28 | A fuzzy logic approach for active queue management |
| 29 | A low-cost, high-speed, calibrated 3D vision system for tracking humans-a component of the intelligent mechatronics network |
| 30 | TOGA-a customizable service for data-centric collaboration |
| 31 | TOGA - a customizable service for data-centric collaboration |
| 32 | Efficient user-space protocol implementations with QoS guarantees using real-time upcalls |
| 33 | Herding cats: modelling quality of service for Internet applications |
| 34 | An experience in testing an object-oriented satellite control system |
| 35 | Performance of ATM and variable length packet access in broadband HFC and wireless networks |
| 36 | A proposal on design scheme of TMN NEML management application framework for ATM switching systems |
| 37 | Increasing throughput and QoS in a HIPERLAN/2 system with co-channel interference |
| 38 | Hospital information systems for the radiology department |
| 39 | Server capacity planning for Web traffic workload |
| 40 | Wireless data networks: issues beyond the link layer |
| 41 | GNBD/VIA: a network block device over virtual interface architecture on Linux |
| 42 | DEAPspace-transient ad-hoc networking of pervasive devices |
| 43 | Stability and performance analysis of networks supporting services with rate control-could the Internet be unstable? |
| 44 | SWAN: a mobile multimedia wireless network |

| | |
|----|---|
| 45 | The issue of useless packet transmission for multimedia over the Internet |
| 46 | Stability and performance analysis of networks supporting elastic services |
| 47 | The parallel client-server paradigm |
| 58 | A tool to monitor the network quality of service |
| 49 | Assured forwarding fairness using equation-based packet marking and packet separation |
| 50 | Wireless access method to ensure each user's QoS in unpredictable and various QoS requirements |
| 51 | Generalized load sharing for packet-switching networks Analysis of network performance for computer communication systems with benchmark |
| 52 | Analysis of network performance for computer communication systems with benchmark |

1.3.2 検索結果 2

| 該当件数(件) | 検索語 |
|---------|--|
| 1004 | filter AND packet |
| 115 | filter AND packet AND dynamic |
| 17 | filter AND packet AND dynamic AND scheme |

表 1.3.2.1

内訳 (表 1.3.2.2)

| | |
|---|---|
| 1 | Improving packet filter management through automatic and dynamic schemes |
| 2 | Improving packet filters management through automatic and dynamic schemes |
| 3 | Comparative evaluation of software implementations of layer-4 packet classification schemes |
| 4 | Audio coding with a dynamic wavelet packet decomposition based on frequency-varying modulated lapped transforms |
| 5 | Queueing analysis of dynamic bandwidth allocation scheme for IP traffic on ATM networks |
| 6 | Fast packet classification through tuple reduction and lookahead caching |
| 7 | Efficiently computing bound-state spectra: A hybrid approach of the multi-configuration time-dependent Hartree and filter-diagonalization methods |
| 8 | Wave-packet dynamics by optimized polynomials methods |
| 9 | Scalable traffic control scheme for interactive multimedia sessions |

| | |
|----|---|
| 10 | On the coding gain of dynamic Huffman coding applied to a wavelet-based perceptual audio coder |
| 11 | High quality audio perceptual subband coder with backward dynamic bit allocation |
| 12 | Estimation and prediction of VBR traffic in high-speed networks using LMS filters |
| 13 | FRR for latency reduction and QoS provisioning in OBS networks |
| 14 | DHCP enhancements for MAC-layer user authentication and access control |
| 15 | Time- and frequency-resolved spontaneous emission: Theory and application to the NO/sub 2/ X /sup 2/A'/A /sup 2/A' conical intersection |
| 16 | Identification of low-dimensional energy containing/flux transporting eddy motion in the atmospheric surface layer using wavelet thresholding methods |
| 17 | Scalable reliable multicast using multiple multicast groups |

1.4 選出結果

次段階として、検索結果 1 及び 2 より、興味を持った数件の論文を調査の対象として取り寄せ、読み解くこととした。最終的に実際に本論文中において参考とし、内容を直接とりあげたものについて表に記す。

検索結果 1 より

23

| | |
|-----|--|
| 表題 | Reliable multicast congestion control (RMCC) |
| 表題訳 | 高信頼性マルチキャスト輻輳制御(RMCC) |
| 著者 | Macker, J.P. (Div. of Inf. Technol., Naval Res. Lab., Washington, DC, USA.); Adamson, R.B. |
| 出所 | MILCOM 2000 Proceedings. 21st Century Military Communications. Architectures and Technologies for Information Superiority pt. 2, p 685-9 vol.2 |
| 年度 | 2000 |

33

| | |
|-----|---|
| 表題 | Herding cats: modelling quality of service for Internet applications |
| 表題訳 | Herding cats : インターネットアプリケーションのための QoS モデリング |
| 著者 | Crowcroft, J. (Dept. of Comput. Sci., Univ. Coll. London, UK) |
| 出所 | Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series A (Mathematical, Physical and Engineering Sciences) v 358 n 1773 p 2209-15 |
| 年度 | 2000 |

検索結果 2 より

1

| | |
|-----|--|
| 表題 | Improving packet filter management through automatic and dynamic schemes |
| 表題訳 | オートマチックかつダイナミックな草案を通してのパケットフィルタマネージメントの改善 |
| 著者 | Paul, O. (Dept. RSM, ENST de Bretagne, Brest, France); Laurent, M. |
| 出所 | Information Security for Global Information Infrastructures. IFIP TC11. Sixteenth Annual Working Conference on Information Security p 331-40 |
| 年度 | 2000 |

本論文中の今後の節においては,上にあげた論文,又はそれらから派生する参考文献群,及び関連書籍等を適宜参考として用い,概要に挙げた内容を目的とし,内容を展開していく.

2 研究例

2.1 Quality of Service(QoS)モデリングに関する研究

2.1.1 序文

アプリケーション及び、通信の適応的な制御を行おうとする際に、QoS の適切なモデリングは重要な事項となるだろう。インターネットにおける QoS のモデリングのために、インターネットトラフィック等の特徴を抽出し、単純なモデルの中に収めようという研究活動が幅広く行われている。そうした活動を試みようとする際には、モデル作成の為の情報源の取得、記述方法という問題が大きな重要性を占める。この項では、実際の研究の例についてごく簡単に述べるとともに、モデリングの為の情報源を取得、記述する際に、現在、及び今後において考慮していくべき問題などについて、観て行く。

2.1.2 QoS

QoS(Quality of Service)とは、ネットワーク上で、ある特定の通信のための帯域を予約し、一定の通信速度を保証しようとする一連の技術を指す。さまざまな通信インフラが混在するインターネット上においての、音声や動画のリアルタイム配信(ストリーミングを用いたようなラジオ、テレビ型のサービス)やテレビ電話など、通信の遅延や停止が許されないサービスにとって重要な技術である。

2.1.3.1 例示 1

現在までに、QoS に関する情報源の記述を試み、その結果導き出された様々なモデルが存在する。例えば、現在のようなコンピュータネットワークが登場する以前、PBX(Private automatic Branch eXchange : 構内交換機)を用いたテレフォネットワークといった、ごく単純な損失系が唯一の全盛であった時期から、古典的かつ基礎的なトラフィック理論としてよく知られる、Erlang の損失式(2.1.3.1.1)というものがあった。しかし、このような方式にならった通信のブロッキング方式は、今日のコンピュータネットワークにおいてはあまり相応しくないと考えられる。

$$B = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=1}^N (A^i / i!)} \quad (2.1.3.1.1)$$

B : 呼損率
A : 呼量
N : 回線数

QoS に関する例を考えた場合,コンピュータネットワークにおける多くの状況において,通信の状況に応じて,若しくはロバストに,必要な通信が,必要なときに確実に行えるような通信品質の保証の方法を考えることは重要な事項であると考えられる.図 2.2.1.2 は自作した C プログラムによって式 2.1.3.1.1 をシミュレートしたものであり,Erlang の公式は呼損について,単純に図に表される様な値を提供する,しかし,[1]による指摘によると,このような公式を踏襲した類の,かつての通信のブロッキング方式においては再呼,つまり,呼損が起こった場合に再び呼が発生するという状況を考慮していない点が,問題であるとされている.

(B : 呼損率)

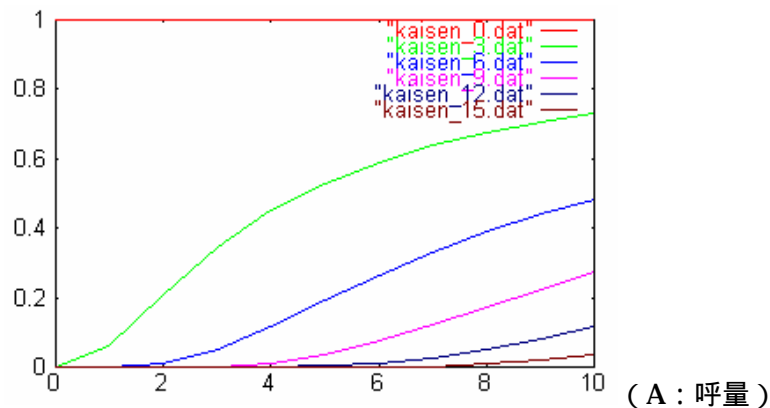


図 2.1.3.1.2 : 自作 C プログラムによる 2.1.3.1.1 のシミュレート

イーサネットやインターネットは典型的なベストエフォート型の通信システムであり,前述の問題が当てはまることになり,[1]によると,そういった問題を取り除くべく,ネットワークの一部として,高信頼性マルチキャストプロトコル,TCP,RTP といったプロトコルにコールアドミッションを実装するような類の動向,研究事例も存在する.本論文中2.4の項で挙げる,高信頼性マルチキャストプロトコルにおける輻輳制御の研究例を,関係するものの一例として捉えることが出来るだろう.また,今回ここでは触れないが,他に,よく知られる,通信路上の資源を必要に応じて動的に確保する Resource reSerVation Protocol(RSVP),同種のフローの集合に対し QoS 制御を行う Differentiated Service(DiffServ),フローごとに QoS 制御を行う Integrated Service(IntServ)に関する研究を例としてあげることができる.

2.1.3.2 現状と展望

本項で簡単に述べた,適応的制御を絡めた,若しくはそれへの応用の可能性があるような,QoS モデリングの周辺で行われている個々の研究,又はアイデアに対して,いくつかの問題点も各所で指摘されている.[1]による例をあげると,先に述べたような,プロトコルに対してコールアドミッションを追加するという上で問題とされている点は,コールアドミッションを実現する際に発生するシグナリング,及びブロッキング自体の再起的な呼び出しを抑制する効率的な方法についての実現などが考えられる.また,例えば TCP にコールアドミッションの機能を追加することを考えると,その実現のために,同時に並行して起こるであろう他プロトコルのフローに関しても輻輳の制御を必要とすることになり,結局,他の様々なプロトコルにも TCP のコールアドミッション実現のための輻輳制御機構を追加しなければならなくなるという問題も考えられる.

2.1.4.1 例示 2

2.1.3.1 に挙げたような,QoS に関する研究を行おうとする際,通信の遅延を予測する為の記述という研究も重要な要素として考えられる.そこで,今ここに,過去なされた研究の中での有名なものの例として,Parekh による end-to-end 通信における最大,(又は最悪)遅延時間についてのモデル式を式 2.1.4.1.1 として挙げる.

$$d = \frac{b}{g} + (N - 1) \frac{P_F}{g} + N \frac{P_N}{r} \quad (2.1.4.1.1)$$

d : 最悪遅延時間
 b : トークンバケットサイズ
 g : フローの転送速度
 N : ホップカウント
 P_F : フロー中の最大パケットサイズ
 P_N : ネットワーク中の最大パケットサイズ
 r : リンクスピード

2.3.1.1 式について簡単に触れる。右辺の各項はそれぞれ左から順に、バースト遅延、自フローによる遅延、他フローによる遅延を表しており、それらの和をもって最大遅延時間を定めている。バースト遅延とは、ゲートウェイに同じフローの複数のパケットがほぼ同時に到着した場合に、それらの直列化のために生じる遅延である。実際にパラメータを与えた場合の値の振る舞いの例として、Cプログラムを自作して再現したものを参考として図 2.1.4.1.2 としておける。これは典型的な 64kbps の RTP を用いたパケット通信における例である。式自体の正当性の検証などはここでの主たる目的ではないので、それに触れることはしない。参考文献[1]中では、このような方程式におけるトラフィックの情報源の記述には、多く様々な問題があるとされている。パラメータとして与えられているトークンバケットのサイズ、及びフロー中のパケットサイズなどの取得に関する現実的な問題についても幾つか触れられているが、適応的制御を目標とした場合の、end-to-end の遅延を記述する際に、ユーザ、アプリケーションに何らかの状態のパラメータを尋ねて情報を取得し、その情報を通信の遅延保証にフィードバックさせるというアイデアが興味深い。

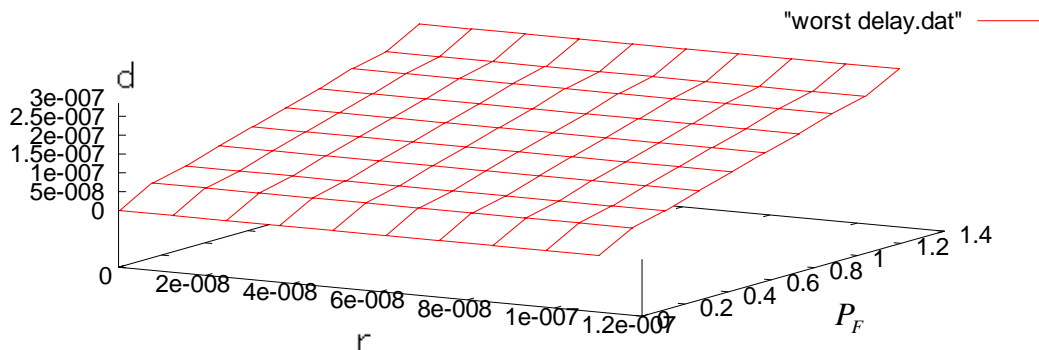


図 2.1.4.1.2: 自作 C プログラムによる 2.1.4.1.1 のシミュレート

2.1.4.2 現状と展望

2.1.4.1 で述べた end-to-end における遅延などの保証情報にユーザが持つ何かしらの情報を含めるといふ考えについて[1]において具体的には、ネットワークにおけるプライシングといった、社会経済学的な見地からのアプローチの提案がある。しかし、このような試みはかなりアイデア的、実験的な要素が大きいものである。が、これは逆に捕らえれば、何かしら新しい可能性が潜んでいるといえるのかもしれない。

いずれにせよ、現在においては通信技術の発達により、ボトルネックがエンドホスト自体であるという場合も多く、また、インターネットにおける重要な概念はエンド間通信であり、ユーザが感じる品質はあくまでもエンドアプリケーション及び、ユーザの尺度に基づくべきであると考えるとき、このような end-to-end に関する QoS 情報の収集は Diffserve, Intserve とは異なった種類の、重要なものとなるだろう。

2.1.5.1 例示 3

現在の、WWW(HTTP)、ファイル転送(FTP)、電子メール(SMTP)、リモートアクセス(Telnet)トラフィック、を含む重要な大量のインターネットトラフィックは TCP トランスポートプロトコルによって運ばれる。従って、QoS について議論しようとするとき、TCP について考えることは必然でもある。TCP は輻輳制御のためのフィードバックループを備えており、簡単に述べると、ネットワークの輻輳の発生を ACK を介して検知し、ウィンドウサイズの制御を行っている。TCP のスループットを知ることはネットワークの状態を把握するのに有益である。より詳細かつ正確な TCP の特徴を抽出することで、QoS 制御を行う際に役立てることが出来る。単純な TCP のスループットは、式 2.1.5.1.1 のようになる。なお、今後ここでの TCP の実装については今日のインターネットにおいて最もポピュラーな TCP Reno を想定している。

$$B = \frac{W}{RTT} \quad (2.1.5.1.1)$$

W : window size

RTT : round trip time

しかし,実際の TCP には更に複雑な要因があり,スループットを考えるにこれだけでは不十分な場合がままある.具体的には,通信のタイムアウト,パケットの損失,その結果生じる再送処理といった要因があげられ,特にそれらは,衛星回線を用いたような超長距離通信において大きな問題となる[1].[2]においてこれらの要素を考慮した TCP のより詳細なスループットのモデル式が提案されている(式 2.1.5.1.2).また,参考までに[2]中の結果例を検証を兼ねて自作の C プログラムでシミュレートしたものを図 2.1.5.1.3 としてのせる.式の導出及び,結果の詳細については実際に[2]を参考にされたい.

$$B = \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3}} + T_0 \min(1, 3 \sqrt{\frac{3bp}{8}}) p (1 + 32p^2)} \quad (2.1.5.1.2)$$

W_m : 最大告知ウィンドウサイズ RTT : ラウンドトリップ時間

T_0 : タイムアウト値 b : ACK 毎に承認されるパケット数

p : パケット損失率 B : フローのスループット

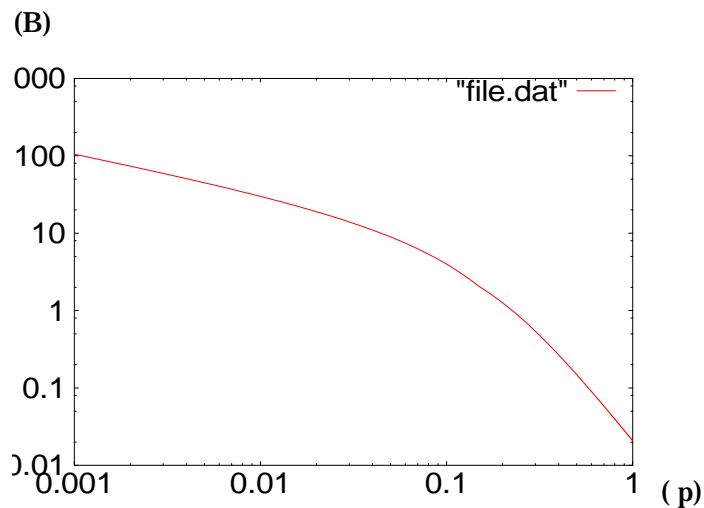


図 2.1.5.1.3 :自作 C プログラムによる 2.1.5.1.2 のシミュレート
(param : RTT=0.2150, T0=2.6078,, Wm=6.0)

2.1.5.2 現状と展望

式 2.1.5.1.2 は複数の文献(例えば[1],[5]),研究でも用いられており,スタンダード的なものである。しかし,いくつか問題点も指摘されている。一般的な問題として,スループット測定時の,超長距離通信においての RTT の値の信頼性,パケットの損失率がルータ上のキューにみられるごく一瞬のノイズ的なものであるという危険性(これは,電波障害などノイズによる損失が頻繁に起こるワイヤレスネットワークなどで特に問題となる。)などがあげられる[1]。つまり信頼できる,かつリアリティが十分ある値を如何に取得するかということである。それぞれの問題については,サンプリング間隔,及び回数を調節することで対応可能であろう。しかし,適応的制御を望む場合,サンプリング間隔とサンプリングしたデータの信頼性におけるトレードオフが,考慮すべき問題となると考えられる。また,サンプルの対象によってはサンプリングしたデータの転送によるトラフィックも問題となる恐れがある。このような問題を含む研究の例として後の 2.3 で述べる研究例があげられる。

2.3 動的なセキュリティ管理に関する研究

2.3.1 序文

複雑なアクセスコントロールアーキテクチャの発達は、それらのマネージメントに関する問題を伴って生じる。そこで例えば、そのような問題の一つとして、パケットフィルタの管理及び運用の問題に目を向けている研究が存在する。この項では、セキュリティ管理を動的に行うような種類の研究の例として、ネットワークにおける、パケットフィルタの動的なコンフィギュレーションによるアクセスコントロールに関する研究例について述べる。

2.3.2 パケットフィルタ

パケットフィルタとは、通信を制御するファイアウォール的一种であり、性質等から分類される複数のタイプのものがある。主な機能として、あらかじめ設定された条件に従いパケットを通過又は遮断させる能力を持つ。具体的には、パケット中に含まれるデータを調べ、送信元や送信先 IP アドレス、使用しているプロトコルの種別、ポート番号などに基づいてパケットの処理を行う。

2.3.3 例示

文献[3]においては,効率的なアクセスコントロールアーキテクチャは,アクセスコントロールルールの巧妙なコンフィギュレーションに依存することになるという考えに基づき,パケットフィルタの動的な管理及び運用に関する研究がなされている.具体的には,パケットフィルタによるアクセスコントロールにおいて,その管理の難しさから,セキュリティオフィサーをネットワークの効率と管理可能性の間の板ばさみに陥らせるような,現状のアプローチを踏み越え,ネットワークのモデルに依存せず,アクセスコントロールプロセスを最適なコンフィギュレーションとともに動的に提供するという目的で,インターネットベースのネットワークにおいて,オートマチックかつダイナミックな草案を用いたパケットフィルタのコンフィギュレーションを提案している.使われている手法としては,パケットフィルタ上に設置された管理エージェント及び,必要な各機能ごとに細かく分けられたモジュールのセットを用いており,そのそれぞれが,セキュリティオフィサーがごく簡単な言語を用いて定義したアクセスコントロールポリシーを目指して,相互作用することにより,ネットワークのトポロジの変更などにも対応した,動的かつ,適当な,パケットフィルタのコンフィギュレーションを実現している.個々のモジュール及びエージェントの機能,それらの相互関係等について興味を持った場合,詳細については文献[3]を各自参考にされたい.

[3]では,このような機能を実現するために,いくつかのアイデアが用いられているが,前提として大きく 3 つのシンプルな基礎事項をもとにしている.そして,各モジュール,及びエージェントは,システム全体がこれらの基礎事項を満たすべく機能を割り当て作成され,相互に作用していくこととなる.基礎事項の一つ目は,フィルタに割り当てられるルールは,ルールが実行されることができないエージェントに割り当てられてはならないというものである.二つ目は,ルールは,ルールが決して実行されないであろうエージェントに割り当てられてはならないというものである.最後,3 つ目は,通信を拒否する種類のルールが幾つかのカスケードフィルタに割り当てられることができる場合,ルールはエンドデバイスに最も近いパケットフィルタに割り当てられなければならない,というものである.これら 3 つの基礎事項は直観的に述べて,フィルタのコンフィギュレーションをできるだけ小さなものにしようという概念に基づいているといえるだろう.そして,このようなシンプルな考え方で,実際の一般的な LAN を想定したシミュレーションにおける,良好な結果を提出している.

2.3.4 現状と展望

パケットフィルタによるアクセスコントロールは、ルールを用いているので、パケットの分類作業を行っているとも言い換えることが可能だろう。例えば、通例、パケットの分類に関するアルゴリズムにおいて、その分類数をパラメタとして、時間計算量に関して最適なアルゴリズムはパケットの分類の際の時間計算量が多項式時間となるが、逆に空間計算量においては指数的なものになり、一方、空間計算量に関して最適なアルゴリズムではその関係は反対になる、とされている[4]。これをうけて、[3]においては、このような状況下で考慮していくべき重要な事項は、フィルタのコンフィギュレーションを出来るだけ小さくすること、つまり、フィルタに割り当てられるルールを最小化、及びフィルタ自体の設置を最低限に抑えること、若しくは、空間計算量と、時間計算量とのトレードオフをよりの確に行うこと、又はその方法であろうとされている。

こうした取り組みにおいて、全てが問題なく進められている訳ではなく、幾つかの問題がまた、考えられている。例えば、[3]ではステートレスなパケットフィルタにのみ焦点を当てていたが、ステートフルなパケットフィルタへの拡張の必要も考えられ、又[3]自体にも記述があるように、DoS 攻撃に対する強さに関してなど、このようなアーキテクチャ自身に対してのセキュリティに関する問題があげられる。しかし、セキュリティ管理という仕事は、ネットワークが複雑化すればするほどセキュリティオフィサーに多大な負担をかけるようになるだろう。実際、コンピュータネットワークを利用したシステムは量的、数的に見ても増加にあり、憶測に過ぎないが、いずれは、人の手でセキュリティ管理を行うのが現実的でなくなるという局面にまで達する可能性も考えられる。こうした点から考えても、セキュリティを動的に管理しようというこの種の活動は、期待できるものだと判断して然るべきものだろう。

2.4 高信頼性マルチキャストにおける輻輳制御の研究

2.4.1 序文

この項では,データの転送における信頼性を確保するマルチキャスト転送プロトコルである,高信頼性マルチキャスト転送プロトコルにおいて,輻輳制御に対する研究の例について述べる.

2.4.2 高信頼性マルチキャスト

インターネット上において 1 対多,多対多型の通信を効率良く行うための技術として,IP マルチキャストが注目され,研究が進められている.IP マルチキャストでのデータ配信は,トランスポート層プロトコルで User Datagram Protocol(UDP)を使用しており,信頼性に乏しい.そのような理由から,通信を行う際に信頼性が求められる場合のための,高信頼性マルチキャストプロトコルなる概念が存在する.

2.4.3 例示

参考[5]では(MDP:Multicast Dissemination Protocol,マルチキャスト散布プロトコル)として筆者らが提案する高信頼性マルチキャスト転送プロトコルに,さらに輻輳制御を追加したものである MDP-CC と呼ばれるものについて述べられている.ここで用いられている考え方は,TCP との公正さを保証するために,TCP の定常状態におけるスループットをモデル化した数式を用いて,MDP-CC の輻輳制御モデルを定めるというものである.

ここで用いられている TCP スループットのモデルの数式は 2.1.5.1 で紹介した式 2.1.5.1.2 と同じ物である.2.1.5.1.2 の式及び MDP-CC の輻輳制御モデルのためのパラメータには RTT やパケットロスといったものが考えられており,それらをマルチキャストグループの中の受信者からの代表によるフィードバックを通してダイナミックに得られるようにすることで,状況に応じた動的な値を得ることを可能としている.これは2.1.5.2で指摘したパラメータ値の信頼性の確保の問題に対し独特の工夫を凝らした良い例として捉えることができる.

パラメータを報告する代表者という存在を設定することでマルチキャストグループ全員からの,動的な輻輳制御の為にフィードバックレスポンスによる輻輳を防ぎ,また,代表に関しても代表を選出するための特別なアルゴリズムを用意しており,代表がダイナミックに変化することにより,ボトルネックの複数存在するようなネットワーク上においても適応的な輻輳制御を行うことを可能としている.方法の詳細に関しては[5]を参考にされたい.

このような種類の,即時的なフィードバックのプロセスを導入した考え方は,利用可能なネットワークのキャパシティの早期発見及び,輻輳に直面したときの,より素早い転送レートの確保,あるいは,新たに利用可能なキャパシティの素早い利用を可能とする見込みのある,非常に有益なものであると判断できる.実際に文献[5]中での実験結果では,ダイナミックに発生し,そして終了する TCP フローと高信頼性マルチキャスト転送プロトコルフロー(MDP)の公正さに関する良好な結果が確認されている.

2.4.4 現状と展望

現在のところ, end-to-end の, 速度に適応的なアプリケーションにおける高信頼性を維持し
かつ, ワイドスケールな実装のための, 効果的かつダイナミックな輻輳制御の手法を提供す
る, 標準化されたインターネットベースのマルチキャスト転送プロトコルは存在していない.
そして, 先に述べたような, その研究と標準化の努力が, これらの問題を扱うために行われつ
づけている. 実際, 様々な高信頼性マルチキャスト転送プロトコルが提案されており, いく
つかはその実装があり, 代表的な例としては AFDP, SRM, RMTP などが挙げられる. これらの
プロトコルは, それぞれパケットの損失の検出, その通知, もしくはパケットの再送方法を定
めることによって信頼性の提供を行っている.

高信頼性マルチキャスト転送プロトコルは今後とも非常に有用, もしくは必要不可欠なもの
となるだろうが, 今日のそれにおいては, 欠けているとされる要素がいくつかあり, [5]による
と, それらの問題に対し, ここで参考にした論文に加えて, 他の場所でも帯域の動的管理や, 待
ち行列の新しい理論に関する側からのアプローチなど様々な研究が現在なされている. 詳し
く記すと, そのうちの一つの要素は, サービスの公正さを保証し, 多種のネットワークの形態
に依存せず実時間でロバストに機能することができるような輻輳制御に関する試みである.
例えば他のプロトコル, 世界的に標準化されたユニキャストトランスポートプロトコルであ
る TCP においては end-to-end の通信におけるいくつかの効果的な, 輻輳制御機構を提供し
ている. しかし, 高信頼性マルチキャスト転送プロトコルにおいては未だ, 際だったその手法
は存在しない. また, もう一つの問題として, そのような機能を含めて高信頼性マルチキャス
ト転送プロトコルを実現した際に予想される, 高信頼性マルチキャスト転送プロトコル自体
のトラフィック及び, それが他のプロトコルのフローなどに与える影響が挙げられる. 高信
頼性マルチキャスト転送プロトコルのフローはその性質から, ネットワークトポロジの広い
範囲に簡単に及ぶことになるのでこれに対しても細心の注意が必要であると考ええる.

3 シミュレーション例 (additional section)

3.1 序文

今回,調査の過程で参考とした資料の多くで,ns と呼ばれるネットワークシミュレータによるシミュレーションが行われていた.各項で主要な参考とした[2],[3],及び[5]についてもその例に漏れることなく,実測とあわせて,ns によるシミュレーションが行われていた.これらの事実を受け,本論の追加的要素として ns についての考察の必要性を感じ,実際に ns を用いたシミュレーションの例を示すこととした.

3.2 ネットワークにおけるシミュレーション

ネットワークに関する研究を行う際に,数式を用いた解析を行う手法がとられる場合がある.この時,コスト面や,時間的な問題などから,結果の妥当性を実装,及び実測で確認することが困難な状況に直面することがある.このような局面を回避するためにシミュレータの存在がある.また,新しい技術を実際のネットワークで実装する前に,シミュレータで試験を行うといったことも可能である.

後に述べる今回の例で言えば,TCP に関連した研究を行う場合,TCP が複雑な制御を行っているため,数式を用いてだけの解析を行うのは一般に困難であり,TCP に着目した研究を行う場合,シミュレータによるシミュレーションを行うことは非常に有益であるといえる.

3.3 ns

ns とは,カリフォルニア大学バークレイ校で開発された,イベントドリブン型のネットワークシミュレータである.ns はオープンソースであり,[7]などから入手することができる.ns 本体は C++で記述されているが,シミュレーションの内容は tcl を用いて,tcl 及び ns の関数群によって記述し tcl スクリプトを作成することによって記述を行う,そして,目的のシミュレーションを行う.変数をファイルへ書き出し,必要な結果を取得することができ,又,ns のソース自体を直接書き換える,C++によってバインドされている変数を tcl 側から操作するといったことによって,シミュレーションの詳細な設定を行うこともできる.また,オプションとして,nam と呼ばれるシミュレーションの可視化ツールなどもある.

3.4 シミュレーション例

研究の目的については既に概要で述べた .ns は今回の目的上, 重要な関係要因であるが, あくまでも道具の一つであり目的ではない. 従って, 前述のようにこの項は全体から見て追加的な位置付けにある. よって, 例については単純なシミュレーションについて, 最小限を示すに留める.

3.5 シミュレーションの詳細

3.5.1 環境

実行環境の詳細を図 3.5.1.1 に記す.

| 関連要素 | バージョン等 |
|------|-------------|
| HW | SUN ULTRA 5 |
| OS | Solaris 8 |
| Ns | 2.26 |
| Nam | 1.9 |
| Tcl | 8.3.2 |

図 3.5.1.1

3.5.2 シミュレーション目的と内容

TCP が輻輳制御を行っている様子を確認することを目的として, 10 秒間のシミュレーションを行う. そのために, 開始時を起点として, ノード 1 からノード 3 へパケット長 1500 バイトの CBR トラフィックを TCP(Reno)フローとして 0.001 秒間隔で送信し, その輻輳ウィンドウサイズと, ACK ナンバーの変化を測定する. 更に, 意図的に輻輳状態を発生させるための競合フローとして, シミュレーション開始直後から 8 秒後まで, パケット長 500 バイトの CBR トラフィックをノード 0 から 3 へ UDP フローとして 0.001 秒間隔で送信する. その結果中継点となるノード 2 がボトルネックとなり輻輳が生じる. なおリンクスピードはすべてのパスにおいて 10MB である. トポロジを図 3.5.1.2 に示す.

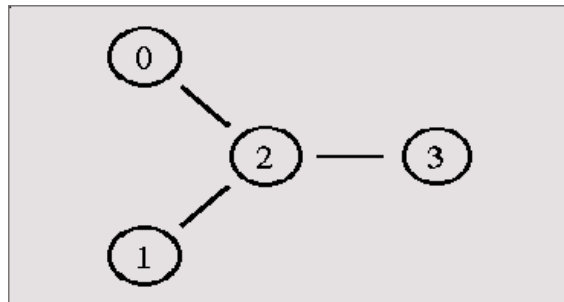


図 3.5.1.2

3.6 結果

TCPフローについて、輻輳ウィンドウサイズの変化を図 3.5.1.3 に、ACK番号の変化を図 3.5.1.4 にそれぞれグラフとして示す。2つのグラフを合わせて見ることによってTCPが、ACK到着の状態をフィードバック情報としてウィンドウサイズを変更し輻輳を制御している様子を見て取ることができる。

(kbyte)

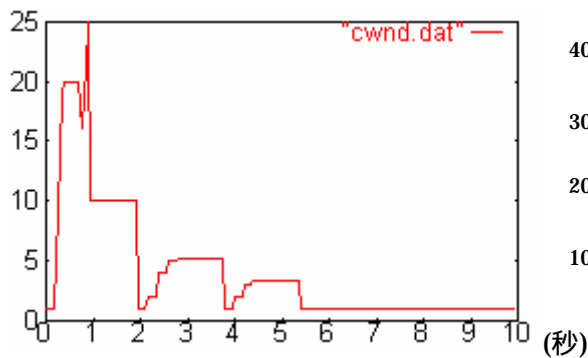


図 : 3.5.1.3 (ウィンドウサイズ)

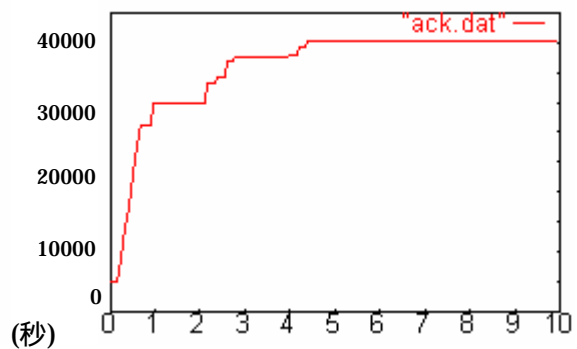


図 : 3.5.1.4 (ACK番号)

3.7 まとめ

この項では、本件の追加的要素として ns によるシミュレーション例を示した、また、ここでは触れないが、他に幾つかのシンプルなシミュレーションを行い、ns の概観とその有用性を確認することができた。

4 まとめ

本内容では、コンピュータネットワークにおける適応制御に関連した基礎的調査研究を行った。又、追加的な要素として、参考とした文献の多くで用いられていたネットワークシミュレータ、ns に関する情報を単純なシミュレーション例と共に示した。各項で提示した例各々についての別個の考察は、現状と展望という形で各項内に含めた。従って、ここでは複数の項に共通すると考えられる一般的事項等について触れ、全体のまとめとする。

こうした研究に取り組むにあたり考慮すべきことがあげられる。一つ、新たな方式による、ネットワークへの複雑さの追加に関する問題である。新しい適応制御の方式は新しいトラフィックの型を持つだろう。例えば[3]においては、トラフィックについては何ら触れていないしかし、研究者は、当然のことながら自らが提案する方式に対して、その方式が生み出すトラフィックの性質についても考えなければならないだろう。もう一つとして、研究例をあげた項の末に設けた、現状と展望の中であげた以外のタイプのものとしての課題を付け加える。実際にとりあげた[3],[5]を含め、調査の過程で見た大体の取り組みが、適応的な制御をネットワーク側でのサポートとして行うものであった。しかし、今後は今回とりあげたようなタイプの研究に加えて、エンドホストがネットワークの状態に適応し、ネットワーク資源の移動、変動に適応するといった考えも重要であると考えられる。これは、モバイルネットワークなど新しいタイプのネットワークで更に重要となるだろう。各項であげた問題に加え、こうした事項も今後必要に応じて把握していくべき物と考える。また、本件においては机上での理論的な事項にのみ傾倒した観が否めないなので、実装のテクニックに関する技術習得の必要性について、自らを喚起する意味を込め、自身への課題として加えてここに記しておく。

5 謝辞

本研究にあたり,最後まで熱心な御指導をいただきました田中教授には,心より御礼申し上げます.また,田中研究室在籍の院生及び,同期生の方々には,本研究に関して直接,及び間接的に数々の御協力と御助言をいただきました.この場で厚く御礼申し上げます.なお,本論文,並びに関連する発表資料等のすべての知的財産権を,本研究の指導教官である田中教授に譲渡致します.

6 引用文献

- [1] Crowcroft, J., "Herding cats: modelling quality of service for Internet applications", *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series A*, v 358, n 1773, 15 Aug. 2000, p 2209-15
- [2] Padhye, J., Firoiu, V., Towsley, D., Kurose, J., "Modelling TCP throughput: simple model and its empirical validation. Proc. SIGCOMM '98, Vancouver, CA, September 1998.
- [3] Paul, O., Laurent, M., "Improving packet filter management through automatic and dynamic schemes", *Proceedings of SEC 2000: Information Security*, 22-24 Aug. 2000.
- [4] K.S.McCurley, "The Discrete Logarithm Problem", *Cryptology and Computational Secret(Extended Abstract)*, "Proceedings of CRYPTO' 86
- [5] Macker, J., Adamson, R.B., "Reliable multicast congestion control (RMCC)", *MILCOM 2000 Proceedings*. 2000, pt. 2, p 685-9 vol.2

7 参考文献

- [6] 村山公保,西田佳史,尾家祐二,岩波講座 INTERNET 3 トランスポートプロトコル,岩波書店,2001
- [7] 砂原秀樹,知念賢一,中田秀基,松岡聡,後藤慈樹, 岩波講座 INTERNET 4 ネットワークアプリケーション,岩波書店,2003.
- [8] 滝根哲哉 伊藤大雄 西尾章治朗, 岩波講座 INTERNET 5 ネットワーク設計理論,岩波書店,2001.
- [9] 宮原秀夫,尾家祐二,基礎情報工学シリーズ 9 コンピュータネットワーク,森北出版,1998.
- [10] W・リチャード・スティーヴンス 著, 中本幸一,石川祐次,田中信佳,詳解 TCP/IP Vol.3[新装版],2002.
- [11] W・リチャード・スティーヴンス 著, 橘康雄,井上尚司,詳解 TCP/IP Vol.1[新装版],2002
- [12] the network simulator ns-2:<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>