

平成 21 年 6 月 18 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19700074

研究課題名（和文）大規模ネットワークの解析手法の確立および性能評価の研究

研究課題名（英文）Performance Analysis of Large-Scale IP Networks considering TCP Traffic

研究代表者

久松 潤之 (HISAMATSU HIROYUKI)

大阪電気通信大学・総合情報学部・講師

研究者番号：90434802

研究成果の概要：

トランスポート層プロトコル TCP を考慮した大規模ネットワークの性能解析手法を提案した。また、提案手法を用いて、大規模ネットワークの性能解析を行った。その結果、ネットワーク内部のルータのバッファサイズを小さくした場合、ネットワーク内部を通過しない TCP コネクションが、ネットワーク内部を通過する TCP コネクションから帯域を奪うことを明らかにし、ネットワーク内部のルータのバッファサイズは小さくすべきでないことを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	0	2,100,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	180,000	2,880,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 計算機システム・ネットワーク

キーワード：大規模ネットワーク，バッファサイズ，トランスポート層プロトコル

## 1. 研究開始当初の背景

近年、インターネットに接続されるノード数と、インターネットを利用するユーザ数が、指数関数的な勢いで増加している。例えば、インターネットに接続されている計算機の台数は、2006 年 1 月に約 3 億 9499 万台であったのに対して、6 ヶ月後の 2006 年 7 月に約 4 億 3928 万台である。わずか 6 ヶ月で約 4500 万台増加している。これにともない、大規模ネットワークの設計手法や、性能解析手法に対する要求が高まっている。しかしながら、大規模なネットワークの性能解

析・評価手法は、十分に整備されていないのが現状である。

インターネットの性能を決める重要な要素の一つに、TCP の輻輳制御が挙げられる。TCP トラヒックは現在のインターネットトラヒックの大部分を占めるにもかかわらず、大規模ネットワークの設計問題においては、TCP のフィードバック制御に基づく輻輳制御がほとんど考慮されていない。既存の研究では、多くの場合、トラヒックデマンドとして、変動のない UDP フローを仮定している。例えばリンク帯域、パケット処理能力、出力

リンク数などのルータの技術的制約のもとで、ネットワークのスループットの最大化を目指した結果、ルータレベルでのインターネットのトポロジが、べき乗則に従うことが示されている。しかし、その研究では、ネットワーク中のトラヒックとして UDP フローのみを考えており、ネットワーク内で発生するパケット廃棄を考慮していない。そのため、パケット廃棄をフィードバック情報として動き、トラヒック変動に大きな影響を与える TCP を考慮できていない。

一方、TCP の輻輳制御とネットワーク性能との関係を、明らかにしようとする研究も多く存在する。これらの研究では、トラヒックとして TCP を考えており、詳細に渡る検討をしているものもあるが、TCP コネクション数は高々数千本程度で、大規模ネットワークを対象としたものとは言えない。しかも、このようなフロー数を扱っている研究では、ネットワークトポロジがダンベル型といった、非常に単純なものがほとんどである。これは、ネットワークシミュレータの限界も影響していると考えられる。

また、流体近似法を用いた大規模ネットワークおよび、多数のフローを解析するための方法に関する研究が数多くある。例えば、流体近似モデルを用いて、大規模ネットワークの性能評価手法を提案している研究がある。この研究では流体近似モデルを用いて、TCP の輻輳制御機構とアクティブキュー管理機構がモデル化されている。また、各 TCP コネクションがルータをどの順番で通過するかを、明示的にモデル化することにより、パケットの最大転送レートが、ルータの処理能力によって抑えられる効果もモデル化した研究もある。さらに、微分方程式を数値的に解くことにより、平衡点における TCP のウィンドウサイズと、ルータのバッファ内パケット数が導出している研究もある。しかしこれらの研究は、現状では大規模ネットワークの解析・シミュレーション手法の確立段階で、ネットワーク設計に関する議論まで進んでいる研究はない。

また、TCP の輻輳制御に加えて、ルータの性能もインターネットの性能を決める重要な要素の一つである。出力リンクの帯域やバッファサイズはエンド間の TCP スループットに大きな影響を与える。近年、ルータのバッファサイズに関する研究が、活発に行われている。従来、ルータのバッファサイズの決定には、リンク帯域と TCP のラウンドトリップ時間の積、すなわち帯域遅延積を指標とする方法が広く使われてきた。しかしながら、ルータを通過する TCP コネクション数が十分に多く、その結果、TCP コネクションが同期しない場合にはルータのバッファサイズを、ルータを通過する TCP コネク

ション数の平方根で、帯域遅延積を除算したサイズまで小さくしてもリンク利用率がほとんど低下しない、という研究成果がある。しかし、これらの研究の多くは、コアネットワークのみに注目した小規模なネットワークについて、ルータのバッファサイズの縮小の効果を調査しており、エッジネットワークおよびコアネットワーク両方を含む、ネットワーク全体を対象とした検討が行われていない。

すなわち、現実にある大規模ネットワークに TCP トラヒックが流れた時に、ネットワークがどうなるか、エンド間の TCP スループットはどうなるか、ルータのバッファサイズはどうあればいいのか、といった検討がこれまで行われていない。

## 2. 研究の目的

- (1) 本研究では、100 / 1,000 / 100,000 を越えるルータ / エンドホスト / リンク、そして、100,000 本を越える TCP コネクションが存在するネットワークを対象とした解析手法を提案する。
- (2) 得られたネットワーク全体のモデルを用いて、性能解析を行う。その結果、我々の解析手法が、大規模ネットワークにおける TCP コネクションの振舞いを、適切に捉えていることを示す。また、解析結果とシミュレーション結果を比較し、解析の妥当性を示す。
- (3) 実際のルータレベルのトポロジを元に導出された Abilene-inspired ネットワークに対して、本解析手法を適用することにより、コアルータのバッファサイズ縮小がネットワークおよび TCP コネクションに与える影響を検討する。

## 3. 研究の方法

- (1) 解析においては、ネットワークの各構成要素を独立のシステムとしてモデル化する。ネットワークの構成要素として、TCP およびリンクをモデル化し、これらを相互接続することで、大規模ネットワークをモデル化する。また、ネットワーク中のトラヒックを、"gravity model" に従って決定する。gravity model では、ルータ A からルータ B へのトラヒック量が、ルータ A からネットワークに入ってくるトラヒック量と、ルータ B からネットワークから出て行くトラヒック量の積に比例する。router からネットワークに入出力されるトラヒック量は、ルータに接続しているエンドホストの数に比例すると考える。また、ルータ間のトラヒック量に比例して、ルータ間の TCP コネクション数が決定されるとする。
- (2) 比較的小規模のネットワークを対象と

して解析および、シミュレーションを行い、それらの結果を比較することにより、解析手法の妥当性を検証する。ここで、比較的小規模のネットワークを対象とするのは、大規模なネットワークではシミュレーションが実行できないためである。さらに、大規模ネットワークにおける解析結果を示す。なお、評価指標は、ネットワークの各リンクにおける、リンク利用率、パケット棄却率および、TCP コネクションのスループットとする。

- (3) 本解析手法を Abilene-inspired ネットワークに適用する。図 1 にネットワークモデルを示す。このネットワークのトポロジは、実際のルータレベルのネットワークトポロジの性質に従って設定されている。すなわち、ネットワークの中心にあるルータほど、その入出力リンクの帯域が大きく、また、ネットワークの端のルータほど、多数の入出力リンクを持つ。
- Abilene-inspired ネットワークは、11 の core router、54 の middle router、106 の edge router、そして、812 の end host から構成される。また、901 の双方向リンクが router および end host 間に存在する。

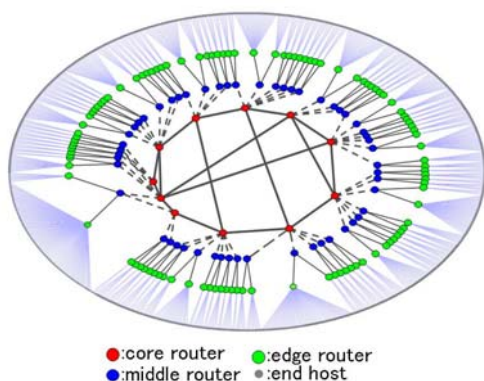


図 1: Abilene-inspired ネットワーク

#### 4. 研究成果

- (1) 図 2 のネットワークに対して、本解析手法および、既存のシミュレータ ns-2 を用いてシミュレーションを行い、性能評価した。なお、図 2 のネットワークには、20 / 225 / 490 の ルータ / エンドホスト / リンクおよび 2,250 の TCP コネクションが存在する。上記ネットワークより大規模なネットワークに対して、ns-2 を用いたシミュレーションを行うことは難しいことを注意されたい。評価の結果、解析結果とシミュレーション結果のリンク利用率、パケット棄却率が一致していることを示した。スループットに関しては、一部異なっていたが、これは、シミュレーションにおいて、パケット棄却に偏りがあるためである。パケット棄却に偏りがあるのは、

長時間のシミュレーションを実行することで解決できると考えられるが、これは事実上不可能である（これはシミュレーションの欠点の一つである）。

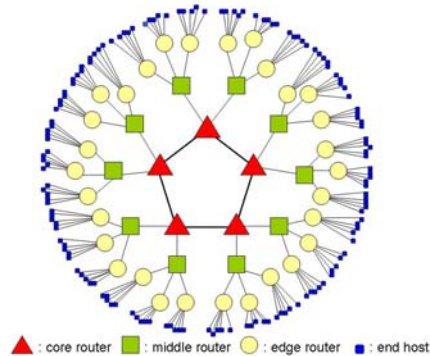


図 2: ネットワークモデル

- (2) 図 1 のネットワークに対して、アクセスリンク(ユーザがインターネットに接続する際に用いるリンク)の帯域が小さいとき(現在のネットワーク)、大きいとき(将来のネットワーク)、それぞれの場合に対して、コアルータのバッファサイズを小さくしたときの性能評価を、本解析手法を用いて行った。

アクセスリンクの帯域が小さいとき、コアルータのバッファサイズを小さくした場合、現状のままの場合に大きな違いはないことが分かった。これはアクセスリンクの帯域が小さくネットワーク内部に流入するトラフィックが少ないためである。そのため、コアルータのバッファにほとんどパケットが存在しない状態となり、コアルータのバッファサイズがネットワークおよび TCP の性能に影響をおよぼさない。

アクセスリンクの帯域が大きいとき、コアルータのバッファサイズを小さくした場合、現状のままの場合では、大きな差がある。コアルータのバッファサイズが小さい場合、コアルータを通過する TCP コネクションのスループットが小さくなる。これは、アクセスリンクの帯域が大きくなったことで、ネットワークに流れるトラフィックが多くなる。その結果、コアルータのバッファにパケットが多数存在することになる。そのため、コアルータのバッファサイズが小さいとき、パケット棄却率が大きくなり、コアルータを通過する TCP コネクションはスループットが小さくなる。以上より、コアルータのバッファサイズは小さくするべきでないことが分かる。

- (3) 本解析手法を用いることで、大規模ネットワークに関する下記のような問いに、答えることができると考えられる。①ネットワークに入ってくるトラフィックが増えたときに、アクセスネットワークとコアネッ

トワーク、どちらのネットワークが輻輳するのか。②設備投資を行うときに、ネットワーク資源を効率良く使うためには、何を増強すればいいのか。③今後、アクセスネットワークやコアネットワークの技術（リンク帯域、degree 数など）が発展した時に、ネットワークの輻輳個所はどのように移動するのか。④その時、エンド間のスループットはどう向上するのか。これらの問いは、ネットワークを設計する際に非常に重要となる。今後は本解析手法を用いて、これらの問題を明らかにしたい。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 2 件）

- ① 織田弘樹、久松潤之、無線 LAN 環境下における Compound TCP 公平性改善手法の提案、電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会、2009 年 4 月 17 日、沖縄県青年会館
- ② 織田弘樹、久松潤之、無線 LAN における Compound TCP コネクション公平性の検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2008 年 9 月 19 日、明治大学・生田キャンパス

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.olnr.org/publication>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

久松 潤之 (HISAMATSU HIROYUKI)

大阪電気通信大学・総合情報学部・講師

研究者番号：90434802