

平成 22 年 6 月 5 日現在

研究種目：基盤研究(G)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19500072
 研究課題名(和文) アドホックネットワークにおける TCP トラフィックのスケーリング解析に関する研究
 研究課題名(英文) Research of the scaling analysis for TCP traffics in the Ad Hoc Network
 研究代表者
 中嶋 卓雄 (NAKASHIMA TAKUO)
 東海大学・産業工学部電子知能システム工学科・教授
 研究者番号：90237256

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、ネットワークを構成するすべてのノードが移動可能なアドホックネットワークにおいて、相互通信を構成するネットワークの end 間の通信パフォーマンスを向上させることを目的としている。シミュレーションおよび実機による実験により、ノードが隣接するノード数およびノード自身の速度に応じて流れを制御する経路制御パケットの送出を変化させることによって通信パフォーマンスを向上させることが可能となった。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, our aim is to improve the end-to-end communication performance focusing on the time-based analysis in the Ad Hoc network in which all nodes can move differently each other. As the results of simulations and the conductions using actual devices, the end-to-end performance could improve to sustain to control the route control packets in according to the number of adjacent nodes and the node speed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	500,000	150,000	650,000
2008 年度	100,000	30,000	130,000
2009 年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	700,000	210,000	910,000

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：アドホックネットワーク、センサーネットワーク、フラッドイング特性、トラフィック解析、シミュレーション、キューイング解析、TCP、スケーリング解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究の当初の背景としては、2つの要素が関係している。一方は、アドホックネットワークに関する要素であり、他方はネットワークのend間のパフォーマンス評価に関する要素である。

(2) 前者のアドホック無線ネットワークに関する研究では、すでにデータリンク層では無線LANで利用されている802.11やその高速化および、長距離での無線通信などが実用化されている。またネットワーク層では、アドホックネットワークのルーティングプロトコルとして、Table-Driven型や、On-Demand型などのプロトコルが提案され、ネットワークシミュレータなどにより評価されている。また、アドホックネットワークの発展したネットワークとしてセンサーネットワークが提案され、電源の消費問題とルーティングプロトコルの関係などのモデル化などが議論され、さらに既存ネットワークとの統合を考慮した、無線および有線を統合するハイブリッドネットワークが提案されている。しかし、ルーティングプロトコルの評価などはシミュレーションによる評価が主流であり、まだ実際に動作させた実環境におけるアドホックネットワークの構築およびその評価は研究の途上である。また、ルーティングプロトコルとトランスポート層との関係などについても研究の途上である。

(3) 後者の、パフォーマンス評価は、トラフィックの自己相似性の特徴抽出の中で、時間軸に対する特徴を詳細に抽出することに焦点を置いている。一方で、ネットワークのトラフィックの特性として、Lelandらが自己相似性を持つことを提起して以来、各種のトラフィックの中で観測されている。この自己相似性を特徴づけるパラメータとしてHurstパラメータが存在するが、それは一つのパラメータであり、自己相似性の特徴すべてを規定するものとしては十分ではなく、近年では時間軸に対する特性解析としてWavelet解析を使ったスケーリング解析が試みられている。しかし、各種の実データに対するネットワークパラメータとスケーリング解析による特性の関係付けについては少しずつ明らかになりつつあるが、まだ確定的なルールの発見まではいたっていない。また、self-similarな特性と、それがインターネットを流れる過程でどのように変化するかについても明確にはされていない。特に、インターネットにおいては、データが流れるパ

スの中で最も帯域が狭いボトルネックにより、大きくその特性が変化することが予測できるが、self-similarな特性とボトルネックとの関係についても研究の途上である。これは、ボトルネックの両端を構成するルータのキュー制御とも関係しており、self-similarな特性とキュー制御方式との関係性についての研究も途上である。

2. 研究の目的

(1) まず、実際のアドホック無線ネットワークを構成できる機器を利用したネットワークを構築し、そのネットワーク上でデータ転送を試みることにより、現実の環境においてどのようなパラメータが通信品質に影響するのかを抽出する。マイクロセンサーネットワーク:MOTEを構築し、温度、湿度および気圧センサーによりデータ送信を行いながら、物理層およびデータリンク層においてどのようなパラメータが通信の障害になるのかを抽出することを目的としている。特に、ネットワークノードが移動したり、送受信パスの中間に障害物が入ったりすることによる通信品質の劣化のレベルおよびタイミングを明らかにすることである。

(2) 次に、ネットワーク層に注目し、センサーネットワークで利用されているルーティングプロトコルの通信パフォーマンスの評価を行うことを目的としている。パフォーマンスが劣化する要因となる、ルーティングプロトコルの制御パケットを抽出し、その制御パケットが起動される要因を調査するとともに、その制御パケットの送出を抑制する新たなアルゴリズムを提案することを目的としている。

(3) さらに、end間の通信に直接的に関与するトランスポート層に注目し、特にTCPにおける通信パフォーマンスを評価する。end間WiredのネットワークだけではなくWirelessのアドホックネットワークが存在するネットワークに関する、パフォーマンス劣化の要因を抽出する。また、TCPにおける輻輳ウィンドウとパフォーマンス劣化の関連性を調査することにより、輻輳制御アルゴリズムを新たに提案することを目的としている。

(4) 最後に、ネットワークの規模が大きくなり、中間ノードのパフォーマンスが直接endノードのパフォーマンスに影響する場合

のパフォーマンス劣化の要因を抽出することである。WiredにしるWirelessにしる、end間の通信では、そのパス中のボトルネックの帯域およびその両端のルータのキュー制御が大きくパフォーマンスに影響する。従来、ネットワークのトラフィックはSelf-similarな特性があることが指摘されており、そのような特性を持つトラフィックに対してパフォーマンスを向上させる新しいキュー制御方式を新たに提案することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) まず、実際のデバイスを利用したセンサーネットワークとして、複数のノードによりマイクロセンサーネットワーク:MOTEを構築し、温度、湿度および気圧センサーによりデータ送信のパフォーマンスを評価する。さらにノードデバイスを移動させる場合、ノード間に障害物がある場合、ノード間の距離が非常に遠くなる場合などの実環境を変化させることにより、パフォーマンス劣化の要因を調査する。

(2) 次に、ルーティングパフォーマンスに関しては、ルーティングプロトコルの中でもOn-demand型でノードが高速に移動してもパフォーマンスが劣化しないAODVに注目し、その特性をシミュレータにより評価する。特に、AODVにおいてパフォーマンス劣化の要因となるリンク再確立時のRouteRequestパケットの送信要因、送信タイミング、フラディングのエリアなどを調査する。

(3) さらに、実環境のマイクロセンサーネットワークを中間に入れた場合、およびシミュレーションにモバイルネットワークを構築した場合の2種類の場合によりTCPパフォーマンスを評価する。特にスループットおよび中間ノードにおけるパケットロスを検討したグッドプットの指標について調査する。実環境においては、すでに物理層・データリンク層で調査した場合と同様にノードデバイスを移動させる場合、ノード間に障害物がある場合、ノード間の距離が非常に遠くなる場合などの環境を変化させることによるend間通信のパフォーマンスを評価する。シミュレーションにおいては、前述したルーティングパフォーマンスで得られた最適なパラメータに基づき、end間のTCPおよびUCPパフォーマンスを評価する。

(4) 最後に、ボトルネックにおけるキューイング制御方式の検討については、大規模なトラフィックがバックグラウンドトラフィックで存在する必要がある、さらに評価が容易

なシミュレーションにより制御方式を検討する。特にトラフィックとしてはself-similarなトラフィックをPareto分布により生成し、キューの特性についてはキュー容量を変化させながら抽出する。特に、TCPについては、輻輳ウィンドウとの関連性についても調査する。結果から、キューの流れを制御することが可能な、アクティブ制御方式を新たに検討する。

4. 研究成果

(1) 以下では、年度に対応した研究成果をまとめる。

(2)

① H19年度実施した内容は、第一に、マイクロセンサーネットワークのデバイスの動作であり、第二に、アドホックネットワークおよび特定の分布に基づくトラフィックのシミュレーションによるパフォーマンス評価である。

② デバイスの動作に関しては、マイクロセンサーネットワーク:MOTEを構築し、温度、湿度および気圧センサーからのデータを収集した。センサーデバイスは固定させ、数種類の異なるトポロジーにおけるデータを収集した。この収集したデータは、H20年度以降実施する予定の移動時の特性と比較するための基礎的なデータとなる。下位層からの厳密な評価は重要であり、マイクロセンサーネットワークの特性については、物理層をへてデータリンク層までを評価する。ネットワーク層でのルーティングおよびアプリケーションのデータ転送制御をするトランスポート層については、次年度以降において厳密に評価することにした。

③ シミュレーションについては、アドホックネットワークのルーティング性能を評価するシミュレーションと、通常のネットワークにおけるHeavy-tailedなデータ分布に基づくシミュレーションを実施した。アドホックネットワークのルーティング特性については、DSR, AODVおよびDSDVについての動作特性を、ノードのスピードおよびノード密度に関して比較した。結果としてAODVについては経路制御パケットの負荷はノードスピードには依存せず、ノード密度に敏感であることなどの特徴を抽出することができた。また、Heavy-tailedなデータ分布によるボトルネック上のキューイング特性についても評価し、複数のデータ分布に依存するキューの特性を厳密に評価した。分布依存特性の評価は、最終的なセンサーデータの分布特性とトラフィックの関係においても重要な意味を

持つ。

(3)

① H20 年度実施した内容は、第一に、マイクロセンサーネットワークに基づくトラフィックの実測であり、第二に、アドホックネットワークにおけるルーティング特性およびフラッディング特性のシミュレーションによる評価である。

② トラフィックの実測に関しては、構築したマイクロセンサーネットワーク MOTE を動作させ、温度、湿度および気圧センサーからのデータの実測を行い、その動作特性を分析した。

③ シミュレーションによる評価に関しては、アドホックネットワーク、マイクロセンサーネットワークにおいて使用されている AODV に注目し、シミュレーションによってのみ可能な大規模なノードが存在し、高速に移動する環境における動作特性を解析した。特に、AODV において、経路を確立する時に流れる RouteRequest パケットのフラッディング特性についてシミュレーションにより評価した。また、その動作特性を TCP のスループットと関連させながら議論した。また、一般的なネットワークトラフィックのモデルとなっている self-similar なトラフィックに限ったキューイング特性の解析も行った。またスループットを向上させる TCP の改良も検討した。

(4)

① H21 年度に実施した内容は、以前に評価・計測したマイクロセンサーネットワークのデータ特性を基礎として、実証するには困難な大規模アドホックネットワークをシミュレーションにより実現し、次の点について実験を実施した。

② まず、ルーティングプロトコルに注目し、マイクロセンサーネットワークで使用されている AODV について、移動体モデルおよび電波伝搬距離を変えてルーティングパフォーマンスを評価した。AODV は移動体に適したルーティングプロトコルであるため、移動によるリンク切れに対して、頻繁に RouteRequest パケットを送出するフラッディングが繰り返されパフォーマンスの劣化が発生する。本研究では、フラッディングが抑制される最適なノード密度を、異なる移動体モデルにおいて抽出することができた。

③ 図 1 に示すように、一般的には伝搬距離が増加するとともに、RouteRequest が認識する隣接ノード数は増加する。ここで、

RouteRequest が認識する隣接ノード数とは、各ノードが受信した RouteRequest を送信した RouteRequest で割った値である。この傾向は、密度が 1 および 5 の場合には、特徴的に表れている。一方、密度が 10 の場合には、伝搬距離が 150m 程度で限界を迎えており、それ以上の伝搬距離があったにしろノードが意識する隣接ノード数は増加しない。すなわち送受信 RouteRequest パケットは増加せず、ネットワーク中での限界としての値になっていることがわかる。したがって、特にノード密度が 5 を超える場合には、限界前までの伝搬距離で十分であることがわかる。

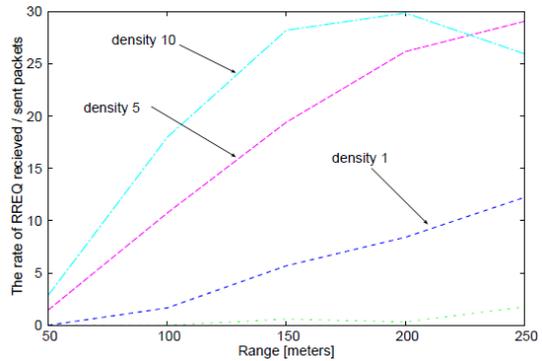


図 1 異なる伝搬距離における隣接ノード密度が異なる場合の RouteRequest パケットの隣接ノード数

③ また、TCP パフォーマンスに注目し、均一に伝搬する伝搬モデルの上で伝搬距離を変化させてフラッディングが抑制される最適な距離を抽出することができた。

④ 図 2 に示すように、電波伝搬できる距離 (x 軸) が変化した場合、あるノードの隣接ノード密度により TCP スループットの最大値が異なることを抽出することができた。具体的には、密度が 10 の場合には、100m が適切な伝搬距離であり、密度が 5 の場合には、100m から 150m が最適である。密度が 1 の場合にはできるだけ距離が 200m より長い場合のほうがパフォーマンスが良好なことがわかる。この関係は線形ではなく、密度が 5 から 1 に向かう過程で急激に伝搬距離を延ばした方がトランスポート層のパフォーマンスが向上することを示している。結果として、密度により最適な伝搬距離が存在することを示している。マイクロセンサーネットワークにおいては電源制御ができないため伝搬距離を動的に変更することができないが、伝搬距離を変えることができるデバイスが存在する場合には、フラッディングを抑制するノード密度を保ちながら最適な伝搬距離を電力制御によって実現することが可能となる。

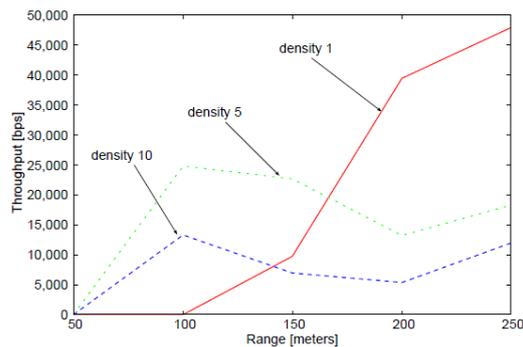


図2 異なる伝搬距離における隣接ノード密度が異なる場合のTCPスループット

③ 第二に、TCPに関するパフォーマンス評価を実施した。アプリケーションにとっては、TCPの性能がアプリケーションの性能に大きく影響し、そのルートパス上のボトルネックによりその性能が決まる。本研究では、ボトルネック上のルータのキュー制御方式を異なるself-similarなトラフィック分布において評価し、その有効性を評価した。トラフィックの分布特性を変えることによって、タイプの異なるトラフィックに対する有効なキュー制御方式がREDなどのアクティブキュー制御方式であることを抽出することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

① Takuo Nakashima, Toshinori Sueyoshi, Analysis of Queueing Property for Self-similar Traffic, Proceedings of 22th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2008)、査読有、Vol.1、2008、pp. 241-248.

② Takuo Nakashima, Toshinori Sueyoshi, A Performance Simulation for Stationary End Nodes in Ad Hoc Networks, International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)、査読有、Vol.5, No.3、2009、pp. 707-716.

③ Natsuru Yamamura, Takuo Nakashima, Seiya Fukushima, Performance Simulation of Routing Protocols in Ad Hoc Wireless Network, Proceedings of the 3rd International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC 2008)、査読有、1(CD-ROM)、2009、

pp. 1-4.

④ Takuo Nakashima, Queue Length Behavior of Bottleneck Link under Bursty Self-similar TCP Traffic, 情報処理学会、マルチメディアと分散処理ワークショップ論文集、査読有、2009、pp. 61-66.

⑤ Shunsuke Oshima, Takuo Nakashima, Yusuke Nishikido, Extraction of Characteristics of Anomaly Accessed IP Packets using Chi-square Method, Proceedings of 3rd International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2009)、査読有、Vo.1、2009、pp. 287-292.

⑥ Takuo Nakashima, Natsuru Yamamura, Flooding Features for the AODV Protocol, Proc. of the 2009 International Conference on Wireless Networks (ICWN'09)、査読有、Vol. II、2009、pp. 468-473.

⑦ Natsuru Yamamura, Takuo Nakashima, Propagation Features for the AODV Protocol under Different Mobility Models, Innovative Computing, Information and Control Express Letters (ICICEL)、査読有、Vol.3, No. 4(A)、2009、pp. 995-1000.

⑧ Natsuru Yamamura, Takuo Nakashima, Propagation Features for the AODV Protocol Varying Reachable Distance, Proc. of the Fourth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC-2009)、査読有、CD-ROM、2009、pp. 1-4.

⑨ Takuo Nakashima, Queueing Property for Different type of Self-similar Traffics, International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)、査読有、vol.6, no.3(B)、2010、pp. 1279-1288.

[学会発表] (計3件)

① 中嶋 卓雄, 山村 翔, 服部 祐一, Ad Hoc 無線ネットワークにおけるフラッディングパフォーマンス評価、電子情報通信学会技術研究報告、CPSY2008-36、2008年10月31日、広島市立大学、pp. 41-46.

② 山村 翔, 中嶋 卓雄, NS2によるAd hoc Wireless Network上でのルーティングプロトコルのフラッディング特性評価、第10回日本知能情報ファジィ学会九州支部学術講演

会、2008年12月13日、東海大学熊本校舎、
pp. 63-66.

③山村 翔、中嶋 卓雄、AODVにおけるフラッ
ディング特性の評価、情報処理学会、第138
回マルチメディア通信と分散処理研究会報
告(DPS)/第44回 コンピュータセキュリテ
ィ研究会 (CSEC), 2009年3月5日、東海大学
熊本校舎、pp. 121-126

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中嶋 卓雄 (NAKASHIMA TAKUO)

東海大学・産業工学部・教授

研究者番号：90237256