

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500073

研究課題名(和文)無線P2Pネットワークの可視化とその応用に関する研究

研究課題名(英文)A study on the visualization of wireless P2P network and its application

研究代表者

小山 明夫 (Koyama, Akio)

山形大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60315679

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年、無線ネットワークの研究が盛んに行われている。無線ネットワークでは一般にノードの移動が頻繁に起こるためネットワークがどのように構成されているのかを把握するのが非常に難しい状況にある。本研究では、無線P2Pネットワークを考え、その中で行われている通信の様々な状況の可視化を行うシステムのモデル構築およびシステム開発を行った。具体的には、ネットワークトポロジー、パケットの流れ、各ノードの情報(バッテリー残量やGPS情報)、各リンクの情報(リンク安定度など)、経路情報の可視化を行うシステムの開発やそれを用いた応用に関する研究を行った。さらに開発したシステムを様々な観点から評価し、有用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, researches of wireless networks are performing actively. In the wireless networks, since nodes move frequently, it is very difficult to grasp the network structure and situation. In this research, we constructed a model of visualization system which visualizes various communication situations in wireless P2P network and developed the system. In specifically, we developed the system which can visualize network topologies, packet flows, information of each node (battery remaining quantity and GPS information), link information of each link (link stability degree etc), and route information. We also performed the research of application system. Furthermore, we verified usefulness of the developed system by various evaluations.

研究分野：情報通信ネットワーク

キーワード：可視化システム 無線P2Pネットワーク アドホックネットワーク 無線メッシュネットワーク 位置推定手法 時刻同期方式 プロトコル

1. 研究開始当初の背景

近年、アドホックネットワーク、無線メッシュネットワーク、センサーネットワーク、携帯電話ネットワーク、無線 LAN などの無線ネットワークの研究が盛んに行われ普及してきている。無線ネットワークでは一般にノードの移動が頻繁に起こるためネットワークがどのように構成されているのかを把握するのが非常に難しい状況にある。また、無線ネットワーク上で新しいプロトコルの開発や応用システムの開発を行う場合にどのような経路でパケットが流れたのか、ネットワークにどの程度の負荷がかかっているのか、ノードのバッテリー残量はどの程度あるのか、どのリンクが切れやすいのかなどを把握することはプロトコルの開発や応用システムの開発を行う場合に非常に重要なこととなってきている。

さらに無線ネットワークは有線ネットワーク以上に管理が難しい（配線が見えないなど）ので、ネットワーク管理の面からもネットワークの状況を把握することは重要なこととなってきている。このような問題に対して、ネットワークの状況を可視化することは有効であると考えられる。

申請者らは、今までアドホックネットワークを対象とした可視化システムの研究を行ってきた（文献[1], [2]）。

[1] MANET-Viewer: A Visualization System for Mobile Ad-hoc Networks, A. Koyama, K. Kamakura and L. Barolli, Proc. of BWCCA-2009, pp.450-455, 2009.

[2] MANET-Viewer II: A Visualization System for Visualizing Packet Flow in Mobile Ad-hoc Networks, S. Sato, A. Koyama and L. Barolli, Proc. of AINAW2011, pp.549-554, 2011.

文献[1]は、アドホックネットワークのトポロジーを可視化する手法（図1参照）を提案し評価した論文で、文献[2]は、アドホックネットワーク上を流れたパケットを可視化するシステム（図2参照）を開発し評価した論文である。アドホックネットワークの可視化に関しては、NS2などのシミュレータを使って可視化を行っている論文は数多くあるが、実際に実装し可視化を行っている論文はほとんどない。したがって、申請者らが提案した2つの論文は、アドホックネットワークの可視化に関して先駆的となった論文である。また、申請者らは今までアドホックネットワークのルーティングの研究も行ってきた（文献[3], [4]）。

[3] EZRP: An Enhanced Zone-Based Routing Protocol for Ad-Hoc Networks, A. Koyama, J. Arai, L. Barolli, A. Durrresi, Journal of Concurrency: Practice and Experience, Wiley InterScience, Vol.19, Issue 8, pp.1157-1170, 2007.

[4] IEZRP: An Improved Enhanced Zone-based Routing Protocol for MANETs

and its performance evaluation, Y. Sato, A. Koyama and L. Barolli, International Journal of Space-Based and Situated Computing, Vol. 1, Issue 4, pp.213-221, 2011.

これらの論文では、提案したルーティングプロトコルの動作をシミュレーションで評価してきたが、実際は、プロトコルを実機に実装し、ネットワークトポロジーやパケットの流れを可視化して確認することはシミュレーションで評価するより信頼性がありまた実際の環境で発生する様々な問題を把握できると考えられる。

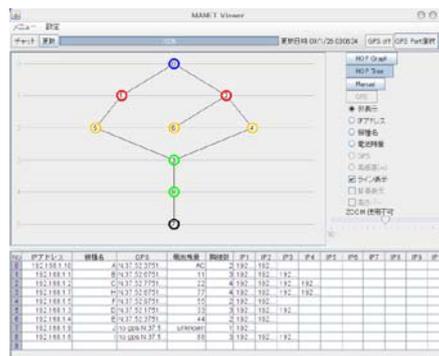


図1 トポロジーの可視化

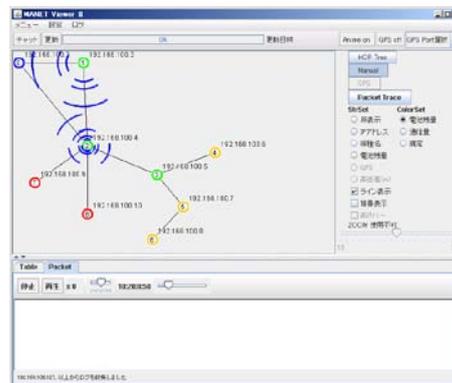


図2 パケットの流れの可視化

2. 研究の目的

本研究では、無線 P2P ネットワークを考え、その中で行われている通信の様々な状況の可視化を行うシステムのモデル構築およびシステム開発を行う。具体的には、ネットワークトポロジー、パケットの流れ、各ノードの情報（バッテリー残量や GPS 情報など）、各リンクの情報（リンク安定度など）、経路情報の可視化を行うシステムの開発やそれを用いた応用に関する研究を行う。

3. 研究の方法

本研究のテーマである無線 P2P ネットワークの可視化という重要課題に対して5つの技術課題がある。各課題に対して以下のような方法でシステムの開発を行った。

(1) ネットワークトポロジーの可視化
 今までの研究でネットワークトポロジーを 2 次元描画するシステムの開発は行ってきたが、3 次元描画はまだ行っていなかった。本研究では新しい描画方式として GPS 情報を利用した 3 次元描画方式の開発を行った。3 次元描画により 2 次元ではわからない高さの位置関係を把握することが可能となった。

(2) パケットフローの可視化における同期処理

パケットの流れの可視化では、送信元のノードから宛先のノードまで隣接するノード間の送受信記録をログとして記録し、あとからモニターノードに集めてアニメーションで表示するという処理を行っている。したがって各ノード間の時間のずれを数ミリ秒以下にするように時刻同期をとる必要がある。この課題に対して新しい時刻同期アルゴリズムの開発を行った。

(3) ノードやリンク情報の可視化

この可視化システムの利用者を無線ネットワークでのプロトコル開発者や応用システムの開発者およびネットワーク管理者を想定している。これらの利用者に有益となる情報を提供することが重要となる。本研究では、提供する情報として隣接ノード情報、ノードのバッテリー残量、ノードの GPS 情報、リンク安定度、経路情報、パケットの統計情報などを想定し可視化を行った。

(4) スケーラビリティ

本研究で想定しているモバイルノードの数は、約 50 台程度と考えている。50 台のノードのトポロジーやパケットの流れおよびノードやリンク情報は、各ノードでログとして蓄積し、それを可視化を実行するモニターノードで収集し可視化するという仕組みになっている。今までの研究で用いていたログ収集アルゴリズムは、ログの入ったパケットがロスしたり、収集時間が長くなったりという問題があった。本研究では、パケットロスを極力少なくし収集時間も短くなるようなアルゴリズムやプロトコルの考案を行った。

(5) 拡張性

本研究では、最初に無線ネットワークとしてアドホックネットワークを対象としてきたが、アドホックネットワークで得られた知見を基に無線メッシュネットワークへの適用や応用システムへの適用を行った。

また、GPS による位置推定は、屋外には適用できるが屋内には適用できない。そのため、屋内での位置推定手法を考案し、屋内にも適用できる可視化システムの構築を目指した。

(6) 性能評価

時刻同期手法、各種ログの効率的な収集手法、屋内での位置推定手法に関して性能評価し、

提案手法の有効性を示した。

4. 研究成果

(1) アドホックネットワーク用の可視化システム

①可視化

ネットワークトポロジーの可視化画面を図 3 に示す。3 次元空間の奥行き軸に緯度を、横軸に経度を、そして縦軸に高度を割り当てることで、GPS から受け取った位置情報に基づいた立体的な可視化を可能とした。高度情報があくまでノードへの付加情報でしかなかった先行研究の 2 次元的可視化と比較すると、ノードの表示位置の決定に経度・緯度だけでなく高度も用い、立体的な可視化を行うことで、現実の空間での各端末の位置を反映した可視化となり、高度情報も含めて直観的に把握できるようになった。

パケットフローの可視化画面を図 4 に示す。なお、ユニキャストパケットは球で、ブロードキャストパケットは立方体で表しており、加えて、Packet Type に応じたパケットの色分け機能を実装している。

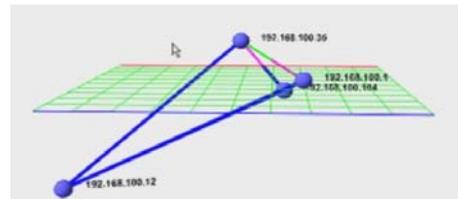


図 3 ネットワークトポロジーの 3 次元可視化

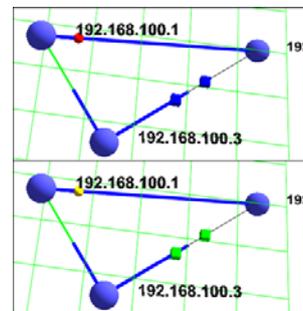


図 4 パケットフローの可視化

②時刻同期手法とその評価

新しく考案した時刻同期手法を評価した結果を図 5 に示す。この図より、3 ホップ離れているノードと 8 ミリ秒以内の時刻同期精度を実現したが、今後さらに精度を上げる必要がある。

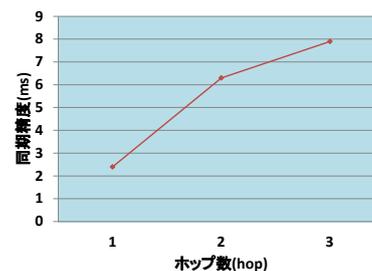


図 5 ホップごとの時刻同期精度

③ログ収集手法とその評価

ログ収集時間の比較を図6に示す。全てのホップ数において、提案手法が従来手法よりも収集時間が短いことがわかる。また、従来手法ではホップ数が増えるごとに収集時間が大幅に増加しているが、提案手法ではホップ数の増加による収集時間の増加がゆるやかである。これは、従来手法ではネットワーク上の各ノードが一斉にログ返送を開始することで輻輳が生じていたのに対し、提案手法ではログを圧縮することでパケット数を減らし、かつ通信手順を変更することで各ノードのログ返送タイミングを重なりにくくしたことにより、輻輳が起りにくくなっているものと考えられる。これによりパケットロスが減少し、再送処理回数なども減ったものと思われる。

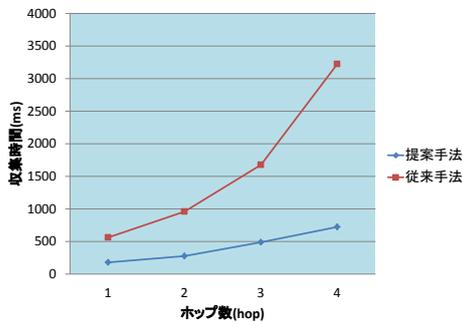


図6 ホップごとのログ収集時間の比較

④屋内位置推定手法とその評価

ランドマークからの信号強度から距離を求める Lateration 方式と位置推定を行う領域内の複数地点において、ランドマークからの信号強度を測定し、測定地点と測定データを対応付けた学習データを記録したデータベースを用いて、パターンマッチングなどにより位置を推定する Scene Analysis 方式を実際に実装し評価実験を行った。その結果を表1および表2に示す。

実験結果から、Scene Analysis 方式の方が誤差が少なく有効であることを確認した。

表1 Lateration 方式の実験結果

試行回数	最大誤差	最小誤差	誤差平均
20	4.08m	1.02m	1.77m

表2 Scene Analysis 方式の実験結果

試行回数	最大誤差	最小誤差	誤差平均
30	3.162m	0m	0.774m

(2)無線メッシュネットワーク用の可視化システム

①可視化

図7に提案システムで可視化されたネットワ

ークトポロジーを示す。この機能では、可視化されるノードをタイプごとにアイコンで可視化している。すなわち、MP, MAP, MPP, STA ごとにそれぞれ異なるアイコンで示すことで、一目してどのようなノードが存在するかが把握できる。また、ノード間の線はリンク方向を示しており、単方向か双方かを判断することができる。

図8に提案システムで可視化されたリンク安定度を示す。図で示されるように、ノード間のリンク品質を5段階の色を用いて可視化している。

図9に提案システムで可視化された経路情報を示す。図で示されるように、送信元ノードと宛先ノードを選択することにより、その間のリンクが太線で強調表示され、ノード間の通信経路が可視化される。この機能により、メッシュという複雑なネットワーク構造においても、どのような経路を通して通信が行われているかを可視化することができる。

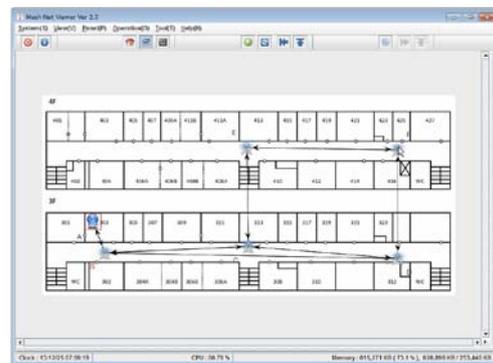


図7 ネットワークトポロジーの可視化

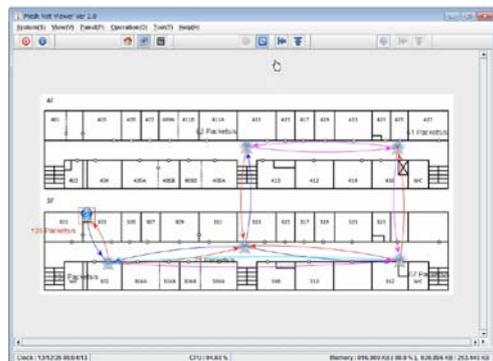


図8 リンク安定度の可視化

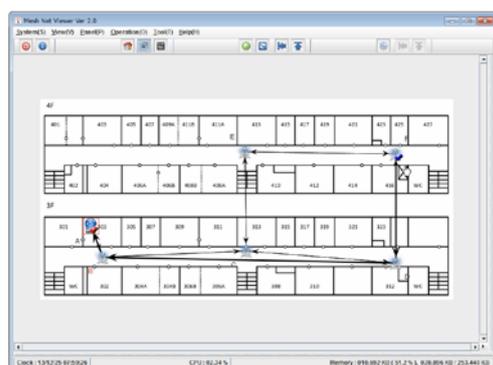


図9 経路情報の可視化

図 10 に提案システムで可視化されたパケットフローを示す。図で示されるように、パケットをどのノードへ送信したか、どのノードから受信したかを可視化することができる。なお、ブロードキャストされたパケットを四角で、ユニキャストされたパケットを丸で示している。また、この機能にはパケットをプロトコルごとに色分けする機能と表示非表示を切り替える機能がある。これにより、新たに開発されたプロトコルやアプリケーションの動作を確認し、デバッグをサポートすることが可能になる。

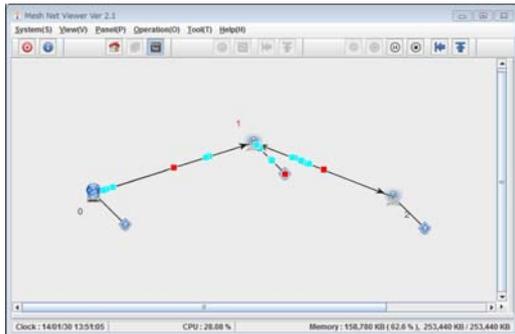


図 10 パケットフローの可視化

②情報収集手法とその評価

ログ情報の収集手法として、ある程度事前から収集しておく Reactive 型と要求が発生してから収集する Proactive 型を考案し実装した。実機実験では、Reactive 型のログ収集成功率や遅延時間について評価した。また、Reactive 型と Proactive 型のログ収集時間の比較を行った。

Reactive 型の転送成功率の結果を図 11 に示す。この図から、送信回数 X (同じパケットを X 回送る) が最も成功率の上昇に影響していることが確認できた。

Reactive 型の遅延時間の最小値・平均値・最大値の結果を図 12 に示す。この図から、最適なパラメータ(送信回数 X : 4, 再送回数 Y : 10, 再送間隔 Z : 300ms)を用いた場合の遅延時間の平均値が 1 秒以下に抑えられていることが確認できた。また、最適なパラメータ状態での遅延時間とデフォルト状態での遅延時間を比較すると、平均値で約 71%の短縮に成功したことが確認できた。

最終的な結果としては、 X を 4 回、 Y を 10 回、 Z を 300ms にすることで、可視化の成功率を 100%に、可視化に要する遅延時間の平均を約 750ms にすることができた。継続的なネットワークの監視において、監視間隔が 1 秒以下であるならば、十分な成果を得られると考える。このことから、Reactive 型の情報収集手法を用いた提案システムは、正確性と迅速性を実現していると言える。

最後に、Reactive 型と Proactive 型をそれぞれ用いた場合の遅延時間の比較を図 13 に示す。この図から、Reactive 型に比べて

Proactive 型の方が迅速性を実現しているということが一目瞭然である。具体的には、デフォルト状態での Reactive 型と圧縮手法を用いた Proactive 型では平均値で約 95%、最適なパラメータを用いた状態での Reactive 型と圧縮手法を用いた Proactive 型では平均値で約 83%の遅延時間の短縮に成功した。ただし、Proactive 型は、正確性に欠けるといふ欠点があり、今後改善していきたい。

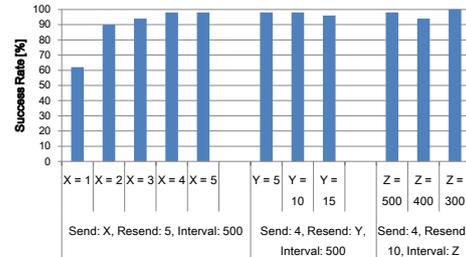


図 11 Reactive 型の転送成功率

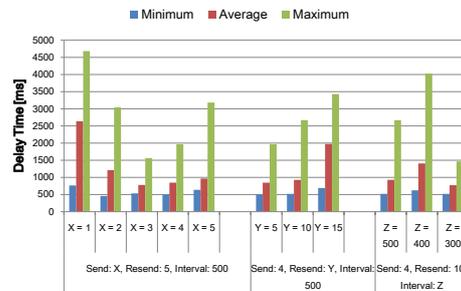


図 12 Reactive 型の遅延時間

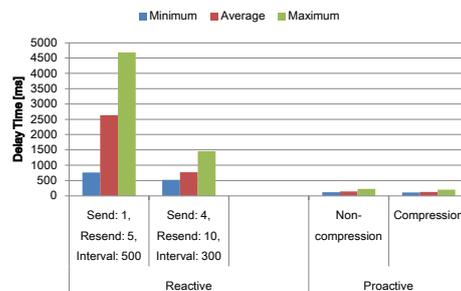


図 13 Reactive 型と Proactive 型の比較

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)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Y. Kumata, S. Shoji and Akio Koyama, Design and Implementation of a Visualization System for Wireless Mesh Networks, International Journal of Distributed Systems and Technologies, 査読有, Vol.6, No.3, 2015, 11-28. DOI: 10.4018/IJDST.2015070102
- ② K. Henmi and A. Koyama, An enhanced

spray and wait DTN routing protocol based on node mobility and maximum number of replications, International Journal of Adaptive and Innovative Systems, 査読有, Vol. 2, No. 1, 2014, 3-14.

DOI: 10.1504/IJAIS.2014.061045

- ③ A. Koyama, S. Sato, L. Barolli and M. Takizawa, A Visualization System for Mobile Ad-Hoc Networks, Journal of Mobile Multimedia, 査読有, Vol. 9, No.1&2, 2013, 155-170.
- ④ A. Koyama and H. Suzuki, A Real Object-Oriented Communication Method for Ad-Hoc Networks, Journal of Computer and System Sciences, 査読有, Vol. 79, Issue 7, 2013, 1101-1112.
DOI:10.1016/j.jcss.2013.01.024

[学会発表] (計 24 件)

- ① 井上昭裕, 小山明夫, 屋内位置推定を利用したモバイルアドホックネットワークの可視化, 電子情報通信学会無線通信システム研究会, 2014.12.19, 伊勢市観光文化会館 (三重県伊勢市).
- ② Y. Kumata and A. Koyama, Mesh Net Viewer II: An Extended Visualization System for Wireless Mesh Networks, Proc. of Network Based Information Systems (NBIS2014), 2014.9.10, 53-60, Salerno (Italy).
DOI 10.1109/NBiS.2014.30
- ③ 熊田雄紀, 小山明夫, 無線メッシュネットワークのための可視化システムの提案と評価, 情報処理学会第 76 回全国大会, 2014.3.12, 東京電機大学 (東京都足立区).
- ④ 井上昭裕, 小山明夫, モバイルアドホックネットワーク用 3 次元可視化システム, 電子情報通信学会短距離無線通信研究会, 2013.12.16, 機械振興会館 (東京都港区).
- ⑤ Y. Kumata and A. Koyama, Mesh Net Viewer: A Visualization System for Wireless Mesh Networks, Proc. of 8th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA2013), 2013.10.28, 80-87, Compiègne (France).
DOI 10.1109/BWCCA.2013.22
- ⑥ A. Inoue, Y. Takahashi, and A. Koyama, MANET Viewer III: 3D Visualization System for Mobile Ad-hoc Networks, Proc. of Network Based Information Systems (NBIS2013), 2013.9.5, 178-185, Gwangju (Korea).
DOI 10.1109/NBiS.2013.29

[その他]

ホームページ等

<http://akoyama.yz.yamagata-u.ac.jp/lab/index.ht>

ml

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小山 明夫 (KOYAMA AKIO)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60315679