

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560400
 研究課題名（和文） 情報共有空間としてのアドホックネットワークの研究
 研究課題名（英文） Information Distribution in Ad Hoc Networks
 研究代表者
 山本 幹（YAMAMOTO MIKI）
 関西大学・システム理工学部・教授
 研究者番号：30210561

研究成果の概要：

無線ホストの自律的ネットワーク構成により構築されるアドホックネットワークについては、これまで「つながる」ことを目的として研究が進められてきた。ユーザ間の情報共有空間としてアドホックネットワークを捉えた場合には、単につながりだけでなくユーザが伝えたい情報を効率よく転送する機能が求められる。このような観点から、本研究においては、アドホックネットワークを情報共有空間として提供する際の技術課題である、1. 効率的情報伝達技術、2. 効率的多キャスト実現技術、3. 多くの通信を公平にかつ効率的にサポートするトラフィック制御技術について研究を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：アドホックネットワーク、輻輳制御、マルチキャスト、指向性アンテナ、TCP、プロキシ、ALM

1. 研究開始当初の背景

本研究課題が扱うアドホックネットワークについては、研究開始当初はルーチングプロトコルに関する研究が数多く発表されていた。すなわち、送信ホストから送出されたパケットが、所望の受信ホストに到達するまでの経路設定を行うという、いわば「つながる」ことを主目的とした研究が主に行われていた研究開発フェーズであった。

2. 研究の目的

アドホックネットワークは、災害時など既存インフラに頼ることのできない非常時での通信手段として期待されている。この観点からは「つながる」ことが重要ではあるが、実際に災害時などにおいて情報共有を行うインフラとしての使命として、当然のことながら効率よく転送できることが求められる。このような観点から、本研究課題ではこれ

まで「つながる」ことを主体に進められてきたアドホックネットワークの研究に、スループットの向上、信頼性の確保など、プロトコル階層のより上位レイヤで観測される性能、すなわちユーザが観測する性能により近いネットワーク性能を向上する方式の開発を目指した。

3. 研究の方法

本研究課題において行った各個研究の方法について、以下に説明する。

(1) 指向性アンテナ導入効果の検討

アドホックネットワークの通信性能がそれほど高くない主たる要因に、ホスト間の無線チャンネル干渉がある。これを解消する有望な方法として、指向性アンテナの導入がある。

① 指向性アンテナ導入効果

無指向性アンテナを用いることが現時点では一般的であるため、指向性アンテナ導入効果を検討するにあたっては、部分導入時の性能が重要である。本研究課題では、部分導入時の性能を、計算機シミュレーションにより行った。

② 指向性アンテナ優先選択ルーチング

指向性アンテナ部分導入時には、指向性アンテナを優先的に選択することで、スループット特性を改善できる可能性がある。ただし、指向性アンテナホストがそれほど普及していない状況で、指向性アンテナホストにトラヒックが集中すると、かえって性能劣化を引き起こす可能性も否めない。本研究課題では、指向性アンテナ導入率に応じて、ルーチングパラメータを調整する機能を導入することで、すべての指向性アンテナ導入率において性能改善が期待できるルーチング手法の開発を行った。

(2) マルチキャストによる情報配信

アドホックネットワークにおいて多数のホストに一括して情報を配信する場合、マルチキャストにより効率的配信が可能となる。本研究課題では、マルチキャスト通信の性能改善と信頼性評価の観点で、以下の研究を遂行した。

① 輻輳制御の性能改善

アドホックマルチキャストにおいて輻輳制御を適用した場合、無線チャンネルの一時的性能劣化により代表ノードが変動する、代表ノード変動問題により、一時的な劣化ホストに送信レートをあわせることによる定常的な性能劣化が問題となる。本研究課題では、プロキシホストを配置することにより、代表ノード変動問題の影響を解消する方法を開発する。

② ALM の信頼性評価

マルチキャストトラヒックを受信しないホストにおいては、マルチキャストルーチングプロトコルを動作させた場合に自らが必

要としないパケットの中継を担う可能性があるため、これを動作させるインセンティブが働かない。この問題を解決する方法として、アプリケーション層でマルチキャストツリーを構築する ALM(Application Level Multicast)がある。ALM では、ホストの不正行為の可能性があり、アドホックネットワークにおいてこの不正行為がスループット性能にどのような影響を及ぼすのか全く不明であった。本研究課題では、ALM における不正行為の影響を、計算機シミュレーションにより評価した。

(3) TCP 輻輳制御の性能改善

アドホックネットワークにおいて TCP 輻輳制御を適用した場合、ホップ数の増加に伴い性能が大きく劣化することが知られている。本研究課題では、この性能劣化を改善する有力な手法である、プロキシホストの導入効果について評価を行う。また、以下 4 節において示すように、プロキシホストの導入が予想外に性能改善をもたらさないどころか、かえって性能が劣化することから、その問題点を明らかにし、プロキシホスト導入による性能改善が得られる新しい方式を提案する。

また、ノートパソコンを用いた実機による性能評価も行った。

(4) ゲートウェイ選択による性能改善

アドホックネットワークを真に使えるネットワークとして位置づけるには、既存の有線ネットワークとの融合が必須である。本研究課題では、その際の重要な技術課題であるゲートウェイホスト(以下 GW)選択について、単に最短 GW を選択するのではなく、GW に集中するトラヒックも考慮した選択手法が重要であることを示し、新しい GW 選択手法を開発する。

4. 研究成果

(1) 指向性アンテナ導入効果の検討

① 指向性アンテナ導入効果

本研究課題では、まず指向性アンテナが部分導入された時点でのネットワーク全体のトータルスループット(以下ネットワークスループット)の評価を行った。その結果、図 1 に示すように、指向性アンテナ導入率(D)の増加に伴い、得られる最大スループットは増加するものの、導入率が 0.8 を超えたのちの改善率が導入率の低い状況に比べかなり大きいことが明らかとなった。その理由として、指向性アンテナ導入率が低い状況では、無線チャンネル間干渉により、RREQ パケットが繰り返しコリジョンにより廃棄され、結果的に経路切断と判断され、経路再構築に伴う制御パケットのフラディングが性能劣化を引き起こすのに対し、導入率が 0.8 を超える状況においては、指向性アンテナの効果によりこの状況が大きく改善されていること

(図 2 参照) が大きく寄与していることを明らかにした。

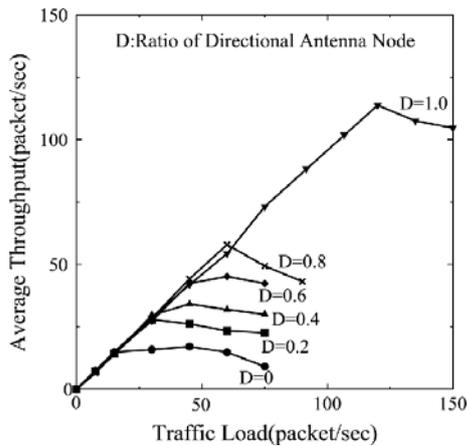


図 1 指向性アンテナ導入時のスループット特性

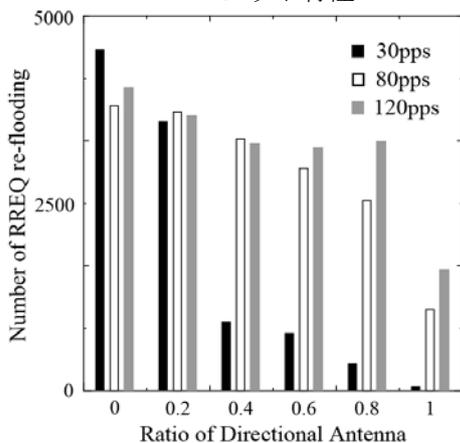


図 2 RREQ パケット発生数

さらに、アドホックネットワークで一般的な状況と考えられる、ホストが移動する状況での指向性アンテナ導入効果を評価した。その結果、無指向性アンテナに比べ指向性アンテナはその指向性が強いことから、移動によりアンテナカバーエリアからホストが出る可能性が高くなることで性能が劣化する懸念があったが、図 3 に示すように概ね移動によって性能が改善されている方向にあるこ

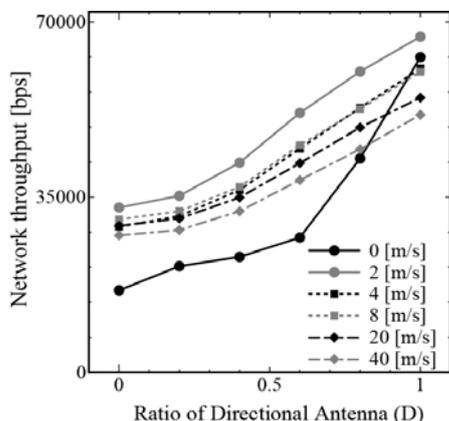


図 3 ホスト移動時のスループット特性

とが分かった。各ホストが送出する RREQ パケット数が移動により均一化されていることから、トポロジによって一部のホストに負荷が集中する状況が、移動によって解消され、各ホストの中継負荷が均一化される効果が上記の性能改善に寄与していることを明らかにした。

② 指向性アンテナ優先選択ルーチング

指向性アンテナと無指向性アンテナが混在するという一般的な状況においては、中継ホストとして指向性アンテナを選択することで経路のもたらず通信性能の向上が期待される。ただし、指向性アンテナがあまり普及していない状況では、かえって指向性アンテナにトラフィックが集中し、性能が劣化する懸念がある。本研究課題では、中継ホストが自らのまわりの指向性アンテナホストの密度を測定し、このローカルな情報をもとに、指向性アンテナ普及率を予測し、普及率に応じた優先度で指向性アンテナホストを経路上に設定する、新しいルーチング方式を開発した。

具体的には、AODV をベースに、RREQ パケットに対し、指向性アンテナホストは確率 1 で、無指向性アンテナホストは確率 p でフラッディングを行うことで、指向性アンテナホストが経路上に優先的に選択される方法である。この確率 p を、ローカルに予測した指向性アンテナホスト普及率に応じて変化させることで、普及率に応じた優先選択を実現している。本研究課題では、確率 p を普及率に対して線形増加させた場合、指数関数的に増加させた場合、ならびに最もよいスループットを与える理想的な確率 p を用いた場合の三つのケースについて評価を行った (図 4)。図 4 より、いずれの場合においても、通常の AODV に比べて高いスループットが得られている。

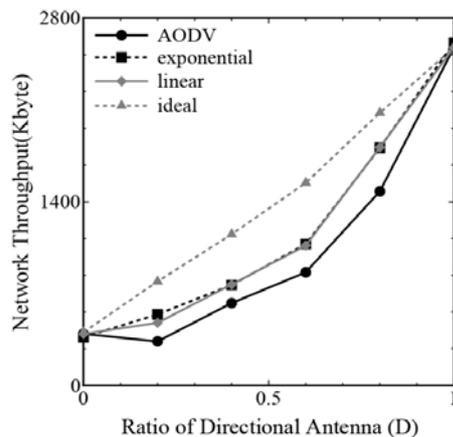


図 4 指向性アンテナ優先選択型ルーチングのスループット特性

(2) マルチキャストによる情報配信 ① 輻輳制御の性能改善

アドホックネットワークは、災害時の情報通信インフラ、会議や地域コミュニティなどの情報インフラとしての利用が考えられている。このような、限られた地域での情報インフラの利用形態の一つに、同一情報を一部の同じ興味をもつユーザ間で共有できるように提供するサービスがある。同一情報を多くのユーザの効率的に配信する技術として、マルチキャスト通信がある。

アドホックネットワークでは、無線資源を多くのユーザで共有しており、さらに各ホストが中継処理を行う場合には他のユーザに自らの無線資源を提供する形態となる。このため、輻輳が発生した場合に、送信ホストが送信レートを適切なものに調整する輻輳制御が必須の技術となる。マルチキャスト通信では、多くの受信ホストからフィードバック情報が送信ホストに集約されるのを防ぐため、輻輳制御の観点から最も劣悪な環境にあるホストを代表ノードとして選出し、これにあわせた送信レートを設定する方法が一般的に用いられる。

アドホックネットワークでは、送信ホストからのホップ数の増加に伴い、受信ホストのスループット性能が大きく劣化することが知られている。このため、送信ホストからのホップ数の大きいホストが代表ノードに選択されやすくなり、全体のスループット性能が劣化する。受信ホストが増えると一緒に送信ホストからのホップ数が大きいホストが含まれるため、この問題は受信ホストが増加するに伴い顕在化する。

本研究課題では、この問題を解決する手法として、マルチキャストツリーの途中の中継ホスト上にプロキシ機能を配置し、輻輳制御適用区間をある程度小さく区切ることで、受信ホストと送信ホスト（プロキシホスト）の距離をある程度均一化し、上記の問題を解決する方法を開発した。図5に示すように、従来のマルチキャスト輻輳制御(図中のTFMCC)では、受信ホストの増加にともないスルー

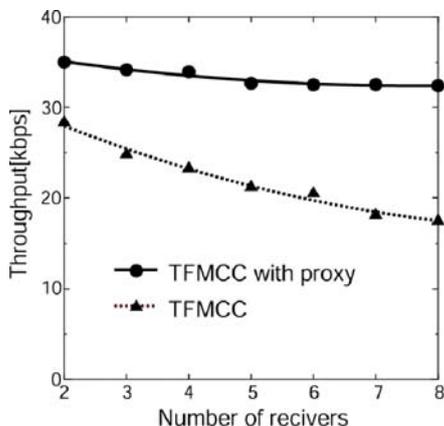


図5 マルチキャスト輻輳制御方式のスループット特性

ット特性が劣化しているが、提案方式(図中のTFMCC with Proxy)では受信ホストが増加してもほぼ一定のスループットが確保できている。

②ALMの信頼性評価

アドホックネットワークにおいてマルチキャストルーティングプロトコルを動作させた場合、たとえマルチキャストトラヒックを受信したくない場合でも、マルチキャストトラヒックの中継ホストとして選択される可能性がある。このため、マルチキャスト受信ホストでなければ、マルチキャストルーティングプロトコルを動作させるインセンティブが働かないという問題が生じる。この問題を解決するひとつの方法に、アプリケーション層でマルチキャストツリーを構築し、マルチキャスト受信ホスト間の通信は通常のユニキャストを用いる、アプリケーションレベルマルチキャスト(以下ALM)がある。

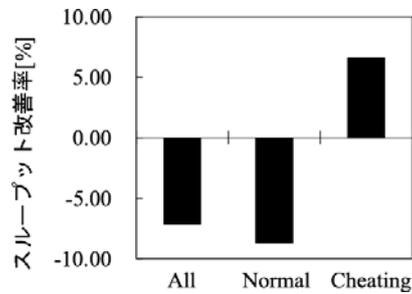


図6 スループット改善率

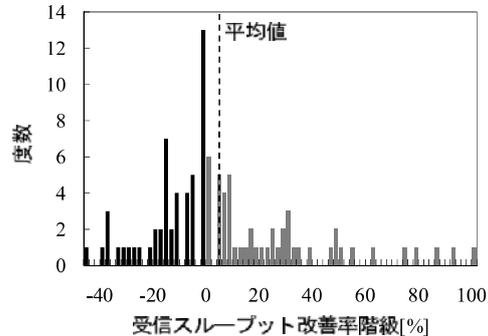


図7 スループット改善率の分布

ALMでは、アプリケーション層で動作するために、ユーザがプロトコル動作を不正に変更する可能性がある。本研究課題では、アドホックネットワークにおいてALMでマルチキャストを実現した際の、不正行為の影響を評価し、信頼性の評価を行った。その結果、a) 図6に示すように平均値としては不正行為を行ったホストが性能改善を得られていること、b) 図7に示すように実はおよそ半数のケースで不正行為を行ったホストの性能がかえって劣化していること、を明らかにした。本研究課題では、不正行為を行ったホストが性能改善を得られない原因について詳しく調査し、不正行為を行うホストが無理に送信ホストに直接つながろうとすることで、他の

ホストと同一経路を共有しやすくなり、このことが性能劣化を引き起こすことを明らかにした。

本研究課題で得られた結果を広く公開することで、ALM を用いてマルチキャスト通信を実現する際に、ユーザが不正行為を行う場合のリスクが高いことを提示でき、不正行為を未然に防ぐ効果が期待される。

(3) TCP 輻輳制御の性能改善

アドホックネットワークにおいて TCP を用いて通信を行った場合には、ホップ数の増加に伴い大幅にスループット性能が劣化することが知られている。本研究課題では、プロキシ型 TCP を用いた場合の基本性能をまず調べた。

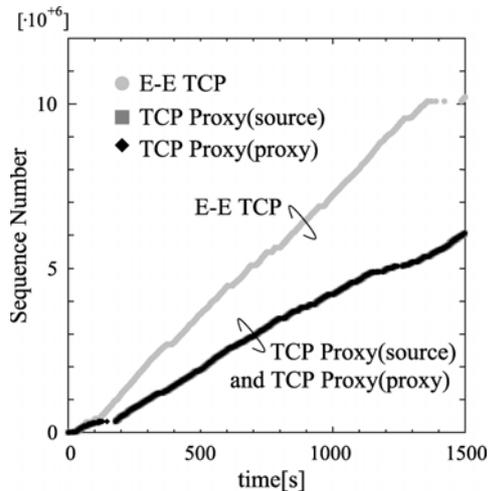


図 8 プロキシ型 TCP のシーケンス番号推移

図 8 にプロキシ型 TCP のシーケンス番号の推移を示す。シーケンス番号が増加する速度がスループットに相当するので、この図の傾きが大きいほどスループットが高い。つまり、プロキシ型 TCP は、プロキシによりホップ数の短いサブセッションに分断できることからスループット改善が期待されたが、実際はエンドツーエンド型 TCP に比べて大幅に性能が劣化することが明らかになった。

その理由をウィンドウサイズの推移を詳しくみることで検討し、プロキシホストの前後で発生する無線チャネルのバルクの確保にあることを明らかにした。無線チャネルのバルクの確保を回避する新しい方法として、トランスポート層で送出されるセグメントの発生間隔を抑制する方法を開発した。具体的には、前段では強制的に広告ウィンドウサイズを小さくすることで、後段では到着レートに応じた送出レート制御を適用することで、これを実現した。本手法は、プロキシホストのみに改良を加え、エンドホストには全く改良を加えなくてよい点で、実装性に優れた方式である。

図 9 に示すように、本方式を適用すること

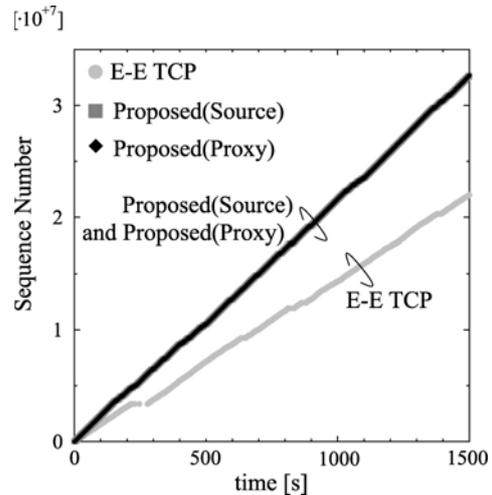


図 9 提案方式のシーケンス番号推移

で図 8 の場合と比較してほぼ倍のスループットを得ることができ、エンドツーエンド TCP に比べほぼ 50% の大幅な性能改善を得た。

また、ノートパソコンを用いた簡易実験により、プロキシ型 TCP を適用した場合には MAC 層での隣接ホスト間干渉が大きな影響を及ぼすことを明らかにし、この観点での提案方式の改善が今後の課題である。

(4) ゲートウェイ選択による性能改善

アドホックネットワークから有線インターネットへのゲートウェイが複数存在する状況で、送信ホストがゲートウェイを選択する際に、最短経路を選択するのではなく、ゲートウェイ近辺での無線干渉を考慮した新しい方式を提案した。

紙面の都合で結果の図は省略するが、最短経路を選択する従来のゲートウェイ選択方式に比べ、状況によっては 20% 程度のスループット性能改善がみられることを明らかにし、本方式の有効性を示した。詳細は発表論文を参照されたい。

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)

〔雑誌論文〕 (計 6 件)

① Y.Yamamoto, Miki Yamamoto: Intentional Window Flow Control for Proxy-based TCP in Ad Hoc Networks, Proc. of IEEE International Communication Quality and Reliability Workshop (IEEE CQR 2009), Naples, Florida, USA, 2009 年 5 月, 査読有。

② N.Itoh, Miki Yamamoto: Proxy-based TCP with Adaptive Rate Control and Intentional Flow Control in Ad Hoc Networks, Proc. IEEE Global Communications Conference 2008

(GLOBECOM 2008), pp.1-6, New Orleans, USA, 2008年12月, 査読有.

③T. Noguchi, Miki Yamamoto: Cheatproof Dual-Tree Application-level Multicast for Bulk Data Distribution, IEICE Transactions on Communications, 査読有, Vol.E91-B, No.12, pp.3872-3881, 2008年12月, 査読有.

④山元景誠, 山本 幹: アドホックネットワークにおける指向性アンテナ導入効果のルーチング方式による影響評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.8, pp.2873-2877, 2008年8月, 査読有.

⑤T.Konishi, H.Yahata, K.Yamamoto, Miki Yamamoto : Directional Antenna Preferable Routing Protocol in Ad Hoc Networks, Proc. of 4th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU 2008), pp.152-157, Tokyo, Japan, 2008年6月, 査読有.

⑥ K.Yamamoto, Miki Yamamoto: Performance Improvement of Ad Hoc Networks by Deployment of Directional Antenna, 情報処理学会論文誌, ICMU 2006 特集号 (Selected Paper), Vol.48, No.6, pp.2045-2051, 2007年6月, 査読有.

[学会発表] (計12件)

①多田, 山本 幹: 無線マルチホップネットワークにおける負荷分散を考慮したゲートウェイ選択方式, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, 2009年3月4日, 沖縄残波岬ロイヤルホテル.

②矢羽田, 山元, 山本 幹: モバイルアドホックネットワークにおける指向性アンテナ導入効果, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS-2008-71, 2008年10月23日, 関西大学.

③山本佑太, 伊藤, 山本 幹: アドホックネットワークにおけるプロキシ型TCPの性能改善, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2008-49, 2008年9月11日, 東北大学.

④矢羽田, 小西, 山元, 山本 幹: 無線マルチホップネットワークにおける指向性アンテナ優先選択型ルーチング, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2008-11, 2008年5月16日, はこだて未来大学.

⑤山本佑太, 伊藤, 山本 幹: 無線マルチホップネットワークにおけるプロキシ型TCPのウィンドウサイズ設定の性能評価, 電子情報通信学会モバイルマルチメディア研究会, MoMuC2008-19, 2008年5月23日, 沖縄青年会館.

⑥河田, 今西, 山本 幹: 無線マルチホップネットワークにおけるマルチキャスト輻輳制御方式の代表ノード変動問題に関する性能

評価, 電子情報通信学会 2008年総合大会, B-6-53, 2008年3月21日, 北九州学術研究都市.

⑦小西, 山元, 山本 幹: 無線マルチホップネットワークにおける指向性アンテナ優先選択型ルーチングの提案, 電子情報通信学会 2008年総合大会, B-6-54, 2008年3月21日, 北九州学術研究都市.

⑧伊藤, 今西, 山本 幹: アドホックネットワークにおけるプロキシ型TCPの性能評価, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2007-103, 2007年11月16日, 九州大学.

⑨山元, 山本 幹: アドホックネットワークにおける指向性アンテナ導入効果のルーティング方式による影響評価, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, NS2007-63, 2007年9月20日, 東北大学.

⑩伊藤, 今西, 山本 幹: アドホックネットワークにおけるプロキシ型TCPの性能評価, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-6-54, 2007年9月14日, 鳥取大学.

⑪山元, 山本 幹: アドホックネットワークにおける指向性アンテナ導入効果のルーティング方式による影響の評価, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-6-55, 2007年9月14日, 鳥取大学.

⑫丸田, 小川, 今西, 山本 幹: アドホックネットワークにおける受信ホスト間の公平性を考慮したマルチキャスト輻輳制御方式に関する検討, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO 2007)シンポジウム, pp.1129-1138, 2007年7月5日, 伊勢.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 幹 (YAMAMOTO MIKI)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号: 30210561