

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500092

研究課題名(和文)無線マルチホップネットワークの弱い層間連携による高効率通信技術

研究課題名(英文)An Efficient Communication Technology of Weak Collaboration between Layers for Wireless Multihop Networks

研究代表者

北須賀 輝明(KITASUKA, Teruaki)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：70343332

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：無線マルチホップネットワークを対象に、ネットワーク層やトランスポート層と連携するデータリンク層の技術を主に提案した。提案手法によりスループットやパケット損失率などの指標において通信効率が向上する。ネットワーク層で決定した経路上の端末のみならず経路の近傍端末が再送を支援する確率的再送制御手法、TCPによる輻輳制御の情報をデータリンク層で参照しつつCSMA/CAによる衝突回避を部分的に無効にすることでスループットを向上させつつパケット衝突を減らす手法、ならびに経路制御プロトコルOLSRのマルチポイントリレー選択アルゴリズムを変更することにより経路制御パケットを削減する方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：For wireless multihop network, we propose methods on data link layer, which collaborate with network and transport layers. Proposed methods improve throughput and packet loss ratio. In the first method, neighbors of a route, which is determined by network layer protocols, help a node on the route by retransmitting a lost packet. In the second method, data link layer refers information of congestion control of TCP, and partially disables the backoff procedure of CSMA/CA, to achieve higher throughput and lower packet loss ratio. The last method is a modification of a network layer protocol, OLSR (optimized link state routing). We modify multipoint relay selection algorithm that reduces the number of control packets.

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：無線通信 モバイルネットワーク 無線マルチホップネットワーク 分散アルゴリズム クロスレイヤ 確率的手法 情報システム

1. 研究開始当初の背景

MANET (mobile ad-hoc network) や VANET (vehicular ad-hoc network) などの移動端末で構成される無線マルチホップネットワークは、無線媒体を用いた通信であり、かつ端末の移動も許すことからリンク品質の時間変化が大きい。

ネットワークのデータリンク層(第2層)とネットワーク層(第3層)の間の独立性は、相互接続性を維持し、新技術を容易に取り入れ続ける上で欠かせないものである。その一方で、移動端末を用いた無線マルチホップネットワークにおいては、リンク品質の時間変化が大きいことから、この二層の間の連携なくしては高い性能を得にくい。そのため、層をまたがって性能を向上させる様々な設計(クロスレイヤ設計)が提案されている。例えば、物理層(第1層)と第2層のリンク品質情報を第3層で活用する研究(2007年に Fonseca ら、2003年に De Couto ら)や、第2層でメッシュネットワークを構築する方法(IEEE 802.11s)などが挙げられる。

また、Balasubramanian ら(2008年)は、対象がマルチホップネットワークではないものの、多数の無線 LAN 基地局が設置された領域を自動車は移動し、自動車に搭載された端末が基地局とのリンクを通じてインターネットアクセスする状況で、基地局間でのハンドオフによって生じる通信の切断を隠蔽する方法を提案している。この方法は、ある基地局が送信したパケットを車載端末が受信できなかった場合に、適切に選ばれた別の基地局がこのパケットの再送を試みるものである。車載端末から基地局へのパケット送信も同様に、別の基地局が再送を試みる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、階層化の利点を損なわないようデータリンク層とネットワーク層の連携を弱い連携に保ちながらも、リンク品質の変化を隠蔽し、低損失や広帯域といった高効率通信を実現することである。この目的にかなう層間の弱い連携手法を提案し、評価を通じて、従来の最小ホップ数の経路を求める経路制御プロトコルであっても、本連携手法との組合せでパケット損失率の低減や通信の高速化が十分に可能であることを示す。

3. 研究の方法

無線マルチホップネットワークの経路制御プロトコルは、最短ホップ数の経路(経路長が最短の経路)を選択するものが多いのが現状である。最短ホップ数の経路は、経路を構成するリンクの品質が低い場合が多く、パケットの再送が頻繁に起こる可能性がある。

本研究では、ネットワーク層の経路制御プロトコルに影響を与えないようにしつつ、無線マルチホップネットワークの各リンクにおける再送制御に関して、Balasubramanian ら(2008年)の確率的再送制御手法が適用で

きるか検討する。Balasubramanian らの手法は、市街地に多数設置された無線 LAN 基地局と移動する自動車との間の無線リンクを対象にしており、無線マルチホップネットワークにこの手法を適用することに効果があるかは明らかではない。

本研究では、確率的再送制御手法を無線マルチホップネットワークに適用するにあたって、次のような設計とする。各端末は周期的にビーコンメッセージを周辺端末に送信する。ビーコンメッセージ中に周辺端末と自端末の間の双方向のビーコン受信確率を含めることで、周辺端末間のリンク品質(つまり、リンクの各方向の受信確率)を各端末が把握できるようにする。各端末は自端末と周辺端末のリンク品質に加えて、周辺端末間のリンク品質の情報も持つことになる。通信経路の近傍端末は、経路上のあるリンクにパケットが送信されているのを漏れ聞いた(overhear)後、そのリンクでの送信が成功したことを受信端末の ACK フレームを漏れ聞くことで確認する。近傍端末が ACK フレームを受信できない場合、受信端末が受信に失敗していると判断して、送信端末が再送するのを待つことなく、近傍端末が確率的にパケットを再送する。

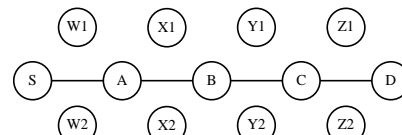


図1 無線マルチホップネットワークの例

例えば、図1のネットワークで端末 S と端末 D が、S-A-B-C-D という経路で通信している場合を考える。このとき W1, W2, X1, ..., Z1, Z2 はこの経路の近傍端末である。端末 S が送信したパケットが端末 A に中継され端末 B まで届いた後、端末 B が端末 C にこのパケットを送信するときを考える。この送信が成功するとは、端末 B が C に宛ててパケットを送信し、C が B に宛てて ACK フレームを送信することで正常に受信したことを知らせ、B が ACK フレームを正常に受信することである。本研究で提案する再送制御手法は、端末 B の送信パケットを B の近傍端末である X1, X2, Y2, Y2 が漏れ聞くことから始まる。これらの近傍端末はこのパケットが正常に受信できたらパケットをバッファに蓄え、端末 C の ACK フレームが漏れ聞こえるのを待つ。パケットの送信が終わってから ACK フレームが返信されるまでの時間は IEEE 802.11 で規定されており、ショートフレーム間隔(SIFS)と呼ばれる一定の短い時間である。近傍端末は ACK フレームが送信されるはずの時刻が経過しても、ACK フレームを漏れ聞くことがなければ、端末 C がパケットの受信に失敗したと判断する。IEEE 802.11 では、受信に失敗した場合、送信端末 B が再度送信を試みるが、提案手法(および Balasubramanian らの手法)

では、送信端末が再送するより前に、近傍端末が確率的に再送する。近傍端末の再送が失敗した場合は、IEEE 802.11 と同様に送信端末 B が再送する。

近傍端末 $x \in \{W1, W2, X1, X2 \text{ など}\}$ が再送する確率 r_x は次式で求める。

$$r_x = r \cdot p_{xC}$$

ただし、 $r = \frac{1}{\sum_{x \in \text{近傍端末}} c_x p_{xC}}$ 、

$c_x = p_{Bx}(1 - p_{BC}p_{Cx})$ 、 p_{xy} は端末 x のビーコンが端末 y に受信される確率である。近傍端末の集合は、近傍端末 x がビーコンを受信した端末とビーコンメッセージ中に格納されている端末からなる。つまり、確率 r_x の各近傍端末間の比は、近傍端末 x が受信端末 C への再送に成功する確率 p_{xC} に比例する。また、 r を掛けることで、再送する端末数の期待値を 1 にし、多くの近傍端末が同時に再送することがあまり起きないようにする。すべての近傍端末が同じビーコン受信確率の表（さまざまな端末間の p_{xy} を格納した表）を持っているとすると、次式が成り立つ。

$$\sum_{x \in \text{近傍端末}} c_x r_x = 1$$

なお、 c_x は近傍端末 x が送信端末 B のパケットを正常に受信し、かつ近傍端末 x に受信端末 C の ACK フレームが届かない確率である。

Balasubramanian らの手法では、再送を試みる際に、IEEE 802.11 の CSMA/CA に従いランダムバックオフ時間待ってから送信することで、複数の近傍端末が同時に再送することを防ぐ。一方、提案手法では、ACK フレームが受信されないことを確認すると直ちに再送する。直ちに再送することで、再送にかかる遅延時間を抑制することができるが、複数の近傍端末が再送する場合は、再送パケットが衝突して受信端末 C は受信に失敗する。

提案する確率的再送制御手法は、データリンク層に導入するものであるが、ネットワーク層と無関係ではない。すなわち、経路制御プロトコルの制御パケットも、アプリケーションのデータパケットもいずれもデータリンク層から見るとパケットである。その一方で、確率的再送制御手法はユニキャスト通信（送信端末と受信端末が 1 台ずつ）のパケットのみに適用される。経路制御パケットの一部はユニキャスト通信を用いるが、ブロードキャスト通信を用いるパケットもある。例えば、MANET の代表的な経路制御プロトコルである AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector) ルーティングでは、ルート要求 (RREQ) メッセージはブロードキャストされ、ルート応答 (RREP) メッセージはユニキャストされる。つまり、RREP メッセージは確率的再送の対象になるが、RREQ メッセージは確率的再送の対象にならない。また、OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) は HELLO メッセージ、TC メッセージともにブロードキャストさ

れるため、いずれも確率的に再送されることはない。

提案手法を、OLSR, AODV, AOMDV (Ad hoc on-demand multipath distance vector. AODV を改変して複数の経路を一度に構築するようにしたもの) と組み合わせた場合の性能を、ns-2 を用いた計算機シミュレーションで評価した。まず、OLSR と組み合わせた場合の評価結果を述べる。図 1 から端末 W1, ..., Z2 を除き、端末 S, A, B, C, D のように直線上に等間隔に端末を配置し、端末 S から D に UDP プロトコルを使って 512 バイトのデータグラムを 0.2 秒間隔で送信した場合のパケット到達率を図 2 に示す。端末は移動しない。端末 S と D の間の距離を 100m, 200m, 300m と変化させながら、端末 S と D の間に存在する端末数を 0 から 9 まで変化させている。ホップ数（経路長）を計測していないが、OLSR は最短ホップ数となる経路を選択するため、端末 S と D の間で直接パケットの送受信が可能であると OLSR が判断すると、直接端末 S から D に送る 1 ホップの経路が選択される。端末 SD 間の距離が 300m で SD 間に 2 台以上の端末が存在する場合に注目すると、およそ 15% 程度パケット到達率が改善していることが図 1 から分かる。また、端末 SD 間の距離が 200m の場合も、パケット到達率に改善が見られる。このようにパケット到達率が改善されるが、パケット到達までの遅延時間は 1ms 程度増加することが確認された。また、端末数が増えるにつれて、すでに届いているパケットを再送するという誤った再送の頻度が上がることも確認された。

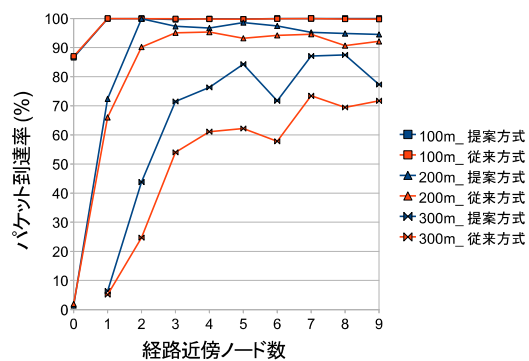


図 2 確率再送制御を OLSR と組み合わせた場合のパケット到達率

AODV および AOMDV と提案手法を組み合わせた場合の評価結果を述べる。500 メートル四方のシミュレーションエリアに 50 台の自動車移動している状況で、自動車の最高速度は秒速 10m から 40m (時速 36km から 144km) と変化させた。道路は 100m 間隔で碁盤の目状に配置し、交差点を通過する際などの自動車の速度制御は VanetMobiSim (Harri ら 2006 年) を用いて決めた。通信は 50 台の自動車から 2 台ずつ 2 組を選び、組ごとに UDP を用

いて512バイトのデータグラムを1秒間隔で送信した。ビーコン送信間隔を5秒または10秒と長めにすることで、ビーコンによるネットワークトラフィックを抑えつつ、確率的再送が有効に働くかを調べた。パケット到達率は、確率的再送を導入することでほとんどの場合に10%程度改善した。例えば、最高時速72kmの場合、導入前に70%程度だった到達率が、85%程度に向上した。ただし、ビーコン間隔が5秒の場合にはこのような改善が見られたが、ビーコン間隔が10秒でかつAODVと組み合わせた場合は、パケット到達率が導入前と同程度の場合も見られた。経路制御パケットとビーコンをあわせたオーバーヘッド(単位時間あたりの送信バイト数)は、多くの場合導入前と比べて増加した。パケットの平均遅延時間は、導入前のAOMDVが最も短く、ビーコン間隔を10秒としてAODVと組み合わせた場合が最も長いことが確認された。

このように、確率的再送制御は無線マルチホップネットワークに適用しても、パケット到達率を改善できることが示された。また、MANETの代表的な経路制御プロトコルであるOLSRおよびAODV、AOMDVと組み合わせて用いることが可能であることを示した。

無線マルチホップネットワーク上でのホップ数(経路長)が2以上の通信の場合、経路の途中の端末はパケットを受信した後、次の端末にパケットを送信する。互いに近い場所にある無線端末は無線チャンネルを共有するため、IEEE 802.11などのデータリンク層は、CSMA/CAを用いて衝突が起こりにくいように送信タイミングを制御している。

一方、トランスポート層のTCPは、輻輳窓をTCPの送信元と受信先の間で決め、データリンク層や物理層で輻輳が起きてスループットが低下することがないように、一度に送信するデータ量を制御する。この制御は、送信元と受信先の間で検出・計測したパケット損失や往復遅延時間に基づいて行われる。

本研究では、トランスポート層で計測される往復遅延時間と、この層が制御している輻輳窓の幅(同時に送信するデータのサイズ)をデータリンク層で参照し、データリンク層で送信タイミングを制御することで、物理層やデータリンク層で生じるパケット衝突やパケット再送を減らす方法を検討する。

さらに、経路の途中の端末がパケットを受信してから次の端末に送信するまでのランダムバックオフ時間を短縮し、経路に沿って連続してパケットが送信されるようにすることで、スループットの向上を狙う。

本研究で提案する手法は次のように動作する。まず、一つのTCP接続であっても、そのTCP接続上で連続して複数のパケットを送信すると、経路上でこれらのパケットが衝突する可能性が高くなる。そのため、TCPの送信元端末のデータリンク層では、連続するパケット送信の間に適切な送信間隔 Δ を空ける

ように制御する。送信間隔 Δ は、TCPの平滑化往復遅延時間sRTT、ウィンドウサイズ W を参照し、これらと平均セグメントサイズ S を用いて次式で決定する。

$$\Delta = sRTT \cdot (S/W)$$

このようにTCP送信元で送信間隔をある程度一定に保つことで、連続するパケットが経路上を一定のペースで送信されることが期待され、パケット衝突による再送が減る。

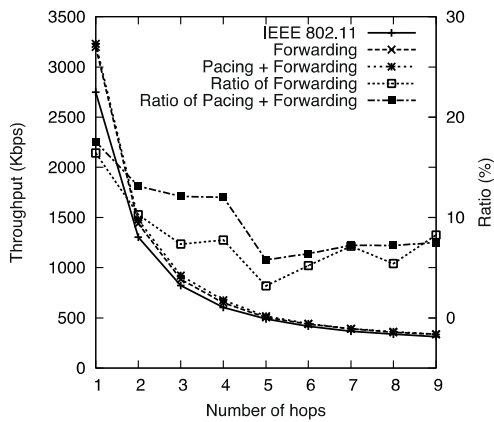
さらに、パケットが滞りなく経路上を進めるように、経路上の端末(両端の送信元と受信先端末の両端を含む)のデータリンク層では、パケットを受信すると直ちにネットワーク層にパケットを渡し、次ホップに転送するパケットをネットワーク層から受け取る。両端端末の場合は、トランスポート層まで処理して、次のパケットやTCP ACKパケットをデータリンク層で受け取る。データリンク層では、パケット受信後にランダムバックオフすることなく、ACKフレームを送信後ショートフレーム間隔(SIFS)だけ待って、上位層から受け取ったパケットを送信する。

提案手法を、単一のTCP接続のみからなる通信に関して、計測シミュレーションで予備評価した。端末を2台から10台用意し、端末を直線状に配置する。端末は移動しない。経路は静的に与え、各端末は隣り合う端末に中継する。一回の送信で隣の端末が送信できる確率は約77%となるように配置した。5MBのファイルをFTPで送信する状況をシミュレーションし、送信完了までの時間からスループットを求めた。パケット衝突回数の増減を見るためにパケットの伝送回数(1回ずつの再送を1回と数える)計測した。図3にスループットと伝送回数のグラフを示す。グラフの“Ratio of Pacing + Forwarding”が、従来のIEEE 802.11と比べて提案手法の性能割合を示している。スループットは、ホップ数によらずIEEE 802.11と比べて7%以上改善している。パケット伝送回数は9ホップではほぼIEEE 802.11と同程度であるが、ホップ数が短くなるにつれて10%程度まで伝送回数を減らしており、パケット衝突によって生じる再送が減っていることが分かる。なお、グラフ中の“Forwarding”はTCP送信元ノードでの送信間隔を空ける機能を無効にし、経路上の端末でパケット送信する待ち時間をSIFSに短縮する機能のみを有効にした場合の結果を示している。

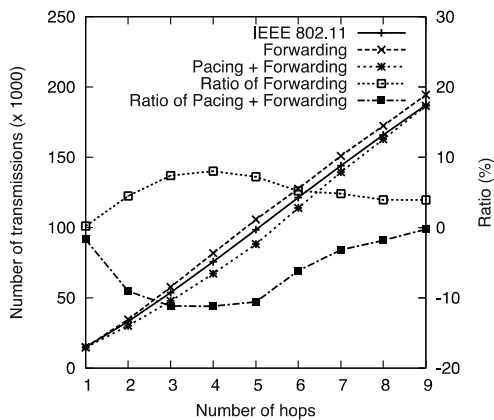
複数(5つまで)のTCP接続が存在する場合についても評価したところ、RTS/CTS(request to send/clear to send)機構による仮想搬送波検知を用いることで、性能が向上することが確認された。

層間の連携ではないが、ネットワーク層の経路制御プロトコルが送信する経路制御パケット数を減らす方法についても検討する。

MANETのプロトコルの一つOLSR(Optimized Link State Routing Protocol)はHELLO



(a) スループット



(b) 伝送回数

図3 送信タイミング制御の予備評価結果

メッセージ、TCメッセージの2種類のメッセージを生成する。このうちTCメッセージは、MPR (マルチポイントリレー) と呼ばれる端末が中継することで、ネットワーク全体に配布される。そのため、TCメッセージの数が増加すると、TCメッセージによって生じる背景トラフィックが増加し、ネットワークの性能低下の要因となりうる。MPRは、OLSRプロトコルの一部といえる分散アルゴリズムで決定される端末で、任意の端末間で最短経路を構築する際に経路として選ばれる端末である。TCメッセージはMPRに選ばれたノードのみが送信する。

本研究では、TCメッセージの数を減らすべく、MPRの数を削減するようなMPR選択アルゴリズムを提案する。既存のMPR選択アルゴリズムは、各端末で独立してMPRを選択する。アルゴリズムの入力は、HELLOメッセージによって得られるもので、その端末から1ホップまたは2ホップの端末のリストとこれらの端末間のリンクの有無である。出力は1ホップの端末のうちどの端末をMPRに選択するかである。どの2ホップ端末についても、一つ以上のMPRとの間にリンクが存在するようにMPRが選ばれる。HELLOメッセージ中に選んだMPRを記述することで、MPRに選ばれたノードは、自らがMPRに選ばれたことを知り、その後TCメッセージを送信するようになる。

既存のMPR選択アルゴリズムは、ある端末

を根とするスパニングツリーを構成するためには最良の方法と思われる。ところが、OLSRではあらゆる端末を根とするスパニングツリーをそれぞれの端末が独立して構成することになり、複数のスパニングツリーで異なる端末が選ばれる場合がある。異なる端末が選ばれると、選ばれたすべての端末がTCメッセージを送信するため、TCメッセージの数が増加することになる。

そこで、提案するアルゴリズムでは、アルゴリズムの入力に隣の端末の選んだMPRを加えて、それらの端末を優先的にMPRに選ぶように変更する。変更の詳細は雑誌論文を参照されたい。

計算機シミュレーションによって評価したところ、面積あたりの端末数が増加するにつれて、MPRに選ばれる端末数が増加することが確認された。1ホップ端末数が10台程度の比較的高密度なネットワーク(雑誌論文では端末数200の場合)になると、既存のアルゴリズムでは65%の端末がMPRに選択されるのに対して、提案アルゴリズムは62%、非分散アルゴリズムを用いた近似的な下界は57%となった。提案手法によってMPRに選ばれる端末数が減ったことで、送信パケット数が4%程度減り、衝突するパケット数は10%程度減ることが確認された。

4. 研究成果

無線マルチホップネットワークの経路制御プロトコルの多くは最短経路を選択する。最短経路に、品質の低いリンクが含まれる場合に有用な、経路の近傍の端末が再送する確率的再送制御手法を提案した。この手法はBalasubramanianら(2008年)の手法を無線マルチホップネットワークに適用したものである。提案手法が、既存の経路制御方式であるOLSR, AODV, AOMDVと組み合わせて使用した場合にも、効果があることを示した。

無線マルチホップネットワークのデータリンク層に、CSMA/CAによる送信タイミング制御に加えて、TCPの情報を利用したタイミング制御などを加えることを提案した。このタイミング制御により、TCPのスループットを上げ、パケット衝突による再送を減らすことができることを予備評価により示した。

無線アドホックネットワークの経路制御プロトコルOLSRのMPR選択アルゴリズムを改良することで、MPRによって送信されるTCメッセージの数を減らし、経路制御パケットによる背景トラフィックを減らすことができることを示した。

これらの研究成果は、移動端末で構成される無線マルチホップネットワークのみならず、メッシュネットワークなどでも応用できることが期待できる。一部の成果は、より詳細な評価が必要と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Teruaki Kitasuka, Fumihito Nakahara, Yuki Manabe, Masayoshi Aritsugi, "Reducing Collisions of a TCP Stream on Multi-Hop Wireless Networks," Proc. of 2014 7th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), pp.97-98, Singapore Management University, Singapore, Jan. 2014. 査読有. DOI: 10.1109/ICMU.2014.6799075

Radityo Anggoro, Teruaki Kitasuka, Ryoji Nakamura and Masayoshi Aritsugi, "Performance Evaluation of Probabilistic Relay in Ad Hoc On-Demand Distance Vector and Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector under Highly Dynamic Environments," Journal of Computer Science, vol. 9, no. 7, pp. 905-921, 2013. 査読有. DOI: 10.3844/jcssp.2013.905.921

Teruaki Kitasuka and Shigeaki Tagashira, "Finding More Efficient Multipoint Relay Set to Reduce Topology Control Traffic of OLSR," Proc. Of 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM), 9 pages, Madrid, Spain, June 2013. 査読有. DOI: 10.1109/WoWMoM.2013.6583478

Radityo Anggoro, Teruaki Kitasuka, Ryoji Nakamura and Masayoshi Aritsugi, "Performance Evaluation of AODV and AOMDV with Probabilistic Relay in VANET Environments," Proc. of 2012 3rd International Conference on Networking and Computing (ICNC), pp.259-263, Okinawa, Japan, Dec. 2012. 査読有. DOI: 10.1109/ICNC.2012.47

Radityo Anggoro, Ryoji Nakamura, Teruaki Kitasuka, Tsuyoshi Itokawa, and Masayoshi Aritsugi, "An Evaluation of Routing Protocols with Probabilistic Relay in VANETs," Proc. of 2011 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2011), pp.187-191, Bali, Indonesia, Nov. 2011. 査読有. DOI: 10.1109/TENCON.2011.6129089

Teruaki Kitasuka and Shigeaki Tagashira, "Density of Multipoint Relays in Dense Wireless Multi-hop Networks," Proc. of 2011 2nd International Conference on Networking and Computing (ICNC), Osaka, Japan, Dec. 2011. 査読有. DOI: 10.1109/ICNC.2011.27

〔学会発表〕(計6件)

北須賀 輝明, 中原 史博, 眞鍋 雄貴, 有次 正義, 「無線メッシュネットワークにおける伝送タイミング制御に関する一検討」, 電子情報通信学会技術報告, vol.114, no.31, pp.173-178, MoNA2014-12, 2014年5月15日~16日, 宜野湾市(沖縄県).

中原 史博, 眞鍋 雄貴, 北須賀 輝明, 有次 正義, 「無線メッシュネットワークにおけるスループットの改善のためのパケット伝送手法」, 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム 2014, 2014年3月4日~5日, 大分大学(大分市).

中原 史博, 眞鍋 雄貴, 北須賀 輝明, 有次 正義, 「無線マルチホップネットワークにおけるパケット衝突削減のための伝送間隔の調整手法」, 情報処理学会九州支部若手の会セミナー2013 講演論文集, pp.25-30, 2013年9月13日~14日, かんぼの宿阿蘇(熊本県阿蘇市).

中原 史博, 北須賀 輝明, 有次 正義, 「伝送周期の調整による無線マルチホップネットワーク上での TCP の輻輳の緩和手法」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2013)シンポジウム, 2013年7月10日~12日, 音更町(北海道).

中原 史博, 北須賀 輝明, 有次 正義, 「送信周期の調整による無線マルチホップネットワーク上での TCP の輻輳の緩和」, 情報処理学会九州支部火の国情報シンポジウム 2013, 2013年3月14日~15日, 熊本大学(熊本県).

中村 亮滋, 北須賀 輝明, 糸川 剛, 有次 正義, 「MANETにおける経路近傍ノードによる確率的再送制御方式」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2011)シンポジウム, 2011年7月6日~8日, 宮津市(京都府).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北須賀 輝明 (KITASUKA, Teruaki)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 70343332

(3) 連携研究者

有次 正義 (ARITSUGI, Masayoshi)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 40282412

糸川 剛 (ITOKAWA, Tsuyoshi)

熊本県立技術短期大学校・情報システム技術科・主任講師
研究者番号: 60336203

田頭 茂明 (TAGASHIRA, Shigeaki)

関西大学・総合情報学部・教授
研究者番号: 70332806