

平成22年4月16日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700059
 研究課題名（和文）送信電力と伝送レートを適用制御するメッシュネットワーク用経路制御プロトコルの開発
 研究課題名（英文）Development of routing protocols for mesh networks with transmission power control and transmission rate control.
 研究代表者
 内藤 克浩 （Katsuhiro Naito）
 三重大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：80378314

研究成果の概要（和文）：本研究ではマルチホップネットワーク用の通信プロトコルの提案を行った。特に、本研究では近隣通信及び自通信に与える干渉の影響について着目し、提案方式では、移動端末が無線チャネル状態に応じて適切な伝送レートを選択肢、近隣の通信及び自通信に与える干渉を削減するために適切な送信電力を選択する。シミュレーション結果より、体な方式を利用することによりエンド間のスループットだけでなく、ネットワーク全体のスループット特性も改善可能であることをしめした。また、実験結果より、マルチホップネットワークにおいて、干渉は大きな特性劣化要因であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed some communication protocols for multi-hop networks. Especially, we focus on interference effect between neighbor communication or self communication. In the proposed protocols, mobile terminals can select adequate transmission rate according to channel condition, and select an adequate transmission power to reduce interference to neighbor communication or self communication. From simulation, we showed that the proposed protocols can improve end-to-end throughput and while network throughput. Additionally, we find that interference is a big factor of degradation in multi-hop networks from experimental results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：コンピュータネットワーク

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：マルチホップネットワーク・経路制御・レート制御・送信電力制御・プロトコル・TCP

1. 研究開始当初の背景

近年の無線通信技術の発展に伴い、端末が自律的にネットワークを構築するアドホックネットワークが注目されていた。また、固定無線端末などを相互接続することにより、広域無線ネットワークを構築する手法としてメッシュネットワークと呼ばれる概念が提案されはじめていた。メッシュネットワークはアドホックネットワークの一形態と考えられるため、メッシュネットワークの研究ではアドホックネットワークで利用される方式が修正されて利用されている。しかしながら、メッシュネットワークでは端末の位置変化は少ないため、移動を前提としたアドホックネットワークとは異なる特徴を持つ。また、メッシュネットワークは広域ネットワークサービスを提供するための基盤ネットワークとなりえるため、常にネットワーク内にはパケットが転送されている状況が想定される。そのため、各経路の通信がお互いに干渉することを防ぐことは、連続的な通信の実現のためには非常に重要となる。

既存の研究では、無線伝送路状態が時間的に変化することに注目することで、伝送路状態がよい経路を選択する方式が既に提案されている。この方式では、専用パケットを隣接端末間で定期的に交換することにより、適切な経路選択を行っている。しかし、専用パケットの交換は過剰な無線帯域利用につながるうえ、伝送路状態の変動に十分に追従することも困難であることが知られていた。また、メディアアクセス制御方式として、送信電力と伝送レートを選択することで、効率的な無線帯域の利用を実現する方式が提案されている。この方式では、端末が近隣に存在する場合には、送信電力を削減するか、伝送レートを高めることで無線帯域の利用効率を改善する。しかし、送信電力及び伝送レートを変更した場合、通信可能な隣接端末などの状況が大きく変化する。そのため、メディアアクセス制御方式において自律的に送信電力及び伝送レートを選択した場合、上位層で動作する経路制御プロトコルが適切な経路選択を行えないという問題が知られていた。

さらにメッシュネットワークだけではなく、マルチホップ通信技術を利用するセンサーネットワーク・高度道路交通システム用の車両間通信ネットワーク・アドホックネットワークなどにおいても、ネットワーク内で行われる通信間の相互干渉及び自通信をマルチホップ転送する際の相互干渉などが通信特性に大きな影響を与えることも知られていた。

2. 研究の目的

本研究では、ネットワーク内で行われる通信間の相互干渉及び自通信をマルチホップ転送する際の相互干渉の影響を軽減するために、送信電力及び伝送レートの制御を行う経路制御方式の提案を行う。提案方式の基本的なアイデアは送信電力を制御することにより、近隣端末に到達する電力を削減し、近隣端末間で行われている通信への干渉の影響を軽減することである。さらに、伝送路状況に応じて伝送レートを適切に選択することにより、通信時間を削減することが可能となり、近隣端末への干渉要因となる信号の送信時間を短縮することである。これらの結果として、ネットワーク内で構築される各経路の独立性をより高くすることができると考えており、各経路において通信を独立に実施することが可能になると考えられる。そして、端末間の通信性能だけではなく、ネットワーク全体の通信性能の改善も達成できると考えている。

3. 研究の方法

本研究は2年間の研究期間を予定しており、基礎的なプロトコル開発及び多数の端末が存在する場合のネットワーク特性などをコンピュータシミュレーションにより明らかにする予定であった。また、現実のマルチホップ通信技術を用いたネットワークの特徴を明らかにするために、小規模ネットワークを構築することによる実証実験を行う予定であった。

(1) コンピュータシミュレーションによる研究

無線通信を前提とした場合、干渉及びマルチパスフェージングの影響を大きく受けることが知られている。特にマルチホップ通信技術を利用する場合、近隣端末が行っている通信が自らへの干渉となる上、自らが行っている通信も近隣ホップへの干渉となる。特に、多量の通信が継続的に行われると考えられるメッシュネットワークでは、近隣経路間の干渉が頻繁に発生することが予想され、通信特性の大きな劣化が予想される。本研究では、通信に必要な最小電力で通信を行うことが可能な経路制御プロトコルの開発と無線伝送路の状況に応じて適切な伝送レートを選択可能なプロトコルの開発を行う。また、これらの開発プロトコルを併用することにより、近隣通信だけではなく、自通信へ与える干渉の影響を軽減できるものと考えている。そして、提案方式の基礎的な検討と、大規模ネットワークでの有効性を明らかにするために、ネットワークシミュレータ Qualnet を利用することで、コンピュータシ

シミュレーションを行い、その特性を明らかにする。

(2) 実証実験による研究

現実の無線通信環境は壁による遮蔽や建物による反射などの影響もあり、非常に複雑な特性を持つ。さらに、人などが移動することにより、これらの特性は時間的に大きく変動することも想定され、理想的なモデルを利用しているコンピュータシミュレーションとは大きく異なる状況が想定される。このような状況では、端末間の伝送路状況に合わせて適時経路構築などを行うことも重要と考えられる。本実験では、小型実験機上に簡易な通信プロトコルを実装することにより、実際にデータパケットを転送するシステムを構築する。また、実際の通信特性を測定することにより、干渉による影響、無線伝送路の変換による影響などを明らかにする予定である。

4. 研究成果

メッシュネットワークの基礎技術であるマルチホップ通信技術を対象にした研究では、無線伝送路の時間変化を考慮していないことが多い上、伝送レートと送信電力を適応的に変化させた場合についての検討は十分に行われていない状況である。一方、本研究では、特に無線通信の特性を大きく左右する通信間で生じる干渉の影響に着目した。また、無線伝送路も時間的に変化する現実に対応したモデルを前提に研究を行うことで、マルチホップ通信技術のより現実的な特性を明らかにすることに務めた。

本研究では、干渉を抑制する観点から、主に伝送レート、送信電力及び伝送タイミングを変化させた場合について研究を行った。まず、伝送レートを適応的に変化させる研究では、無線 LAN などで行われている IEEE 802.11 のマルチレート機能を有効に利用することを目的とした。具体的には、無線伝送路状況に合わせてデータフレーム単位で適切な伝送レートを選択することが可能となる方式について研究を行った。なお、既にデータフレーム単位で伝送レートを選択可能な方式は提案されているが、既存方式では IEEE 802.11 との互換性がなくなるのに対して、提案方式では IEEE 802.11 との互換性を維持することが可能である、現実の利用を考えた場合には、提案方式が有効であると考えている。さらに、既存の研究では、適切な伝送レートを選択する基準については十分に検討が行われていなかったのに対して、本研究では、多くのネットワークアプリケーションが利用する TCP(Transmission Control

Protocol)の輻輳ウィンドウ制御の特性を想定した伝送レート選択基準を提案し、その特性を明らかにした。そして、提案方式の特性を無線伝送路を時間的に変化させた場合についてシミュレーションを行うことで、提案方式の無線伝送路の変化への追従性の高さを明らかにした。さらに、メッシュネットワークで想定される経路制御プロトコルである、AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector)とOLSR(Optimized Link State Routing)を採用した場合について特性改善度合いを明らかにした。結果より、図1及び図2に示すように両プロトコルを利用した場合とも、適応的に伝送レートを選択することにより、各端末が無線信号を送信する時間を短縮することが可能となる。そのため、各端末が送信可能となる機会が増加することにより、端末間のスループットが改善するだけでなく、ネットワーク全体のスループット特性も改善することを明らかにした。さらに、無線伝送路が変化する速さを変化させた場合、予め経路構築を行う OLSR を用いた場合には、スループット特性が大きくは変化しないのに対して、データフレームの損失が経路再構築につながる AODV を用いた場合には、無線伝送路の変化速度が速くなるのに応じて、スループット特性も劣化することを明らかにした。

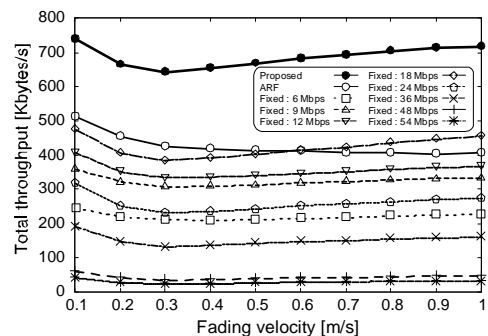


図1 適応レート制御時のOLSRスループット

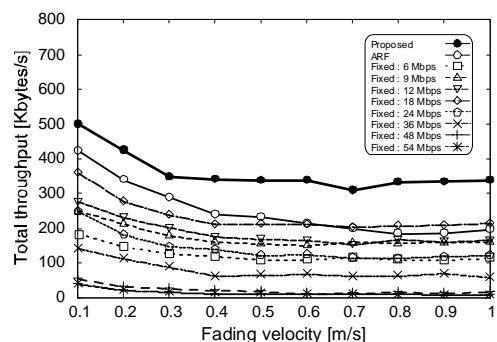


図2 適応レート制御時のAODVスループット

送信電力を適応的に変化させる検討では、事前に経路構築を行う OLSR を改良すること

により、近隣に存在する各端末に対して、伝送路状態とパケット長に基づいた送信電力を選択する手法を提案した。本手法では、OLSR が作成する経路トポロジに大きく関与する、MPR(Multi Point Relay) 端末の選抜でも送信電力を考慮することにより、送信電力削減による干渉量の削減だけでなく、経路トポロジの見直しによるホップ数削減によりパケット送信数の削減を行っている。また、図3に示すように提案方式を Qualnet 上に実装することにより、シミュレーションを行うことで、近隣端末へ与える干渉を削減することにより、同一環境において1割以上の無線資源の利用効率を改善可能であることを示した。

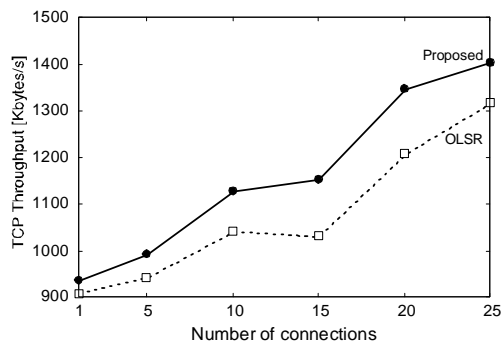


図3 送信電力制御時のスループット

伝送タイミングを変化させる研究では、マルチホップ通信技術の応用技術である高度道路交通システム用の車車間通信及びセンサーネットワーク用の通信についても研究を行った。車車間通信技術は自動車のメッシュネットワークと考えることができるほど定常的に通信が行われるネットワークであるが、要求される通信品質は極めて高いのが現実である。提案方式では、近隣車両間で情報を交換することにより、伝送路状況のよい適切な車両のみがタイミングをずらしてデータ転送を行う方式を提案した。結果より、車両数が大幅に増加した場合においても、高い配信率と低い遅延特性を維持することができ、干渉に着目することが車車間通信においても重要であることを明らかにした。また、センサーネットワークにおいても、定期観測を想定したアプリケーションでは、同時期に多量の観測データが送信されることから、干渉の影響が非常に大きいことをシミュレーション及び実証実験から明らかにした。また、干渉を抑制可能な通信タイミングの制御方式を提案することにより、センサーネットワークの応用例である、定期観測アプリケーションの実測特性を明らかにした。

これらの研究成果は国内学会・国際会議・論文誌で一部発表済みであり、国内学会及び

国際会議での発表も予定済みである。

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3件)

1. Katsuhiro Naito, Koushiro Sato, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Simple vehicle information delivery scheme for ITS networks," IARIA International Journal On Advances in Telecommunications, 査読有, vol. 2, no. 2&3, pp.60-71, Dec. 2009.
2. Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "Evaluation of Power-Aware Routing for Sensor Networks with Forwarder Nodes," Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, 査読有, Vol. 6, No. 5, Sep. 2008.
3. Shoko Uchida, Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, Hideo Kobayashi, "A Rate-Adaptive MAC Protocol Based on TCP throughput for Ad Hoc Networks in Fading Channels," Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, 査読有, Vol. 6, No. 5, Sep. 2008.

[学会発表] (計10件)

1. 内藤克浩, 森 香津夫, 小林英雄, "干渉軽減を目的とした送信電力制御を行うアドホックネットワーク用ルーティングプロトコルの検討," 電子情報通信学会技術研究報告 モバイルマルチメディア通信研究会, vol. 109, no. 204, MoMuC2009-37, pp. 67-72, 2009年9月, 沖縄県・那覇市
2. 内藤克浩, 江原正規, 森 香津夫, 小林英雄, "SunSpotを用いたフィールドネットワークの試作," 電子情報通信学会技術研究報告 モバイルマルチメディア通信研究会, vol. 109, no. 204, MoMuC2009-38, pp. 73-78, 2009年9月, 沖縄県・那覇市
3. Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Proposal of interference reduction routing for ad-hoc networks," in Proc. of the 6th International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications (CITSA 2009), July 10 - 13, 2009, 米国・オランダ
4. Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and

- Hideo Kobayashi, "Evaluation of adaptive rate control scheme for ad-hoc networks in fading environments," in Proc. of the 6th International Conference on Cybernetics and Information Technologies, Systems and Applications (CITSA 2009), July 10 - 13, 2009, 米国・オーランド
5. 内藤克浩, 森香津夫, 小林英雄, "干渉軽減を目的とするアドホックネットワーク経路制御プロトコルに関する一検討," 2009年電子情報通信学会総合大会, B-6-121, 2009年3月, 愛媛県・松山市
 6. Katsuhiro Naito, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Proposal of data intensive sensor networks with forwarder nodes," in Proc. of the IARIA International Conference on Networks (ICN 2009), March 1 - 6, 2009, メキシコ・カンクン
 7. Katsuhiro Naito, Koushiro Sato, Kazuo Mori, and Hideo Kobayashi, "Proposal of distribution scheme for vehicle information in ITS networks," in Proc. of the IARIA International Conference on Networks (ICN 2009), March 1 - 6, 2009, メキシコ・カンクン
 8. 内藤克浩, 森香津夫, 小林英雄, "転送ノードを用いるデータ集約型センサネットワークの研究," 電子情報通信学会ユビキタス・センサネットワーク研究会, 22-24 Oct. 2008, 沖縄県・那覇市
 9. 福田泰士, 内藤克浩, 森香津夫, 小林英雄, "アドホックマルチキャストにおけるコリジョン回避を目的とした送信タイミング制御方式の検討," 電子情報通信学会 アドホックネットワーク研究会, 22-24 Oct. 2008, 沖縄県・那覇市
 10. 内藤克浩, 森香津夫, 小林英雄, "フェージング環境における適応レート制御を用いたアドホックネットワークに関する一検討," 電子情報通信学会 ソサエティ大会 B-6-35, 2008年9月, 東京都

[その他]

ホームページ等

<http://www.com.elec.mie-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 克浩 (Katsuhiro Naito)
三重大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：80378314

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：