

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 23 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500067

研究課題名（和文） 効率と省電力を考慮したアドホックネットワーク用適応型ルーティング
プロトコル研究課題名（英文） An Adaptive Routing Protocol for Ad-hoc Networks Considering
Efficiency and Power Saving

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

研究成果の概要（和文）：

モバイルアドホックネットワークのルーティングでは、経路探索や構築のための制御パケットの量を極力削減することやネットワーク規模に適応したルーティングを行うことが重要な課題となっている。本研究では、ノードの移動や以前探索した経路の信頼値を用いて制御パケットの量を極力削減するルーティングプロトコルを考案した。さらに、ネットワーク規模に応じて2つのルーティング手法を適応的に使い分けるプロトコルの考案も行った。考案したプロトコルの有効性を計算機シミュレーションや実際に実装したシステムを利用して評価した結果、従来手法のプロトコルより性能が向上したことを確認した。

研究成果の概要（英文）：

In a routing of mobile ad hoc networks, it is important issues to reduce the amount of control packets for performing the routing and to adapt to the network scale. In this research, we designed the routing protocol for reducing control packets based on node movement and trust value of previous searched routes. We also designed the protocol which uses two routing methods adaptively based on network scale. An effectiveness of the designed routing protocol was evaluated by computer simulation and test bed. As the results, we verified that the proposed protocol showed better performance than conventional routing protocol.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：ネットワークプロトコル，アドホックネットワーク，ゾーン型ルーティング，制御パケット削減，省電力

1. 研究開始当初の背景

新世代ネットワーク NGN(Next Generation Networks)の主要なサービスの

一つとしてユビキタスシステムが挙げられている。ユビキタス技術の進展により、ネットワークに接続されるモバイル端末(PCや

携帯電話から RFID タグ, センサ, 情報家電, 車載端末, 自律走行ロボット, ウェアラブル端末など) の数は全世界で, 2005 年に 1 億台, 2010 年に 100 億台, 2015 年に 1 兆台になると予測されている. このように増加の一途をたどっているモバイル端末において, 端末間の通信を実現するためには, 高ノード密度環境における高効率・高信頼通信技術や低消費電力プロトコルの開発およびネットワーク規模に適応したプロトコルの開発が必要となる.

ユビキタスネットワークを実現するネットワークの一つとしてアドホックネットワークが注目されている. アドホックネットワークとは, 無線 LAN のような基地局を持たず, 端末同士でデータ伝送や中継を行なうことにより実現される自律的な無線ネットワークである. 特徴としては, 端末の移動などでトポロジーが常時変化していて, マルチホップ通信が行なわれることなどである. したがってアドホックネットワークでは, トポロジーの変化やマルチホップ通信を実現するためにルーティングプロトコルが非常に重要な技術となっている.

アドホックネットワークのルーティングでは, エンドエンドの経路を発見するために制御パケットをフラディングする必要があり, 最大 5 ホップ程度の小規模なネットワークでも, 一つのエンドエンドの経路を発見するのに数百オーダーの制御パケットが通信される. 更に端末の移動が激しい場合, 経路の切断が頻繁に発生するため, 再経路構築のためのフラディングの頻度が高くなり, データパケットを送るまでのオーバーヘッドが大きくなることや各端末の電力が大量に消費されることなどが問題となっている. したがって, 経路探索のための制御パケットによるオーバーヘッドや消費電力を極力抑えたルーティングプロトコルの開発が重要となってきている.

アドホックネットワークのルーティングプロトコルは IETF の MANET (Mobile Ad-hoc Network) WG により議論が行なわれており, これまでに様々なものが提案されているが, ネットワークの構造や規模などによりそれぞれ最適なルーティングプロトコルは変わってくるのが現状であり, どのような状況にも適応できるルーティングプロトコルは存在しない.

しかし, 他のルーティングプロトコルと比べて, 広範囲なネットワークの環境に適応できると考えられるゾーンルーティングプロトコル(ZRP)が注目されている. ZRP では, 各端末がルーティングゾーンという範囲を持ち, この範囲内の端末に対しては定期的に近隣の情報を制御パケット (hello パケット) を用いて交換することによって前もって経

路表を作成するテーブル駆動型 (プロアクティブ) 方式を用いてルーティングを行い, 範囲外の端末に対しては送信要求が発生してから経路探索を行うオンデマンド型 (リアクティブ) 方式を用いてルーティングを行う. 従って, このルーティングゾーンを狭くするとリアクティブな性質が強いプロトコルとなり, 広くするとプロアクティブな性質が強いプロトコルとなる. このようにひとつのパラメータを変えるだけでプロトコルの性質が変わるので, ネットワークの環境に応じて適切な値を設定することにより, 様々なネットワーク環境に適応できる可能性を持っている. しかし ZRP では, テーブル作成や経路探索 (全方向に経路探索パケットを送る) のための制御パケットの数が多くなりネットワーク性能を低下させるという問題点がある. また, ネットワーク規模に応じた最適なゾーン半径は導出されておらず, ネットワーク管理者が任意の値を設定するようになっている. さらに, 各ノードの電力消費に関しては考えられておらず, 電池切れになったノードのためにネットワークが崩壊してしまう可能性が出てくる.

2. 研究の目的

本研究では, モバイルアドホックネットワークのための効率と省電力を考慮した新しいルーティングプロトコルを考案し評価することを目的としている. 効率と省電力を実現するには, ノード情報を伝達する制御パケットの量を極力削減することやネットワーク規模に適応したルーティングを行うことが重要な課題となっている.

3. 研究の方法

(1) プロトコルの設計

関連研究のプロトコルの問題点を改善するようなプロトコルの設計を行った. 各課題に対する解決策を以下に示す. 研究目的でも述べたように, このような解決策を用いたプロトコルの設計を行った.

① 重要課題

効率や省電力を考慮したアドホックネットワークのルーティングプロトコルの開発

② 技術課題 1

制御パケットの削減

③ 解決策

従来手法の ZRP では, ゾーン内において全ノードが定期的に制御パケットを送信していたが, これではノードが移動しない (トポロジーの変化がない) 場合でも無駄な制御パケットが発生する. 提案手法では, 定期的な制御パケットの送信をやめて, ノードの移動

に応じて制御パケットを送るようにすることにより制御パケットの量を削減する。

また、ゾーン外に関して ZRP では、制御パケットを全方向に送る（フラディング）ことにより経路を探索していたが、提案手法では、以前探索した経路の信頼値を計算しそれを基に3つの探索法を使い分けて制御パケットの量を削減する。

④ 技術課題2

ネットワーク規模への適応

⑤ 解決策

現在のネットワーク状況を基に、ゾーン半径を動的に変化させ、その中で一番ネットワーク性能が良くなるゾーン半径を求めそのゾーン半径を用いて通信を行うプロトコルに改良する。

⑥ 技術課題3

消費電力の抑制

⑦ 解決策

技術課題1の解決策で示したように、制御パケットの量を削減することによりネットワーク全体のノードの消費電力の抑制を行う。

(2) 関連プロトコルのシミュレーションシステムの作成および実験

関連研究で用いられている手法の性能をシミュレーションにより解析し、問題点を明らかにした。シミュレーションプログラムは、C++言語を用いて作成し、それを用いた実験を行った。

(3) 提案プロトコルのシミュレーションシステムの作成および実験

(1)で設計したプロトコルのシミュレーションプログラムの作成を C++言語を用いて行い、それを用いた実験も行った。実験では、データパケットに対する制御パケットの数の割合、ネットワーク規模を変化させた時のスループットや遅延特性、各ノードの電力消費などに関しての評価実験を行った。

(4) 性能評価

関連プロトコルと提案プロトコルのシミュレーション結果から、両プロトコルの比較を行い、性能について様々な観点から評価を行った。

(5) プロトコルの改良

(4)の性能評価を基に問題点の洗い出しを行い、その問題点を解決するためにプロトコルの改良を行った。

(6) 実機への実装および実験

ノート PC などのモバイル端末に本プロトコルの基本的な部分を実装し実験を行った。また、実験では、モバイル端末を静止させた状態と、実験者がモバイル端末を持って移動させた状態での遅延特性、スループット特性、伝送成功率、電力消費特性などについて評価した。

(7) パケットの流れの可視化

パケットの流れを可視化するシステムを開発し、実際にパケットの流れを観察した。

4. 研究成果

本研究では、制御パケットを極力削減し優れたネットワーク性能をもつルーティングプロトコルの考案および評価を行った。

図1~3は、ノード数を30とした時の制御パケットの量、転送成功率、遅延時間を従来手法である ZRP と比較した結果である。

図1より提案手法の IEZRP は、ZRP より制御パケットの量を大幅に削減できていることがわかる。ZRP では、ゾーン半径(ZR)を1~5まで変化させたときの制御パケットの量を示している。一方提案手法の IEZRP は、ネットワークの状況に適応させて、最適なゾーン半径を求めて動作するプロトコルであるので ZRP のどのゾーン半径の場合よりも特性が優れていることがわかる。また、プロトコルの設計でも述べたように、ゾーン内に関しては、ノードの移動に応じて制御パケットを送出することにより制御パケットの量を削減できた。さらにゾーン外では信頼値を用いることにより制御パケットの量を削減するが可能となった。

図2や図3の特性も制御パケット量を削減することにより転送成功率や遅延特性が ZRP よりも優れたものとなっている。

図4と図5は、提案手法の基本的な部分を実機に実装(テストベッド)してノードが静止した場合と移動した場合の転送成功率やスループット特性を求めた図である。図より提案手法の方が ZRP よりノードが静止している場合と移動している場合の両方に関して優れた特性を示していることがわかる。

また、図6は実際にパケットの流れの可視化を行った図である。可視化をすることによりプロトコルの動作を確認することができた。

以上より考案したルーティングプロトコルは、制御パケットの量を飛躍的に削減でき更にネットワーク効率の良いプロトコルであることが、シミュレーションとテストベッドの両方で確認することができた。

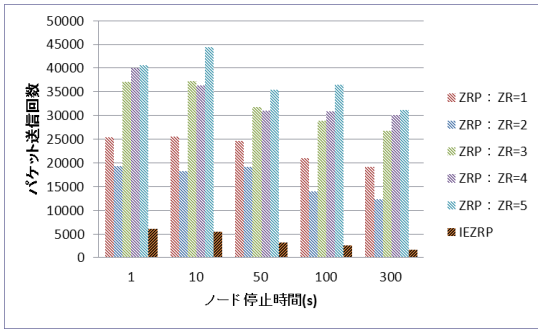


図1 制御パケット量の比較 (シミュレーション)

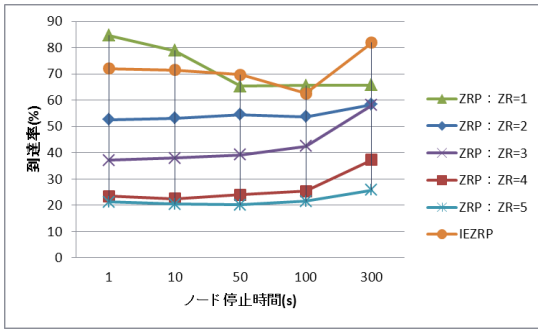


図2 転送成功率 (到達率) の比較 (シミュレーション)

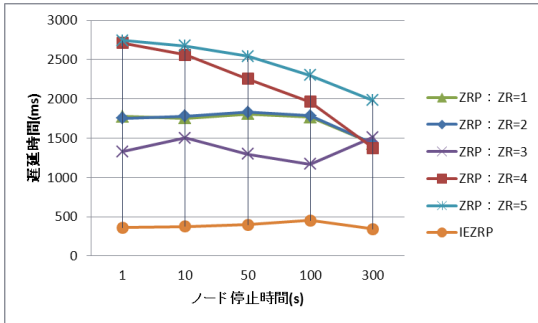


図3 遅延時間の比較 (シミュレーション)

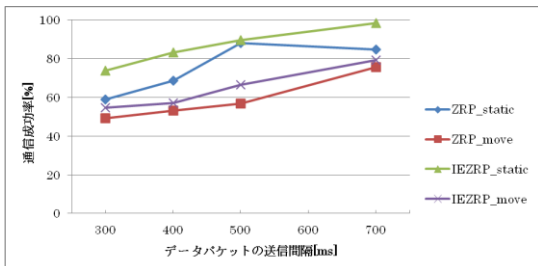


図4 通信成功率の比較(テストベッド)

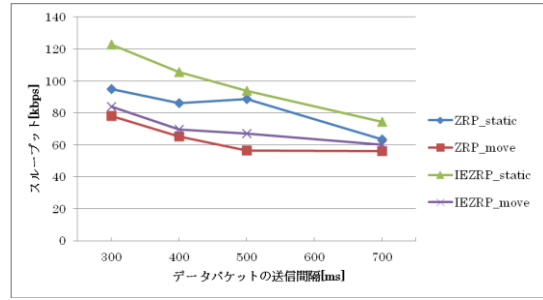


図5 スループット特性(テストベッド)

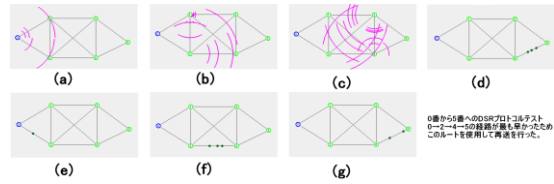


図6 パケットの流れの可視化

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7件)

- ① Y. Sato, A. Koyama, L. Barolli, IEZRP: an improved enhanced zone-based routing protocol for MANETs and its performance evaluation, International Journal of Space-Based and Situated Computing, 査読有, Vol.1, No.4, 2011, pp.213-221.
- ② A. Durresi, L. Barolli, A. Koyama, M. Takizawa, Ubiquitous QoS Communications Using Scalable Satellite Networking, International Journal of Pervasive Computing and Communications, 査読有, Vol.6, No.2, 2010, pp.214-228.
- ③ A. Koyama, L. Barolli, Y. Okada, N. Kamibayashi and N. Shiratori, Performance Evaluation of Wavelength Assignment Methods for WDM Networks, International Journal of Applied Systemic Studies, 査読有, Vol.3, No.1, 2010, pp.16-27.
- ④ G. Mino, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi and A. Koyama, Implementation and performance evaluation of two fuzzy-based handover systems for wireless cellular networks, Mobile Information Systems, 査読有, Vol.5, No.4, 2009, pp.339-361.
- ⑤ L. Barolli, A. Koyama, Y. Honma, A. Durresi and J. Arai, Performance evaluation of selective-border-casting zone

routing protocol for ad-hoc networks, International Journal Wireless and Mobile Computing, 査読有, Vol.3, No.4, 2009, pp.312-319.

- ⑥ A. Yamazaki, A. Koyama, J. Arai and L. Barolli, Design and Implementation of a Ubiquitous Health Monitoring System, International Journal of Web and Grid Services, 査読有, Vol.5, No.4, 2009, pp.339-355.
- ⑦ G. Mino, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi and A. Koyama, Implementation and performance evaluation of two fuzzy-based handover systems for wireless cellular networks, Mobile Information Systems, 査読有, Vol.5, No.4, 2009, pp.339-361.

[学会発表] (計 23 件)

- ① H. Suzuki and A. Koyama, Implementation and Evaluation of a Real Object-Oriented Communication Method for Ad-Hoc Networks, IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Application (AINA2012), pp.906-911, 2012.3.29, 福岡工業大学 (福岡県福岡市) .
- ② 佐藤佑樹, 小山明夫, ネットワーク環境における最適ゾーン半径を考慮したMANET用ゾーン型ルーティングプロトコル, 情報処理学会全国大会, 2012.3.7, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市) .
- ③ 佐藤翔平, 小山明夫, MANET 用可視化システムの提案と評価, 情報処理学会全国大会, 2012.3.7, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市) .
- ④ A. Koyama, R. Watanabe, L. Barolli and M. Takizawa, R-MAC: A MAC Protocol for Power Reduction in Wireless Sensor Networks Based on Load Estimation and Its Performance Evaluation, International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS 2011), pp.115-121, 2011.11.30, 福岡工業大学 (福岡県福岡市) .
- ⑤ H. Osanai, A. Koyama, L. Barolli, An Implementation and Evaluation of Zone-Based Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks, International Workshop on Information Technology for Innovative Services (ITIS2011), 2011.9.8, Tirana (Albania).
- ⑥ 長内春樹, 小山明夫, アドホックネットワーク用ゾーン型ルーティングプロトコルの実装と性能評価, 電子情報通信学会アドホックネットワーク研究会, 2011.7.15, 京都大学 (京都府京都市).
- ⑦ S. Sato, A. Koyama and L. Barolli, MANET-Viewer II: A Visualization System for Visualizing Packet Flow in Mobile Ad-hoc Networks, IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Application Workshops (AINAWS2011), 2011.3.22, Singapore.
- ⑧ Y. Sato, A. Koyama and L. Barolli, A Zone Based Routing Protocol for Ad Hoc Networks and Its Performance Improvement by Reduction of Control Packets, International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2010), 2010.11.4, 福岡工業大学 (福岡県福岡市) .
- ⑨ M. Nomata, A. Koyama and L. Barolli, A Multicast Routing Protocol for Reduction of Relay Nodes in MANETs, International Conference on Network Based Information Systems (NBIS2010), 2010.9.15, 飛騨・世界生活文化センター (岐阜県高山市) .
- ⑩ A. Koyama, K. Kamakura and L. Barolli, MANET-Viewer: A Visualization System for Mobile Ad-hoc Networks, International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA-2009), 2009.12.15, Kuala Lumpur (Malaysia)

[その他]

ホームページ等

<http://elfgw.yz.yamagata-u.ac.jp/lab/index.html>

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