

機関番号：37112

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700089

研究課題名(和文)無線メッシュネットワークのための多種多様な環境を考慮した確率論的経路制御手法

研究課題名(英文) Stochastic Routing Method for Wireless Mesh Networks Considering Heterogeneous Environments

研究代表者

池田 誠 (Ikeda, Makoto)

福岡工業大学・情報工学部・准教授

研究者番号：10592941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、多種多様な端末で構成する無線メッシュネットワーク通信の実現のために、無線メッシュネットワークの経路制御手法について検討を行う。評価手法としてネットワークシミュレータを用いて提案手法を実装する。メッシュルータの配置最適化問題にヒューリスティック手法を取り入れてルータの最適な配置について議論した。端末間のパケット到着率と各端末のリソース状態から、最適経路を導出するための制御手法について議論している。また、車両間通信、路車間通信に応用するための提案システムの評価を行った。結果として、ヒューリスティック手法を用いた本システムは様々なネットワークに応用することができることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, we investigate a routing method for wireless mesh network that consists of various nodes. We implement a proposed system considering network simulator as evaluation method. We discuss the performance of the proposed system which is based on heuristic approaches to find an optimal location assignment for mesh routers. Also we discuss the control method to find the optimal route considering packet delivery ratio and network resources. Moreover, we evaluate the performance of the proposed system to apply inter-vehicle communication and road-to-vehicle communication. From this research, we found our system can be applied to various network.

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：無線メッシュネットワーク ヒューリスティック手法 遺伝的アルゴリズム 無線ネットワーク 最適化配置

1. 研究開始当初の背景

無線通信装置の複数の無線通信のサポートが可能になり、移動体への高速な転送を実現するため無線メッシュネットワークを用いたサービス提供が事業化されている。これはメッシュノードの設計が複数の無線カードのサポート、モジュールの向上により異なる通信システムをサポートできるようになった。これにより、ノードのみで自律分散的に構成するネットワークとそのゲートウェイとしてメッシュノードを複数接続する無線メッシュネットワークが注目された。このネットワークでは多種多様なクライアントを考慮する経路制御機構が必要であり、通信品質に加えエンドユーザが感じるサービス品質 (QoE: Quality of Experience) が要求される。

2. 研究の目的

本研究では、多種多様な端末で構成する無線メッシュネットワーク通信の実現のために、無線メッシュネットワークの経路制御および電力制御について検討を行う。シミュレーションシステムとしてネットワークシミュレータを用いて提案手法を実装する。端末間のパケット到着率と各端末のリソース状態から、最適経路を導出するための制御手法について評価を行っている。また、車両間通信、路側機を介した路車間通信等に应用するための提案システムの評価を本研究の目的とした。

3. 研究の方法

メッシュネットワークにおいてメッシュルータの配置箇所は重要であり、カバレッジエリアは広域且つ運用面から考えると耐障害性が高いシステムが要求される。さらに、メッシュネットワークを提供する事業者側は、低コストで広域をカバーし、多くのユーザ (クライアント) を收容する能力があることが理想である。そのため本研究では通信システムの評価指標として複数のパラメータを考慮することが可能なヒューリスティック手法を採用することで、既存の配置問題を克服した経路制御を目指している。

(1) メッシュルータ配置システム

メッシュルータ配置問題は NP 完全問題であり、解決するのは困難であることが示されている。本研究では遺伝的アルゴリズム、山登り法、焼き鈍し法を考慮するシミュレーションシステムを実装し、メッシュルータ配置問題を解決するための手法を提案する。さらに、メッシュルータで構成するメッシュネットワークのバックボーンにおける通信品質を検証するためにネットワークシミュレータを利用した評価を行う。この評価では、複数のシミュレータ (ns-3、QualNet) による評価を行うことで信頼性の向上を図っている。

(2) ルータ配置箇所における環境特性評価

福岡工業大学キャンパス内でテストベッドを作成し、周辺環境における通信特性を明らかにする評価をシミュレーションと併せて実施することで、メッシュネットワークの運用時の問題点を調査する。モデル図を図 1 に示す。



図 1 シナリオの 3D モデル

(3) 車両間通信と路者間通信への応用

福岡市の天神エリアにおける、電波伝搬特性についてメッシュルータ (図 2 中では AP) を配置したときの経路制御手法について調査を行った。応用例として広告情報の配信を目的として車両間通信モデルを実装し評価している。

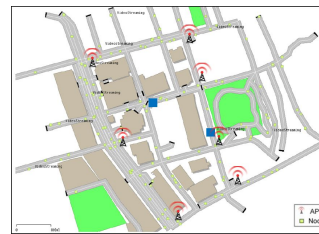


図 2 市街地モデル

4. 研究成果

(1) メッシュルータ配置システム

複数のパラメータを考慮しメッシュルータを配置するため、本研究ではヒューリスティック手法の遺伝的アルゴリズム、山登り法、焼き鈍し法を採用した。これらの手法をシミュレーションシステムに実装し、様々な環境における評価を実施した。図 3 には遺伝的アルゴリズムを用いたメッシュルータの配置最適化結果を示す。この最適化では、メッシュルータの接続数とクライアントのカバレッジに重み付けすることで環境における要求条件に対応できるようにしている。シミュレーションの初期条件として、 32×32 のグリッド領域上に、クライアントを配置する。遺伝子コーディングはこのグリッドを配列に置き換えて実装し、各遺伝オペレータ処理を適用している。前世代のエリートのうち評価の高い個体をエリート個体として保存する。

図 4 の結果からメッシュルータの接続数とクライアント数は世代を重ねるごとに増え、20 世代には全てのメッシュルータが接続した状態で収束していることが確認できる (青線)。図 4 (a) は一般的な進化結果を表し、メッシュクライアントのカバレッジ (赤線) は世代毎に増え 70 世代を超えるとほとんどのメッシュクライアントがルータと接続した状態で収束している。図 4 (b) はローカルミニマムの回避が可能なことを示している。この結果は、メッシュルータの初期位置が起因し遺伝オペレータで良い個体を次世代に

残すことが出来ず、世代数が 30~90 で初期収束してしまいローカルミニマムとなった。しかし、世代数が 90 を超えたときに交叉と突然変異によりローカルミニマムから脱出しているのが確認できる。

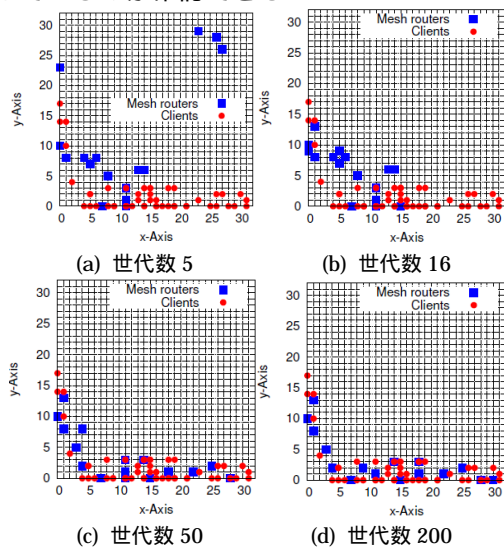


図 3 各世代におけるメッシュルータの配置

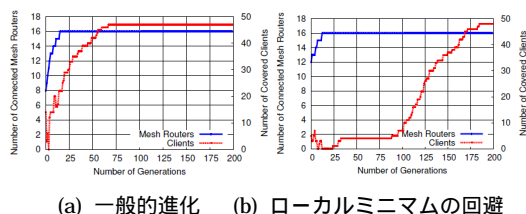


図 4 世代数の進化における評価指標の推移

このようにヒューリスティック手法を用いた本システムは、メッシュルータ配置箇所の最適化にメッシュルータの接続数とクライアントのカバレッジに重みを置くことで満足な結果を得ることができた。

メッシュルータの接続数の検証では、世代数が 5 と 200 のときに得られたメッシュルータの配置を用いて評価した結果、世代数を重ねたコンポーネントの通信性能は世代数が若いときと比較して、高い性能を得ることができることを確認している。

イベント会場をランダムに移動するクライアントを考慮したシナリオ (図 5 参照) を作成し上述したシステムの再評価を行った。

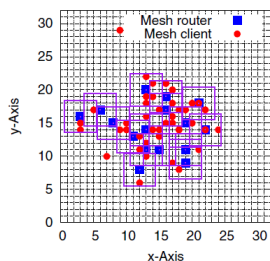


図 5 最適化後のメッシュルータ配置

このネットワークにおける通信特性結果を図 6~7 に示す。移動による影響とノード間で管理している経路表の差異により通信品質が低下するのを確認している。また、ネ

ットワーク内のトラフィック数が増えたときに中継端末に負荷が集中してしまい平均スループットの大きな改善は見られなかった。そこで、中継端末に通信の集中を避けるために代替経路を考慮したメッシュルータ配置の最適化が今後の課題となっている。

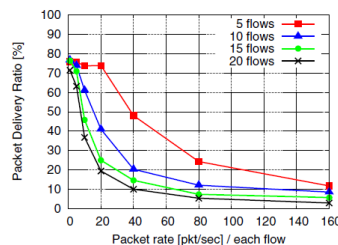


図 6 パケット配送率 (中央値) の結果

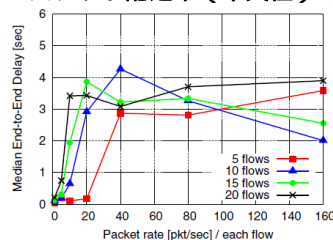


図 7 遅延時間 (中央値) の結果

この結果より、本手法はメッシュルータ配置問題を解決することを明らかにした。

(2) ルータ配置における環境特性評価

福岡工業大学キャンパス内でテストベッドを作成し、周辺環境における通信特性を明らかにする評価をシミュレーションと併せて実施した。結果を図 8 に示す。ルータの配置数を増やすことなく配置箇所を変更することによってキャンパス内の人々が移動する動線上でのカバレッジエリアを拡大することができた。さらに、通信シミュレーションを行うことにより運用時のボトルネックとなる箇所をスループットと受信電力を用いて明らかにした。

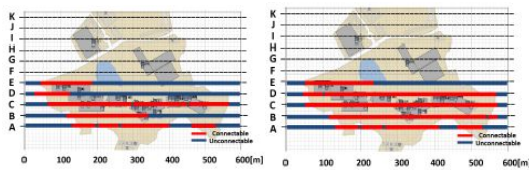
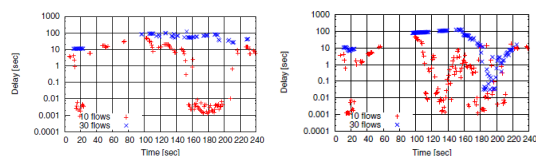


図 8 カバレッジエリア比較

(3) 車両間通信と路者間通信への応用

福岡市の天神エリアにおける、電波伝搬特性について構造物とメッシュルータ (AP) 配置における経路制御手法について広告配信を目的とし議論している。図 9 には構造物と遅延時間の結果を示す。フロー数が増えた場合、メッシュネットワークによる通信遅延を抑制することを確認した。このシステムは限定された地域のみでなく、地図情報を Open Street Map からインポートすることが可能であるため、様々な地域におけるネットワー

ク特性を評価することができる。ただし、ネットワークによってはクライアント（目的の車両）にデータを送る場合、車両間通信においてはデータを100%送る必要がないものや、高速にクライアントが移動するため、経路を選択する場合やアクセスポイントを配置する箇所にさらなる工夫が必要である。



(a)構造物 (b) 構造物+AP 有

図 9 遅延時間の比較

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10件)

S. Sakamoto, E. Kulla, T. Oda, M. Ikeda, L. Barolli and F. Xhafa, "A comparison study of Hill Climbing, Simulated Annealing and Genetic Algorithm for node placement problem in WMNs," *Journal of High Speed Networks*, Vol. 20, No. 1, pp. 55-66, February 2014. (DOI 10.3233/JHS-140487). (査読有)

S. Sakamoto, E. Kulla, T. Oda, M. Ikeda, L. Barolli and F. Xhafa, "Performance evaluation considering iterations per phase and SA temperature in WMN-SA system," *Mobile Information Systems*, 10 pages, November 2013. (DOI 10.3233/MIS-130187). (査読有)

E. Kulla, M. Ikeda, T. Oda, L. Barolli, F. Xhafa and A. Biberaj, "Experimental results from a MANET testbed in outdoor bridge environment considering BATMAN routing protocol," *Journal of Computing*, Vol. 95, Issue 10-11, pp. 1073-1086, October 2013. (DOI 10.1007/s00607-012-0225-9). (査読有)

T. Oda, A. Barolli, F. Xhafa, L. Barolli, M. Ikeda and M. Takizawa, "WMN-GA: A Simulation System for WMNs and Its Evaluation Considering Selection Operators," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, Vol. 4, Issue 3, pp. 323-330, June 2013. (Published online: January 2012) (DOI 10.1007/s12652-011-0099-2). (査読有)

M. Ikeda, "End-to-End Single and Multiple Flows Fairness in Mobile Ad-hoc Networks," *Journal of Mobile Multimedia*, Vol. 8, No. 3, pp. 204-224, November 2012.

(<http://www.rintonpress.com/journals/jmmonline.html#v8n3>). (査読有)

M. Ikeda, "Analysis of Mobile Ad-hoc Network Routing Protocols Using Shadowing Propagation Model," *International Journal of Space-Based and Situated Computing*, Vol. 2, No. 3, pp. 139-148, September 2012. (DOI: 10.1504/IJSSC.2012.048895). (査読有)

E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, B. Kamo, R. Miho, "Performance comparison of BATMAN and AODV protocols for source and destination moving scenarios," *Comput. Syst. Sci. Eng.*, Vol. 27, No. 3, May 2012. (査読有)

T. Oda, A. Barolli, F. Xhafa, L. Barolli, M. Ikeda and M. Takizawa, "Performance Evaluation of WMN-GA for Different Mutation and Crossover Rates Considering Number of Covered Users Parameter," *Mobile Information Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-16, February 2012. (DOI 10.3233/MIS-2011-0128). (査読有)

E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda and L. Barolli, "Performance Comparison of OLSR and BATMAN Routing Protocols by a MANET Testbed in Stairs Environment," *International Journal of Computers and Mathematics with Applications (CAMWA)*, Vol. 63, No. 2, pp. 339-349, January 2012. (DOI 10.1016/j.camwa.2011.07.035). (査読有)

M. Ikeda, L. Barolli, M. Hiyama, E. Kulla and M. Takizawa, "Performance Evaluation of MANET Routing Protocols: Simulations and Experiments", *Computing and Informatics (CAI)*, Vol. 30, No. 6, pp. 1147-1165, 2011 (<http://www.cai.sk/ojs/index.php/cai/article/viewArticle/809>). (査読有)

[学会発表](計14件)

M. Ikeda, 他4名, "Analysis of WMN-GA Simulation Results: WMN Performance Considering Stationary and Mobile Scenarios," *The IEEE 28-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA 2014)*, pp. 337-342, Victoria, Canada, May 13-16, 2014.

M. Ikeda (第4著者), 他5名, "FBMIS: A Fuzzy-Based Multi-Interface System for Cellular and Ad hoc Networks," *The IEEE 28-th International Conference*

on Advanced Information Networking and Applications (IEEE AINA 2014), pp. 180-185, Victoria, Canada, May 13-16, 2014.

坂本真仁, 小田哲也, クラ エリス, バロリ レオナルド, 池田 誠, "WMN-SA システムの評価:メッシュクライアント密度がメッシュルータ配置最適化に与える影響," 情報処理学会, 第 158 回マルチメディア通信と分散処理研究発表会 (DPS-158), 明治大学中野キャンパス (東京都), 2014 年 3 月 6-7 日.

T. Honda, M. Ikeda, 他 3 名, "Effect of Buildings in VANETs Communication; Performance of OLSR Protocol for Video Streaming Application," The 8-th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013), pp. 323-327, Compiègne, France, October 28-30, 2013.

M. Ikeda, 他 4 名, "Effect of Roadside APs in VANETs: A Comparison Study," The 8-th International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013), pp. 432-436, Compiègne, France, October 28-30, 2013.

坂本 真仁, 小田 哲也, バロリ レオナルド, 池田 誠, "フェイズ毎の繰り返し回数と温度パラメータを考慮した WMN-SA の性能評価," 情報処理学会, 第 157 回マルチメディア通信と分散処理研究発表会 (DPS-157), 館山寺サゴロイヤルホテル (静岡県), 2013 年 10 月 17-18 日.

T. Honda, M. Ikeda, and L. Barolli, "Performance Analysis of User Connectivity by Optimizing Placement of Wireless Access Points," The 3-rd International Workshop on Information Networking and Wireless Communications (INWC 2013), pp. 488-493, Gwangju, Korea, September 4-6, 2013.

T. Honda and M. Ikeda, "Improvement of Wireless LAN Connectivity by Optimizing Placement of Wireless Access Points," Lecture Notes in Electrical Engineering: Information Technology Convergence, Security, Robotics, Automations and Communication, Springer, Vol. 253, No. 1, pp. 29-36, Fukuoka, Japan, July 8-10, 2013. (DOI 10.1007/978-94-007-6996-0)

M. Ikeda, 他 5 名, "Analysis of WMN-GA Simulation Results: WMN Performance Optimizing the Number of Mesh Routers," The 7th International

Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2013), pp. 157-163, Taichung, Taiwan, July 3-5, 2013.

M. Ikeda, 他 5 名, "Analysis of WMN-GA Simulation Results:WMN Performance Considering Hot-spot Scenario," The IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2013), pp. 318-324, Barcelona, Spain, March 25-28, 2013.

M. Ikeda (第 5 著者), 他 5 名, "A Fuzzy-based Data Replication System for QoS Improvement in MANETs," The 10th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2012), pp. 293-300, Bali, Indonesia, December 3-5, 2012. 小田哲也, 坂本真仁, 池田 誠, バロリ レオナルド, "多目的遺伝的アルゴリズムを用いたメッシュルータ配置における様々な遺伝的オペレータの検討," 信学技報, モバイルマルチメディア通信研究会 (MoMuC), Vol. 112, No. 308, pp. 27-31, 福岡工業大学 (福岡県) 2012 年 11 月 21-22 日.

池田 誠, "[招待講演]無線メッシュネットワークの研究動向と将来," 信学技報, モバイルマルチメディア通信研究会 (MoMuC), Vol. 112, No. 308, pp. 21-26, 福岡工業大学 (福岡県) 2012 年 11 月 21-22 日.

M. Ikeda, 他 5 名, "Performance Evaluation of WMN Considering Number of Connections Using NS-3 Simulator," The Third International Workshop on Methods, Analysis and Protocols for Wireless Communication (MAPWC 2012), pp. 498-502, Victoria, Canada, November 12-14, 2012.

〔その他〕

個人ホームページ

<http://ikdlab.ce.fit.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 誠 (IKEDA, Makoto)

福岡工業大学・情報工学部・准教授

研究者番号: 1 0 5 9 2 9 4 1

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし