

学位被授与者氏名	池田 誠 (Makoto Ikeda)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 2 1 号
学位授与年月日	平成 2 2 年 3 月 2 0 日
論文題目	MANET テストベッドの実装とその性能分析
論文題目 (英訳または和訳)	Implementation of a MANET Testbed and Its Performance Evaluation
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 バロリカルト 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 松永 利明 同審査委員: 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 内田 一徳 同審査委員: 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 後藤 穂積
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (和文)	<p>近年、アドホックネットワーク、センサネットワーク、車々間ネットワークなどの無線マルチホップネットワーク技術が注目されている。特に無線マルチホップネットワークの中核をなすMANET (モバイルアドホックネットワーク) の研究は盛んに行われている。MANETの経路制御プロトコル、実証実験及びアプリケーションの開発は重要な研究テーマとなっている。本研究では、屋内・屋外にMANETのテストベッドを構築し、経路制御プロトコルの性能評価を行った。無線マルチホップネットワーク上での経路制御は複雑であり、多くのプロトコルは経路制御を行う際に近隣ノード情報を利用する。MANETは一般的なネットワークとは異なり、ノードはネットワークの情報を事前に知ることができない。さらに、利用中の経路が突然使用不可になり、経路切り替えが発生することがある。</p> <p>本研究ではMANETテストベッドの実装と計算機シミュレーションシステムの構築を行い、MANETにおける様々な問題と課題を検証することを目指す。ネットワークトポロジにおける最適なアルゴリズムの有効性を実証し、端末の移動による経路制御プロトコルの振舞いとスループットへの影響を調査する。また、MANETでのアプリケーションの開発について検証を行う。</p> <p>経路制御プロトコルとしてOLSRとB. A. T. M. A. N. を利用し、屋内・屋外の環境におけるスループットの影響について、ネットワークトポロジ、プロトコルのリンクメトリックについて分析を行った。実験結果の分析手法として、ノンパラメトリック検定のKruskal-Wallis検定を利用し、データの本質的な異なりを仮説検定することにより、実験データの信頼性を高める手法を提案した。さらに、ノードの移動を考慮した実験モデルをテストベッドに実装し、経路制御プロトコルのパラメータによる影響を考察した。評価パラメータとしてスループット、往復遅延時間、パケット棄却率、ジッタを考慮した。</p> <p>本研究の成果により、MANETの経路制御プロトコルの標準化に大きな意味を持つ。また、我々のテストベッドは多種のトポロジモデルとプロトコルを想定し、屋内・屋外を考慮しているため他の研究とは本質的に異なっている。データ分析手法として、検定を用いるので信頼性を高めている。また、シミュレーションと実環境での比較を行いスループット向上の解決を対象としている。本研究はアドホックネットワークを効果的に活用可能なアプリケーションを実現する基盤を確立するために不可欠である。そして、GUIツールの実装によりユーザビリティの向上が図れ、同じマルチホップ技術を利用するセンサアクタネットワークや車々間ネットワークなどの技術にも役に立つ。</p> <p>本論文の構成は次のようになる。第1章では序論として研究背景、目的及び論文構成を述べる。第2章では関連研究を述べ、第3章では近年活発に研究がされている無線ネットワークについて述べる。第4章では、提案するアドホックネットワークのためのテストベッドについて説明し、実装したソフトウェア及びデータ分析ツールについて述べる。第5章から第9章では各実験においてそれぞれ目的を設定し実験結果を述べる。そして、最後にむすびとして第10章で結論と今後の研究課題を述べる。</p>
論文内容の要旨 (英文)	In recent years, wireless multi hop networks such as ad hoc networks, sensor networks, and vehicular networks have been very important subject for research. In Mobile Ad hoc Network (MANET), because of their characteristics such as the

mobility and energy saving, new routing protocols and algorithms are needed. Also, the implemented routing protocols should be evaluated in real environment in order to be used in real applications of MANETs. In this paper, we implemented a MANET testbed and we evaluated its performance in in-door and out-door scenarios. We found that the routing algorithm is very complex in wireless multi hop networks and most of the implemented protocols use for route control the neighbor nodes information. In MANET networks different from other networks, the nodes do not know the network information in advance and also the topology of the network can be changed anytime based on node movement.

In order to deal with these problems, we implement MANET testbed and a simulation system. We investigate many MANETS's problems and discuss how to solve them. We test the effectiveness of optimized routing algorithms considering the network topology. We investigate the effect of node movement on routing protocols and the network throughput. Also, we show application tool for easy use of the implemented MANET testbed.

The contribution of our work is as follows. We present the implementation and evaluation of our testbed considering mobility and topology changing in indoor and outdoor scenarios using OLSR and B.A.T.M.A.N. protocols. We proposed and implemented a nonparametric hypothesis test called Kruskal-Wallis test for scalable evaluation of MANET experiments. Moreover, we investigate the effect of routing protocols parameters considering node movement. We assess the performance of our testbed in terms of throughput, round trip time, jitter and packet loss.

The results of our research work will be very important for the standardization of MANET routing protocols in real environment. Our testbed different from other works considers various topologies and protocols. We also consider the interaction between routing protocols and MAC protocols. Furthermore, we show that the implemented GUI tool makes easy to use the implemented MANET testbed. The results of this work can be very useful for sensor networks and vehicular networks.

The organization of this thesis is as follows. In the first Chapter, we present the background, motivation, and structure of the thesis. In the second Chapter, we introduce the related work. In the third Chapter, we give a brief introduction of wireless networks. In the fourth Chapter, we present our testbed design, implementation software and statistical test tool. From fifth to ninth Chapters, we present the experimental evaluation of our MANET testbed for different scenarios. Finally, in tenth Chapter, we give the conclusions and future work.

論文審査結果

博士後期課程知能情報システム工学専攻3年の「池田 誠」氏が提出した学位論文を審査し、また最終試験を行ったのでその結果について報告する。

<学位論文審査の結果>

本論文では無線アドホックネットワークにおける様々な問題と課題について、屋内・屋外でテストベッドによる検証を行い、最適なアルゴリズムの有効性を実証した。また、移動端末による経路制御プロトコルのスループットへの影響について研究を行った。さらに、実験分析手法としてノンパラメトリック手法であるKruskal-Wallis検定を提案し、実験データによって様々なパラメータへの影響を判定することを可能にした。これらは、他の研究者によって報告されていない新規性を有する内容であり、学位論文としての価値が十分あると認められるところである。本論文の構成は9章からなっている。第1章では、研究の背景と目的、各章の概要が述べられている。第2章では、関連研究と従来の問題点や本研究との相違点が述べられている。第3章では、無線ネットワーク分野の基本的な技術について述べている。第4章では、本論文の主要な部分である実装したテストベッドシステム、GUIツールおよび提案のデータ分析手法について述べている。さらに第5章から第9章では、それぞれの実験目的を明確に設定し、その実験結果について

	<p>も説明を加えている。最後に第10章では、本論文のまとめが述べられている。</p> <p>アドホックネットワークプロトコルでは、種々の利用環境において端末の移動・離脱・参加などの制約を考慮し、ネットワーク資源をできるだけ有効利用するように経路制御を行うことが重要である。本論文の結果によれば、これらの諸制約とネットワークへの影響が実験的に確認されており、これからのアドホックネットワーク技術の進展にも寄与できるものと思われる。本研究の成果として、学術論文は第1著者4編、国際会議は第1著者7編となっている。NBIS-2008国際会議ではBest Paper賞を受賞しており、本研究が世界的に重要視されているのが分かる。また、提出者は日本学術振興会特別研究員にも採用されており、本研究の新規性と有用性は高く評価されていると言える。</p> <p>以上の理由により、審査委員会は提出論文が学位論文の内容として適合すると判定した。</p> <p>学位論文公聴会においては、論文内容に関連する種々の工学的及び技術的な質問があったが、いずれも適切な回答を行うことができた。また公聴会後の最終試験においては、学位論文に関連する分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力を備えていることが判明した。</p> <p>以上の結果から、学位審査委員会はこの論文が博士（工学）の学位に適格であると判定した。</p>
<p>主な研究業績</p>	<p>参考論文 49編1冊（第一著者：16編1冊）</p> <p>(学術論文：第一著者)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>M. Ikeda</u>, L. Barolli, A. Koyama, A. Durrresi, G. De Marco, and J. Iwashige, "Performance Evaluation of an Intelligent CAC and Routing Framework for Multimedia Applications in Broadband Networks", Journal of Computer and System Science, Vol. 72, Issue 7, pp. 1183-1200, November 2006. 2. <u>池田 誠</u>, バロリ レオナルド, 小山 明夫, 滝沢 誠, "ヒューリスティック手法を用いた階層型 QoS 経路制御手法", 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 2, pp. 692-705, 2008. 3. <u>M. Ikeda</u>, G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, "Performance Analysis of an Ad Hoc Network for Emergency and Collaborative Environments", Journal of Telecommunication Systems Vol. 38, No. 3-4, pp. 133-146, 2008. 4. <u>M. Ikeda</u>, G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, A. Durrresi, F. Xhafa, "Tools for Performance Assessment of OLSR Protocol", Journal of Mobile Information Systems, Vol. 5, No. 2, pp. 165-176, 2009. <p>(国際会議：第一著者)</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. <u>M. Ikeda</u>, L. Barolli, S. Ohba, G. Capi, A. Koyama, M. Durrresi, "A CAC and Routing Framework for Multimedia Applications in Broadband Networks Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm", Proc. of IEEE 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS-2005), Fukuoka, Japan, Vol.1, pp.648-654, July 2005. 6. <u>M. Ikeda</u>, L. Barolli, G. De Marco, A. Durrresi, A. Koyama, M. Durrresi, "Evaluation of a Network Extraction Topology Algorithm for Reducing Search Space of a GA-based Routing Approach", Proc. of IEEE MNSA-2006/ ICDCS-2006, Lisbon, Portugal, CD-ROM, 6 pages, July 2006. 7. <u>M. Ikeda</u>, G. De Marco, L. Barolli, "A Simple Statistical Methodology for Testing Ad-hoc Networks", Proc. of NBIS-2007, Regensburg, Germany, pp. 1-10, September 2007. 8. <u>M. Ikeda</u>, G. De Marco, L. Barolli, M. Takizawa, "A BAT in the Lab: Experimental Results of New Link State Routing Protocol", Proc. IEEE AINA-2008, Okinawa, Japan, pp. 295-302, March 2008. 9. <u>M. Ikeda</u>, L. Barolli, G. De Marco, T. Yang and A. Durrresi, "Experimental and Simulation Evaluation of OLSR Protocol for Mobile Ad-hoc Networks", Proc. of NBIS-2008, Turin, Italy, pp. 111-121, September 2008. <p>(Best Paper Award)</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. <u>M. Ikeda</u>, L. Barolli, M. Hiyama, G. De Marco, T. Yang and A. Durrresi, "Performance Evaluation of Link Quality Extension in Multihop Wireless Mobile Ad-hoc Networks", Proceedings of the Third International Conference on Complex, Intelligent and Software

11. M. Ikeda, L. Barolli, M. Hiyama, T. Yang, G. De Marco and A. Durresi, "Performance Evaluation of MANET Testbed for Different Topologies", Proc. of 12th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2009), Indianapolis, pp. 327-334, August 2009.

(研究会技術報告：第一著者)

12. 池田 誠, バロリ レオナルド, 大庭 将平, 小山 明夫, "効率的なトポロジー検出のための Search Space Reduction Agent の性能評価", 第 58 回電気関係学会九州支部連合大会, pp. 397 (10-1A-11), September 2005.
13. 池田 誠, バロリ レオナルド, 大庭 将平, デマルコ ジュゼッペ, 小山 明夫, "マルチエージェントシステムの効率的なトポロジー検出アルゴリズムの性能評価", マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS-2005), IPSJ Symposium Series, Vol. 2005, pp. 81-85, November 2005. (査読あり)
14. 池田 誠, デマルコ ジュゼッペ, 楊 涛, バロリ レオナルド, "MANET Testbed の構築とその性能評価", 情報処理学会研究報告, 2007-DPS-130/ 2007-CSEC-36, Vol. 2007, No. 16, pp. 111-116, March 2007.
15. 池田 誠, デマルコ ジュゼッペ, 楊 涛, バロリ レオナルド, "屋内環境における OLSR と B.A.T.M.A.N プロトコルの性能分析", 情報処理学会研究報告, 2007-DPS-132, Vol. 2007, No. 91, pp. 43-48, September 2007.
16. 池田 誠, デマルコ ジュゼッペ, 肥山 昌弘, バロリ レオナルド, "MANET テストベッドのモビリティによるスループットの影響", マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS-2008), IPSJ Symposium Series, Vol. 2008, No. 14, pp.31-36, December 2008. (査読あり)

参考論文

(学術論文)

17. T. Yang, G. De Marco, M. Ikeda, L. Barolli, "Impact of Radio Randomness on Performances of Lattice Wireless Sensors Networks based on Event-Reliability Concept", International Journal of Mobile Information Systems, Vol. 2, No. 4, pp. 211-227, 2006.
18. L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, A. Durresi, A.Koyama, and J. Iwashige, "A Search Space Reduction Algorithm for Improving the Performance of a GA-based QoS Routing Method in Ad-Hoc Networks", International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol.3, Issue 1, pp. 41-57, January 2007.
19. G. De Marco, T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Event-Detection with Shadowing-Induced Radio Irregularities", International Journal of Mobile Information Systems (MIS), Vol. 3, No. 3/4, pp. 251-266, 2007.
20. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, A. Durresi, F. Xhafa, "Performance Evaluation of Reactive and Proactive Protocols for Ad-Hoc Sensor Networks Using Different Radio Models", Journal of Interconnections Networks (JOIN), Vol. 8, No. 4, pp. 387-405, December 2007.
21. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco and A. Durresi, "Performance Evaluation of a Wireless Sensor Network for Mobile and Stationary Event Cases Considering Routing Efficiency and Goodput Metrics", Journal of Scalable Computing: Practice and Experience, Vol. 10, No. 1, pp. 99-109, 2009.
22. T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Mobile Event and Mobile Sink", Journal of Mobile Multimedia, Vol. 6, No. 2, 2010.

(国際会議)

23. S. Ohba, L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, A. Durresi, J. Iwashige, " An Effective Topology Extraction Algorithm for Search Reduction Space of GA-based QoS Routing Method in Ad-Hoc Networks", Proc. of 8th ACM International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (I-SPAN), Las Vegas, USA, pp. 400-405, December 2005.
24. T. Yang, G. De Marco, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Analysis of the Event-Reliability Approach for a Lattice Wireless Sensor Network with Radio Irregularities", Proc. of IEEE TENCON-2006, Hong Kong, CD-ROM, 4 pages, November 2006.
25. L. Barolli, M. Ikeda, A. Durresi, F. Xhafa, A. Koyama, "A Distributed QoS Routing and

- CAC Framework: Performance Evaluation of Its SSRA and InterD Agents", Proc. of CISIS-2007, Vienna, Austria, pp. 60-67, April 2007.
26. G. De Marco, M. Ikeda, T. Yang, L. Barolli, "Experimental Performance Evaluation of a Pro-Active Ad-hoc Routing Protocol in Out- and Indoor Scenarios", Proc. of IEEE AINA-2007, Niagara Falls, Canada, pp.7-14, May 2007.
 27. T. Yang, M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, "Performance Behavior of AODV, DSR and DSDV Protocols for Different Radio Modes in Ad-Hoc Sensor Networks", Proc. of ADPNA-2007/ICPP-2007, Xian, China, September 2007.
- (Best Paper Award)**
28. T. Yang, M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, A. Durresi and F. Xhafa, "Routing Efficiency of AODV and DSR Protocols in Ad-Hoc Sensor Networks", Proc. of 28th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS-2008 Workshops), Beijing, China, pp. 66-71, June 2008.
 29. L. Barolli, M. Ikeda, A. Durresi, F. Xhafa and A. Koyama, "Performance Evaluation of Two Search Space Reduction Methods for a Distributed Network Architecture", Proc of NBiS-2008, Turin, Italy, pp. 49-59, September 2008.
 30. L. Barolli, T. Yang, M. Ikeda, A. Durresi and F. Xhafa, "A Simulation System for Routing Efficiency in Wireless Sensor-Actor Networks: A Case Study for Semi-automated Architecture", Proceeding of IEEE 14th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS-2008), Melbourne, Victoria, Australia, pp. 567-574, December 2008.
 31. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, F. Xhafa, R. Miho, "Performance Evaluation of a Wireless Sensor Network Considering Mobile Event", Proceeding of IEEE the 14th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS-2008), Melbourne, Victoria, Australia, pp. 1169-1174, December 2008.
 32. L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, A. Durresi and F. Xhafa, "Performance Analysis of OLSR and BATMAN Protocols Considering Link Quality Parameter", Proc of IEEE AINA-2009, Bradford, UK, pp. 307-314, May 2009.
 33. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, F. Xhafa and A. Durresi, "Performance Analysis of OLSR Protocol for Wireless Sensor Networks and Comparison Evaluation with AODV Protocol", Proc. of 12th International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS-2009), Indianapolis, pp. 335-342, August 2009.
 34. M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, G. De Marco, F. Xhafa and A. Durresi, "Mobility Effects in Mobile Ad hoc Networks", accepted, to appear in Proc. of 1-st International Workshop on Network Traffic Control, Analysis and Applications (NTCAA-2009), Jeju, Korea, Vol. 2, pp. 679-684, December 2009.

(研究会技術報告)

35. T. Gouda, M. Ikeda, L. Barolli, K. Sugita and A. Koyama, "A Comparison Study of Policing Mechanisms for Broadband Networks", Proc. of Multimedia Communications and Distributed Processing Workshop (DPSWS-2004), IPSJ Symposium Series, Vol. 2004, pp. 113-118, December 2004. (査読あり)
36. L. Barolli, T. Gouda, M. Ikeda, K. Sugita and A. Koyama, "A Fuzzy Admission Call Control Scheme for Multimedia Applications", Proc. of Multimedia Communications and Distributed Processing Workshop (DPSWS-2004), IPSJ Symposium Series, Vol. 2004, pp. 37-42, December 2004. (査読あり)
37. 大庭 将平, バロリ レオナルド, 池田 誠, 小山 明夫, "アドホックネットワークのためのトポロジー検出に関する研究とその性能評価", 第 58 回電気関係学会九州支部連合大会, pp. 406, September 2005.
38. 大庭 将平, バロリ レオナルド, 池田 誠, 小山 明夫, "An Effective Topology Extraction Algorithm for Search Reduction Space in Ad-hoc Networks", マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS-2005), IPSJ Symposium Series, Vol. 2005, pp. 194-198, November-December 2005. (査読あり)
39. 福岡 龍一, 池田 誠, バロリレオナルド, デマルコ ジュゼッペ, 小山 明夫, "ネットワークの探索空間を絞り込む SSRA の性能評価", Multimedia, Distributed, Cooperative and Mobile Symposium (DICOMO-2006), IPSJ Symposium Series, 7D2, July 5-7, 2006.
40. バロリ レオナルド, 池田 誠, "多目的最適化 QoS 経路制御のためのエージェント分散型ネットワーク・アーキテクチャ: エージェントの実装と評価", 福岡工業大学情報科学研究所所報, Vol.17, pp. 49-58, October 2006. (査読あり)
41. 楊 涛, 池田 誠, デマルコ ジュゼッペ, バロリ レオナルド, "無線伝播モデルに基づいた無線センサネットワークの性能評価", FIT-2006: 第 5 回情報科学技術フ

オーラム, Fukuoka, Japan, pp. 129-130, September 2006.

42. 楊 涛, デマルコ ジュゼッペ, 池田 誠, バロリ レオナルド, "無線伝搬モデルを利用したセンサネットワークのための DSDV の性能評価", 情報処理学会研究報告, 2007-DPS-130/2007-CSEC-36, Vol. 2007, No. 16, pp. 351-356, March 2007.
43. バロリ レオナルド, 池田 誠, 松永 利明, 杉田 薫, "屋内・屋外における OLSR プロトコルのウィンドウサイズによる性能評価", 福岡工業大学情報科学研究所所報, Vol. 18, pp. 19-26, October 2007. (査読あり)
44. 福岡 龍一, 池田 誠, バロリ レオナルド, デマルコ ジュゼッペ, 小山明夫, "分散ルーティングアーキテクチャにおける絞込みエージェントの性能評価", 情報処理学会研究報告, 2008-DPS-134/2008-CSEC-40, Vol. 2008, No. 21, pp. 55-60, March 2008.
45. 楊 涛, 池田 誠, バロリ レオナルド, "無線伝搬モデルを利用したアドホックセンサネットワークのルーティングの効率の性能評価", DICOMO-2008, Sapporo, Japan, pp. 102-107, July 2008. (査読あり)
46. 肥山 昌弘, 池田 誠, バロリ レオナルド, "屋内におけるモビリティを考慮したアドホック・ネットワーク・テストベッドの性能分析", 第 61 回電気関係学会九州支部連合大会, 11-2A-11, September 2008.
47. 田中 亮達, 池田 誠, デマルコ ジュゼッペ, バロリ レオナルド, "VANET のためのシミュレーション・システムの提案とその評価", 情報処理学会研究報告, 2008-MBL-47/2008-ITS-35, Vol. 2008, No. 107, pp. 93-98, November 2008.

48. 楊 涛, 池田 誠, バロリ レオナルド, "イベントの移動性を考慮した WSNs の性能評価", マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS'2008), IPSJ Symposium Series, Vol. 2008, No. 14, pp. 37-42, December 2008. (査読あり)
49. 肥山 昌弘, 池田 誠, バロリ レオナルド, "トポロジの変化を考慮した MANET テストベッドの性能評価", 情報処理学会研究報告, 2009-DPS-138, Vol. 2009, No. 20, pp. 139-144, March 2009.