

学位被授与者氏名	肥山 昌弘 (Masahiro Hiyama)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第34号
学位授与年月日	平成26年3月20日
論文題目	MANET テストベッドの実装と評価：屋内外環境下における OLSR プロトコルの性能評価
論文題目 (英訳または和訳)	Implementation and Evaluation of a MANET Testbed: Performance Evaluation of OLSR Protocol in Indoor and Outdoor Environments
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 バロレオカト 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 内田 一徳 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 赤木 文男 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 仙波 卓弥
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>モバイルアドホックネットワーク(MANET)は、ルーラルエリアでの通信の補完を目的とした民生用ネットワーク技術として実現を目標に研究が進められている。MANETは、そのネットワークの特徴から高度道路交通システム(ITS)、工場や建築現場、農場、商品倉庫、港湾など様々な利用先が考えられ、マルチホップ通信を利用した車車間ネットワークやセンサ・ネットワークなどそれぞれの環境に特化した応用技術の研究開発も進められている。現在、標準化に向けてテストベッド、エミュレータ、シミュレータの3種類の研究結果を基に開発されている。</p> <p>MANET を評価するためにスループット性能、経路制御効率、セキュリティ、エネルギー消費量が主なパラメータとして挙げられる。本研究では、ノートPCを用いたMANET テストベッド環境を構築・実装し、OLSR 経路制御プロトコルの性能評価やプロトコルのパラメータ調整による移動端末への対応に向けた実験を行った。</p> <p>本稿では、端末の移動が与える影響を調査するため、全端末が静止したモデルと中継端末が移動するモデルの2種類の実験を行い、比較を行った。同周波数帯の使用率が高い場合のスループットの低下を確認し、屋内階段では各階に中継端末が不可欠である事を明らかにした。そして、屋外階段を利用した劣悪な環境下で電波伝搬が原因による不安定な通信を確認した。また、OLSR 経路制御プロトコルの Hello パケットの時間間隔と有効時間を変更し、スループットの変動を確認した。更に、ETX アルゴリズムの二種類の評価を行い、通信の不安定化を明らかにした。</p> <p>従来のMANETの研究では、無線伝搬モデルの影響について考慮しなかった。本研究では、多種のトポロジ、伝搬モデルを考慮し、新たなトレードオフ手法を提案し、MANET テストベッドを実装した。また、MAC プロトコルと経路制御プロトコルの相互作用を考慮している点や使用周波数チャンネルの使用率を測定し、実環境における他の機器からの影響を軽減させた実験を行っている点が、他の研究とは本質的に異なっている。これらの研究結果はMANET プロトコルの改良に向けたデータの蓄積や同じマルチホップ技術を利用する他の技術にも役に立つものである。本研究の成果により、MANET プロトコルの標準化に貢献できる。</p> <p>以下に論文の構成を示す。第1章では、序論として研究背景、目的及び論文の構成について述べる。第2章では、無線ネットワークの技術を紹介する。第3章では、MANET技術や応用技術などを述べる。第4章では、MANET経路制御プロトコルについて説明する。第5章では、テストベッドの設計と実装について述べ、無線伝搬モデルと実験モデルについて説明する。第6章では、実験結果を考察する。第7章では、本論文の結論とこの分野における今後の課題の見識を与えて、論文をまとめる。</p>
論文内容の要旨 (英文)	<p>Recently, there is a lot of research on Mobile Ad hoc NETWORKS (MANETs), which are a good approach to cover the rural areas. In the near future, we will see many applications and real implementation of MANETs in Intelligent Transport Systems (ITS), construction sites and factories, farms, merchandise warehouses and ports. Also, MANETs will be combined with many other wireless networks such as Wireless Sensor Networks and Vehicle-to-Vehicle (V2V) networks considering their multi-hop communication characteristic. Presently, for the standardization of MANETs, the research is concentrated in three directions: testbeds,</p>

emulators and simulators.

The most important parameters for the evaluation of MANETs are the throughput, routing efficiency, security and energy consumption. In this research, we implemented a MANET testbed using Note PCs and carried out many experiments for fixed and mobile nodes to evaluate the performance of OLSR protocols for different parameters and scenarios.

In this thesis, we considered two scenarios when all nodes are in stationary state and some intermediate nodes move. We carried out many experiments to investigate the effect of the node movement by comparing both scenarios. By the experimental results, we found that when using the same frequency the throughput is decreased in the indoor stairs environment, so the allocation of intermediate nodes in each floor is very important. Also, we found that the low-power radio waves of MANET terminals in outdoor stairs environment cause the instability communication problem. In addition, by changing the interval time and validity time of Hello packets of OLSR routing protocol we clarified the problems of the throughput change. Then, considering two types of ETX algorithm, we investigated and clarified the unstable state of the communication between nodes.

In our previous work, we did not consider the effect of wave propagation model. In this research, we implement a MANET testbed by considering different topologies and the wave propagation model and propose a new trade-off method. In our work, different from other approaches, we consider the interaction between routing and MAC protocols. We measured also the channel utilization in order to reduce the influence from other devices in a real environment. The results of this work are very useful for other techniques that use the multi-hop approach. We believe that the results of this study will contribute to the standardization of MANET protocols.

The structure of the thesis is as follows. In Chapter 1 is introduced the research background, the research purpose and thesis structure. In Chapter 2 are presented the wireless networks technologies. In Chapter 3 are described MANET technologies and applications. In Chapter 4 is given a detailed description of MANET routing protocols. In Chapter 5 is presented the testbed design and implementation and are shown the experiments scenarios. In Chapter 6 are shown experimental results. Finally, in Chapter 7 are presented 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「肥山 昌弘」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、MANET テストベッドの実装と評価を行い、屋内外環境下における OLSR プロトコルの性能評価を行った。MANET は、そのネットワークの特徴から高度道路交通システム (ITS)、工場や建築現場、農場、商品倉庫、港湾など様々な利用先が考えられ、マルチホップ通信を利用した車車間ネットワークやセンサ・ネットワークなどそれぞれの環境に特化した応用技術の研究開発も進められている。現在、標準化に向けてテストベッド、エミュレータ、シミュレータの3種類の研究結果を基に開発されている。

MANET を評価するためにスループット性能、経路制御効率、セキュリティ、エネルギー消費量が主なパラメータとして挙げられる。本研究では、MANET テストベッド環境を構築・実装し、OLSR 経路制御プロトコルの性能評価やプロトコルのパラメータ調整による移動端末への対応に向けた実験を行った。端末の移動が与える影響を調査するため、全端末が静止したモデルと中継端末が移動するモデルの2種類の実験を行い、比較を行った。同周波数帯の使用率が高い場合のスループットの低下を確認し、屋内階段では各階に中継端末が不可欠である事を明らかにした。そして、屋外階段を利用した劣悪な環境下で電波伝搬が原因による不安定な通信を確認した。また、OLSR 経路制御プロトコルの Hello パケットの時間間隔と有効時間を変更し、スループットの変動を確認した。更に、ETX アルゴリズムの2種類の評価を行い、通信の不安定化を明らかにした。このように本研究の内容は、他の研究者によって報告されていない結果を含み、学位論文としての十分な価値があると認められる。

本研究は特色と独創的な点を有しており科学技術の貢献が期待できる。従来の MANET

	<p>の研究では、無線伝搬モデルの影響について考慮しなかった。本研究では、多種のトポロジ、伝搬モデルを考慮し、新たなトレードオフ手法を提案し、MANET テストベッドを実装した。また、MAC プロトコルと経路制御プロトコルの相互作用を考慮している点や使用周波数チャンネルの使用率を測定し、実環境における他の機器からの影響を軽減させた実験を行っている点が、他の研究とは本質的に異なっている。また、これらの研究結果は MANET プロトコルの改良に向けたデータの蓄積や同じマルチホップ技術を利用する他の技術にも役に立つものである。本研究の成果により、MANET プロトコルの標準化に貢献できる。</p> <p>論文の構成は次のようになっている。第 1 章では、研究背景、目的及び論文の構成について述べている。第 2 章では、無線ネットワークの技術を紹介している。第 3 章では、MANET 技術や応用技術などを述べている。第 4 章では、MANET 経路制御プロトコルについて説明している。第 5 章では、テストベッドの設計と実装について述べ、無線伝搬モデルと実験モデルについて説明している。第 6 章では、実験結果を考察している。第 7 章では、本論文の結論とこの分野における今後の課題の見識を与えて、論文をまとめている。</p> <p>本研究の成果として、学術論文が 4 編（第 1 著者 3 編）、国際会議が 11 編（第 1 著者 11 編）となっている、また、国際会議 NBiS-2011 と NBiS-2012 では Best Paper 賞を受賞しており、本研究の新規性と有用性が認められるとともに、国際的にも高く評価できる研究内容を含んでいる。</p> <p>以上の理由により、審査委員会は論文提出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 15 編 1 冊</p> <p>(学術論文)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>M. Hiyama</b>, M. Ikeda, L. Barolli, M. Takizawa, “Performance Analysis of Multi-hop Ad-hoc Network Using Multi-flow Traffic for Indoor Scenarios”, Journal of Ambient Intelligence and Human Computing, Springer, Vol. 1, No. 4, pp. 283-294, 2010.</li> <li>2. M. Ikeda, L. Barolli, <b>M. Hiyama</b>, 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.</li> <li>3. <b>M. Hiyama</b>, E. Kulla, T. Oda, Ikeda and L. Barolli, "Application of a MANET Testbed for Horizontal and Vertical Scenarios: Performance Evaluation Using Delay and Jitter Metrics", Human-centric Computing and Information Sciences (HCIS) Journal, Springer, Vol. 1, No. 3, pp. 1-14, 2011.</li> <li>4. <b>M. Hiyama</b>, E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli, “Evaluation of MANET Protocols for Different Indoor Environments: Results from a Real MANET Testbed”, International Journal of Space-Based and Situated Computing (IJSSC), Vol. 2, No. 2, pp. 71-82 2011.</li> </ol> <p>(国際会議論文)</p>

1. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda and L. Barolli, "Performance Evaluation of a MANET Testbed for Different Indoor Scenarios: A Comparison Study", The Fifth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2011), pp. 420 - 425, Seoul, June 2011.
2. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli and A. Durrresi, "Comparison Evaluation of Horizontal and Vertical Scenarios for Delay and Jitter Metrics Using a MANET Testbed", The 2-nd International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies 2011 (EIDWT 2011), pp. 6-13, Tirana, September 2011.
3. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda and L. Barolli, "Investigation of Channel Usage and Packetloss in a MANET Testbed for Stairs Indoor Scenarios", The 2-nd International Workshop on Methods, Analysis and Protocols for Wireless Communication (MAPWC 2011), pp. 499-504, Barcelona, October 2011.
4. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli and J. Iwashige, "Performance Evaluation of MANET Testbed in a Mixed Indoor and Outdoor Environment" , The Second International Workshop on Computational Intelligence for Disaster Management 2011 (CIDM 2011), pp. 771-776, Fukuoka, November - December 2011.
5. **M. Hiyama**, E. Kulla, T. Oda, M. Ikeda and L. Barolli, "Experimental Results of a MANET Testbed in a Mixed Environment Considering Horizontal and Vertical Topologies", The 26th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2012), pp. 884-889, Fukuoka, March 2012.
6. **M. Hiyama**, E. Kulla, T. Oda, M. Ikeda, L. Barolli and M. Takizawa, "Performance Investigation of a MANET Testbed in Outdoor Stairs Environment for Different Scenarios", The Sixth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS 2012), pp. 284-289, Palermo, Italy, July 2012.
7. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli and M. Younas, "A Comparative Study of a MANET Testbed Performance in Indoor and Outdoor Stairs Environment", The 15th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2012), pp.134-140, Melbourne, Australia, September 2012.
8. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda and L. Barolli, "Performance Evaluation of a MANET Testbed in Heterogeneous Environment: Experimental Results", The Seventh International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2012), pp. 60-65, Victoria, Canada, November 2012.
9. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda L. Barolli and M. Takizawa, "Investigation of OLSR Behavior for Different Hello Packets Intervals in a MANET Testbed", The 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2013), pp. 183-188, Barcelona, Spain, March 2013.
10. **M. Hiyama**, E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli and M. Takizawa, "Performance Analysis of OLSR with ETX\_ff for Different HELLO Packet Interval in a MANET Testbed," Lecture Notes in Electrical Engineering: Information Technology Convergence, Security, Robotics, Automations and Communication, Springer, Vol. 253, No. 1, pp. 77-88, Fukuoka, Japan, July 2013.
11. **M. Hiyama**, E. Kulla, S. Sakamoto, M. Ikeda, L. Barolli and M. Takizawa, "Investigating the Effect of HELLO Validity Time of OLSR in a MANET Testbed", The Eighth International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA 2013), pp. 296-301,

	Compiègne, France, October 2013.
--	----------------------------------