

学位被授与者氏名	エリス クラ (ELIS KULLA)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第32号
学位授与年月日	平成25年9月25日
論文題目	Implementation of a Testbed and a Simulation System for MANETs: Experiments and Simulations
論文題目 (英訳または和訳)	MANETのためのテストベッドとシミュレーションシステムの実装：実験とシミュレーション
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准教授 藤岡 寛之 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 木野 仁
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>無線モバイルアドホックネットワーク (MANET) は移動ノードが集まり動的なトポロジを形成し、高いリソースに制約のあるネットワークである。現在、刻々と変化するネットワーク・トポロジ、経路制御手法とプロトコルは研究の重要な分野となっている。研究を行うに当たり、アルゴリズムやプロトコルの問題を検証するために必要とされる。これらの検証法は、次の三つの技術 (シミュレータ、エミュレータ、テストベッド) に分類される。</p> <p>MANET における研究の大部分では、その性能は定量的および定性的に評価されている。スループット性能、経路制御効率、セキュリティ、エネルギー消費量は、アドホックネットワークで頻繁に扱われる重要な問題である。将来の MANET 技術はセキュリティとスケーラビリティをある程度確保し、協調コンピューティングのためのインフラを提供する必要がある。</p> <p>本論文では、異なる経路制御プロトコル、移動モデルと他の環境パラメータの結果を比較分析するために、テストベッドとシミュレーションシステムの設計と実装を行う。両アプローチでは、異なるモデル、シナリオ及びトラフィック・データモデルを用いる。また、実験環境を改善するためにシミュレーション結果を踏まえている。水平方向および垂直方向のトポロジにおける線形及びメッシュのリンクトポロジ結果から、ノードの移動が通信性能におけるデグラデーションや経路の不安定性をもたらすことを明らかにした。また、シミュレーションによる様々なプロトコルの振る舞いを多用の移動モデルを用いて分析している。複数フローの通信時には、ネットワークの性能が低下した。そこで、アドホックネットワークにおける通信品質 (QoS) を向上するためのファジィ理論に基づいたデータ・レプリケーション・フレームワークを提案した。シミュレーション結果から、提案フレームワークが良い性能を持つことが分かった。</p> <p>本研究は次のような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。1) MANET テストベッドの実装と評価、2) ns-2 を使用した MANET のシミュレーションシステムの実装、3) 実環境における様々なシナリオを考慮、4) 異なる MANET シナリオにおける異なる経路制御プロトコルの評価、5) QoS を改善するための新しいデータ複製フレームワークの提案、6) 今後の無線通信の技術の発展のため MANET の統合についての見識を与える。</p> <p>以下に論文の構成を示す。第1章では、研究背景と目的を述べている。第2章では、無線ネットワークの一般的な技術を紹介する。無線ネットワークの構造とその長所と短所を示しながら無線技術を議論する。第3章のアドホックネットワークの課題や問題点を議論し、経路制御プロトコルとその詳細を述べる。第4章では、我々のテストベッドの設計と実装について述べる。技術的な設定や環境の前提条件に関する詳細を提供する。第5章では無線伝搬モデルの詳細、モビリティモデルと我々のテストで使用されるその他のパラメータについて説明する。第6章と第7章では、それぞれの実験とシミュレーションの結果を議論する。第8章では、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)	A Mobile Ad hoc Network (MANET) can be defined as a collection of mobile nodes, which form a highly resource constrained network and a dynamic topology. Because of the dynamic

	<p>topology, routing procedures and protocols are a key field of testing and research. In a research environment, research tools are required to test, verify and identify problems of an algorithm or protocol. These tools are classified in three major techniques: simulators, emulators and real-world testbeds.</p> <p>In most of research in MANET, their performance is evaluated in both quantitative and qualitative aspects. Throughput performance, routing efficiency, security and energy consumption are some of the key issues that are addressed frequently on MANETs. The future MANET technology will have to ensure a certain degree of security and scalability and provide the infrastructure for collaborative computing.</p> <p>In this thesis, we design and implement a testbed and a simulation system in order to analyze the performance and compare the results of different routing protocols, mobility models and other environmental parameters. In both approaches we use different models, scenarios and traffic data models. We use our simulation results to improve the experimental environment. We experimented in indoor and outdoor environment, in horizontal and vertical topologies and in linear and mesh logical topologies. We also added mobility to specific nodes. From results, we found that the mobility of nodes brings oscillations in performance and route instabilities. Using our simulation tool, we simulated different mobility patterns in different protocols. We found multi-flow traffic decreases the performance of the network. We also proposed a data replication framework based on fuzzy logic to improve QoS in MANET. From simulation results, we found that the proposed framework has a good performance.</p> <p>The contributions of our work are: 1) implementation and evaluation of a MANET testbed; 2) implementation of a simulation tool for MANETs using NS2; 3) application of MANET testbed in real environments, considering different scenarios; 4) evaluation of different MANET routing protocols in different scenarios; 5) propose a new data replication framework for improving QoS in MANET; 6) give insights about future developments and integration of MANET as an important technology of wireless communications.</p> <p>The outline of the thesis is as follows. In Chapter 1, is shown the background and the motivation of the thesis. In Chapter 2, we introduce general aspects of wireless networks. We discuss wireless architectures and wireless technologies giving advantages and disadvantages of each. We give insights of MANETs in Chapter 3. We discuss issues and problems of MANETs, and describe routing protocols and their properties. In Chapter 4, we present the design and implementation of our testbed. We give details on technical settings and environment assumptions. The scenarios and the way of implementation are described in details. The simulation system is presented in Chapter 5. We give details on radio propagation models, mobility models and other parameters used in our tests. Then, we show the moving scenarios and the traffic data that we used during simulations. In Chapter 6 and Chapter 7, we discuss the results of our experiments and simulations, respectively. Chapter 8 concludes the thesis, giving an insight of learnt lessons and future works in this field.</p>
論文審査結果	<p>博士後期課程知能情報システム工学専攻3年の「クラ エリス」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。</p> <p>(学位論文審査の結果)</p> <p>本論文では、MANET の異なる経路制御プロトコル、移動モデルと他の環境パラメータの結果を比較分析するために、テストベッドとシミュレーションシステムの設計と実装を行っている。両アプローチでは、異なるモデル、シナリオ及びトラフィック・データモデルを用いる。また、実験環境を改善するためにシミュレーション結果を踏まえている。水平方向および垂直方向のトポロジにおける線形及びメッシュのリンクトポロジ結果から、ノードの移動が通信制性能におけるデグラデーションや経路の不安定性をもたらすことを明らかにしている。また、シミュレーションによる様々なプロトコルの振る舞いを多用の移動モデルを用いて分析している。複数フローの通信時には、ネットワークの性能が低下した。そこで、アドホックネットワークにおける通信品質 (QoS) を向上するためのファジィ理論に基づいたデータ・レプリケーション・フレームワークを提案した。シミュレーション結果から、提案フレームワークが良い性能を持つことが分かった。こ</p>

	<p>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。</p> <p>本研究は次のような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。1) MANET テストベッドの実装と評価、2) NS-2 を使用した MANET のシミュレーションシステムの実装、3) 実環境における様々なシナリオの考慮、4) 異なる MANET シナリオにおける異なる経路制御プロトコルの評価、5) QoS を改善するための新しいデータ複製フレームワークの提案、6) 今後の無線通信の技術の発展のため MANET の統合についての見識を与える。</p> <p>論文の構成は次のようになっている。第1章では、研究背景と目的を述べている。第2章では、無線ネットワークの一般的な技術を紹介している。無線ネットワークの構造とその長所と短所を示しながら無線技術を議論する。第3章のアドホックネットワークの課題や問題点を議論し、経路制御プロトコルとその詳細を述べている。第4章では、我々のテストベッドの設計と実装について述べている。技術的な設定や環境の前提条件に関する詳細を提供している。第5章では無線伝搬モデルの詳細、モビリティモデルと我々のテストで使用されるその他のパラメータについて説明している。第6章と第7章では、それぞれの実験とシミュレーションの結果を議論している。第8章では、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5編（第1著者5編）、国際会議が15編（第1著者15編）となっている。また国際会議 NBiS-2011 と MoMM-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 20編1冊</p> <p>(学術論文) 学術論文：第一著者)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, V. Kolic, R. Miho, "MANET Performance for Source and Destination Moving Scenarios Considering OLSR and AODV Protocols", Mobile Information Systems (MIS), Vol. 6, No. 4, pp. 325-329, 2010.</li> <li>2. E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Comparison of OLSR and BATMAN Routing Protocols by a MANET Testbed in Stairs Environment", International Journal of Computers &amp; Mathematics with Applications (IJCAMWA), Vol. 63, No. 2, pp. 339-349, January 2012.</li> <li>3. E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, R. Miho, "Performance Comparison of BATMAN and AODV Protocols for Source and Destination Moving Scenarios", accepted, to appear in International Journal of Computer Systems Science and Engineering (IJCSSE), Vol. 27, No. 3, pp. 173-182, May 2012.</li> <li>4. E. Kulla, T. Oda, M. Ikeda, L. Barolli, A. Biberaj, O. Shurdi, "Source and Destination Mobility Effects on a Bridge Environment: Results from a MANET Testbed", accepted, to appear in International Journal of Wireless and Mobile Computing (IJWMC), 2012.</li> <li>5. E. Kulla, M. Ikeda, T. Oda, L. Barolli, F. Xhafa, A. Biberaj, "Experimental</li> </ol>

Results from a MANET Testbed in Outdoor Bridge Environment Considering BATMAN Routing Protocol", published online in Journal of Computing, doi: 10.1007/s00607-012-0225-9, 5 November 2011.

(国際会議論文)

(国際会議：第一著者)

1. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Rozeta Miho, "Impact of Source and Destination Movement on MANET Performance Considering BATMAN and AODV Protocols", Proc. of BWCCA-2010, Fukuoka, Japan, pp. 94-101, November 2010.
2. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Masahiro Hiyama, Leonard Barolli, "Evaluation of a MANET Testbed in Indoor Stairs Environment Considering OLSR Protocol", Proc. of CISIS-2011, Seoul, Korea, pp. 160-167, June-July 2011.
3. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Masahiro Hiyama, Leonard Barolli, Bexhet Kamo, "Real Data from a Testbed in Indoor Stairs Environment Considering BATMAN Protocol", Proc. of NBiS-2011, Tirana, Albania, pp. 35-41, September 2011. (BEST PAPER)
4. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Masahiro Hiyama, Leonard Barolli, Rozeta Miho, "Performance Evaluation of OLSR and BATMAN Protocols for Vertical Topology Using Indoor Stairs Testbed", Proc. of BWCCA-2011, Barcelona, Spain, pp. 159-166, October 2011.
5. Elis Kulla, Masahiro Hiyama, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, "Comparison of Experimental Results of a MANET Testbed in Different Environments Considering BATMAN Protocol", Proc. of INCoS-2011, Fukuoka, Japan, pp. 1-7, November-December 2011.
6. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Fatos Xhafa, Jiro Iwashige, "A Survey on MANET Testbeds and Mobility Models", Proc. of HNCA-2011/CSA-2011, Jeju, Korea, pp. 651-657, December 2011.
7. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Tetsuya Oda, Leonard Barolli, Fatos Xhafa and Aleksander Biberaj, "Evaluation of a MANET Testbed in Outdoor Bridge Environment Using BATMAN Routing Protocol", Proc. of AINA-2012, Fukuoka, Japan, pp. 384-390, March 2012.
8. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Tetsuya Oda, Leonard Barolli, Fatos Xhafa and Makoto Takizawa, "Multimedia Transmissions over a MANET Testbed: Problems and Issues", Proc. of CISIS-2012, Palermo, Italy, pp. 141-147, July 2012.
9. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Muhammad Younas, Kazunori Uchida and Rozeta Miho, "A MANET Simulation System: A Case Study Considering Static Source and Destination Nodes and OLSR Protocol", Proc. of EIDWT-2012, Bucharest, Romania, pp. 54-60, September 2012.
10. Elis Kulla, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Muhammad Younas, Kazunori Uchida, Makoto Takizawa, "Simulation Performance of a MANET Using Static Source and Destination Considering AODV Routing Protocol", Proc. of NBiS-2012, Melbourne, Australia, pp. 141-147, September 2012.
11. Elis Kulla, Evjola Spaho, Fatos Xhafa, Leonard Barolli, Makoto Takizawa, "Using Data Replication for Improving QoS in MANETs", Proc. of BWCCA-2012, Victoria, Canada, pp. 529-533, November 2012.
12. Elis Kulla, Masahiro Hiyama, Makoto Ikeda, Leonard Barolli, Kazunori Uchida, Makoto Takizawa, "Setting up Static Components for Investigating MANET Performance: A Simulation Case", Proc. of BWCCA-2012, Victoria, Canada, pp. 53-59, November 2012.
13. E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, M. Younas, M. Takizawa, "Investigation of AODV Throughput Considering RREQ, RREP and RERR

	<p>Packets", Proc. of AINA-2013, Barcelona, Spain, pp. 169-174, March 2013.</p> <p>14. E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Multi-flow Traffic Investigation of AODV Considering Routing Control Packets", Accepted, To Appear in Proc. of FTRA/ITCS-2013, Fukuoka, Japan, July 2013.</p> <p>15. E. Kulla, M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, M. Takizawa, "Effect of AODV HELLO Packets for Different Mobility Degrees", Accepted, To Appear in Proc. of CISIS-2013, Taichung, Taiwan, July 2013.</p>
--	--