

学位被授与者氏名	楊 涛 (Tao Yang)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第 2 3 号
学位授与年月日	平成 2 2 年 3 月 2 0 日
論文題目	無線センサネットワーク評価のためのシミュレーションシステムの実装
論文題目 (英訳または和訳)	Implementation of a Simulation System for Evaluation of Wireless Sensor Networks
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 バロリオルト 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 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 松永 利明 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 今村 正明
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、ユビキタス社会の実現に向けて、周囲の環境や状況の変化を認識するためのセンサネットワークが注目されている。センサネットワークとは観測対象とする環境に複数のセンサノードを配置させ、その環境から得られるデータを基地局に収集するタイプのネットワークである。このセンサネットワーク技術は自然環境、都市環境、防災、防衛システム、道路交通監視システムなど多方面への多様な応用ができる。しかし、多数のセンサにより広範囲の環境を随時監視するセンサネットワークでは、一般的に安定した電源を確保できないため、センサを長時間駆動させるにはデータの収集、転送における省電力化が重要となる。</p> <p>センサネットワークの応用では、観測対象と範囲によって採用するセンサネットワーク種類が異なる。また、無線伝搬モデルはセンサノードの伝送電力に影響を与える。従来の研究では無線伝搬モデルしか考慮しなかったため、実環境に応じて適用しにくい問題があった。更に、観測対象が広範囲の場合、センサノードを設置する時はランダム配置が利用されてきた。センサネットワークではネットワークの安定性に加えて、低電力容量、低計算性能、低帯域のような厳しい制約条件があるため、センサノードの伝送電力、伝送効率、エネルギー使用量の最適化を図れるセンサノードの配置と最適な無線伝搬モデルの選択が必要不可欠である。</p> <p>この問題を解決するため利用環境に合わせてトポロジ、無線伝搬モデル、ルーティングプロトコルのトレードオフ手法を提案した。観測範囲が広がるためモバイルイベントとモバイルシンクを提案した。また、センサネットワークのシミュレーションシステムに輻輳制御を導入し、データの向上を図った。従来の研究では無線伝搬モデルの影響について考慮していなかった。一般化された無線伝搬モデルに基づいたGoodput (シンクまで伝送成功率) とエネルギー使用量の省電力化に関する研究は、我々の知る限り行われていない。本研究は将来のセンサネットワークの実現化の知見を得るために必要不可欠である。</p> <p>本研究ではns-2上での提案したセンサネットワークシミュレーションシステムを実装した。本シミュレーションシステムは実際パケットがネットワーク上で同期するまでの伝送プロセスやパケット廃却時の状況の確認が可能である。実環境に適用する無線伝搬モデルを用いて、ネットワークのパフォーマンスを評価するためにエネルギーの使用量、パケット廃棄率とノードの生存数などを定量的評価し、モバイルイベントとモバイルシンクはセンサネットワークの性能を高めることが確認した。</p> <p>本論文の構成はつぎのようになる。第一章で研究背景、研究目的と論文の構成について述べる。第二章では、無線ネットワークの概要について説明する。第三章では、センサネットワークとセンサアクタネットワークについて述べる。第四章では、提案システムについて述べる。第五章では本研究の実験結果及び分析を行う。そして、第六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, technological advances have lead to the emergence of distributed Wireless Sensor Networks (WSNs) which are capable of observing the physical world, processing the data, making decisions based on the observations and performing appropriate actions. These networks can be an integral part of systems such as battlefield,

surveillance and microclimate control in buildings, nuclear, biological and chemical attack detection, home automation and environmental monitoring. In WSNs, the phenomena of sensing and acting are performed by sensors and the data are sent to the sink node which has more capability than sensor nodes, thus can collect and process the collected data. Most of the sensor energy is spent when the sensor node transmits and receives the data. Because the battery of the sensor node is very small, the energy is very small. In order to enhance the lifetime of the WSN, it is very important to save the energy of sensor nodes.

The WSNs have different kind of applications in real environment. However, in most of the previous works, for the evaluation of sensor networks only conventional radio models were considered. Also, the nodes were distributed randomly in the large scale observed area. The radio models affect the transmission power of sensor nodes. Also, there are many constraints of sensor node such as stability, low power capacity, low computational performance and low bandwidth. Therefore, for realization of WSNs, it is very important the selection of radio models and optimal placement of sensor nodes in order to make the optimization of power transmission, transmission efficiency and consumed energy.

To solve these problems, we proposed a trade-off method for different topologies, radio models and routing protocols. We also proposed a new approach for mobile sink and mobile event in order to increase the scalability of our simulation system. We implemented a congestion control scheme in our simulation system in order to increase the system reliability. In the previous studies, it was not considered the impact of radio propagation models and the interaction between different protocols. In the best of our knowledge, there is not any study that considers the trade-off between different topologies, radio models and routing protocols. We carried out many simulations for different scenarios considering Goodput (transmission success rate) and consumed energy. We do hope that this research shed lights in many aspects of sensor networks and the collected data and analysis can be very useful for real applications of WSNs.

In this research, we implement the proposed WSNs simulation system using ns-2 simulator. By our simulation system is possible to make the synchronization of packets and also to monitor the status of packets transmission. In order to evaluate the performance of WSNs, we used regular and irregular models and evaluated quantitatively the consumed energy, packet loss, routing efficiency and Goodput. We also carried out simulation for mobile sink and mobile event and we confirmed that using these approaches the scalability of our simulation system is increased.

The structure of this thesis is as follows. In the first Chapter, we present the background, motivation, and contribution of our work. In the second chapter, we introduce the wireless networks. In the third Chapter, we present wireless sensor and actor networks. In the fourth Chapter, we explain the proposed simulation system. In the fifth Chapter, we summarize the main results and analysis using the implemented system. The conclusions and the future works are given in the last Chapter.

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「楊 涛」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>

この論文では、無線センサ・ネットワーク評価のためのシミュレーション・システムを実装し、トポロジー、無線伝搬モデル、ルーティング・プロトコルのトレードオフ手法を提案した。また、無線センサ・ネットワークのシミュレーション・システムに輻輳制御を導入し、システムのデータ伝送の向上を図った。さらに、モバイル・イベントとモバイル・シンク・システムを考慮し、センサ・ノードの消費電力、経路制御効率、エネルギー使用量などを定量的に評価した。従来の研究では無線伝搬モデルしか考慮しておらず、実環境に応じて適用しにくいという問題があった。そこで本研究では、実環境に適用する無線伝搬モデル、トポロジーとルーティング・プロトコルのトレードオフ手法を用い、無線センサ・ネットワークのパフォーマンスを評価した。これらの研究内容は他の研究者によって報告されておらず、本研究内容は学位論文として十分な価値があると認められる。本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、動機

	<p>および新規性について述べる。第2章では、無線ネットワークの概要について説明する。第3章では、無線センサ・ネットワークと無線センサ・アクタ・ネットワークのアーキテクチャーについて述べる。第4章では、本研究の主要な部分である提案システムについて述べる。第5章では、本研究で得られた実験結果およびその分析結果について述べる。最後に第6章では、結論と今後の研究課題について述べる。</p> <p>本研究では、ネットワーク・シミュレータ NS-2 を利用し、提案したセンサ・ネットワーク・シミュレーション・システムを実装している。このシミュレーション・システムによると、パケットがネットワーク上で同期するまでの伝送プロセスやパケット廃棄時の状況確認が可能となっている。本研究で得られた実験結果により、将来のセンサ・ネットワークの実現に対して、必要不可欠となる技術的な知見を得ることができた。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8編となっている。また、国際会議 ADPNA-2007/ ICPP-2007 において Best Paper 賞を受賞しており、本研究の内容は世界的にも認められていると言える。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が高く評価されている。</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、論文内容に関連する種々の工学的および技術的な質問があったが、いずれも内容的には問題なく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、学位論文の関連分野の学識を有し、今後研究を進めていくための研究能力も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 32編1冊（第一著者：18編1冊）</p> <p>（学術論文： 第一著者）</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>T. Yang</u>, 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 (MIS), Vol. 2, No. 4, pp. 211-227, October-December 2006. 2. <u>T. Yang</u>, L. Barolli, M. Ikeda, F. Xhafa, A. Durresi, "Performance Evaluation of Reactive and Proactive Protocols for Ad-hoc Sensor Networks", Journal of Interconnection Networks (JOIN), Vol. 8, No. 4, pp. 387-405, December 2007. 3. <u>T. Yang</u>, L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, 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 (SCPE), Vol. 10, No. 1, pp. 99-109, March 2009. 4. <u>T. Yang</u>, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Mobile Event and Mobile Sink", accepted, to appear in Journal of Mobile Multimedia, Vol. 6, No. 2, 2010. <p>（国際会議： 第一著者）</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. <u>T. Yang</u>, 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. 6. <u>T. Yang</u>, G. De Marco, M. Ikeda, L. Barolli, "A Case Study of Event Detection in Lattice Wireless Sensor Network with Shadowing-Induced Radio Irregularities", Proc. of 4th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM-2006), Yogyakarta, Indonesia, pp. 241-250, December 2006. 7. <u>T. Yang</u>, G. De Marco, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Behavior of AODV, DSR and DSDV Protocols for Different Radio Models in Ad-hoc Sensor Networks", Proc. of ADPDA-2007/ICPP-2007, Xi'an, China, CD-ROM 6 pages, September 2007. <p>(Best Paper Award)</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. <u>T. Yang</u>, M. Ikeda, L. Barolli, A. Durresi and F. Xhafa, "Network Energy Consumption in Ad-hoc Networks Under Different Radio Models", Proc. of IEEE ICPADS-2007, Hsinchu, Taiwan, USB 2.0 SD Card Reader, 8 pages, December 2007. 9. <u>T. Yang</u>, M. Ikeda, L. Barolli, "Routing Efficiency of AODV and DSR in Ad-hoc Sensor Networks", Proc. of MNSA-2008/ICDCS-2008, Beijing, China, pp. 66-71, June 2008.

10. T. Yang, M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, F. Xhafa, "Performance Evaluation of a Wireless Sensor Network Considering Mobile Event", Proc. of FCISIS-2009/CISIS-2009, Fukuoka, Japan, pp. 1169-1174, March 2009.
11. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, F. Xhafa, A. Durresi, "Performance Analysis of OLSR Protocol for Wireless Sensor Networks and Comparison Evaluation with AODV Protocol", Proc. of NBiS-2009, Indianapolis, USA, pp. 335-342, August 2009.
12. T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Different Radio Models Considering Mobile Event", accepted, to appear in Proc. of CISIS-2010, Krakow, Poland, February 2010.

(研究会技術報告：第一著者)

13. T. Yang, Y. Nagata, L. Barolli, "A Protocol for Power Reduction in Sensor Networks based on Localization Clustering", Technical Report of IEICE, Kyushu Shibu Gakusei Kouenkai Robunshu, pp. 48, September 2005.
14. T. Yang, G. De Marco, L. Barolli, "Simulation of WSNs with Radio Irregularities", Proc. of Multimedia, Distributed, Cooperative and Mobile Symposium (DICOMO'2006), IPSJ Symposium Series, Kagawa, Japan, Vol. 2006, No. 6, Vol. 1, pp. 185-188, July 2006.
15. T. Yang, M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, "Performance Evaluation of a Wireless Sensor Network under Different Radio Propagation Models", Proc. of Forum on Information Technology 2006 (FIT-2006), Fukuoka, Japan, pp. 129-130, September 2006.
16. T. Yang, G. De Marco, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Network with DSDV Protocol on Radio Models", IPSJ SIG Technical Reports, 2007-DPS-130/2007-CSEC-36, Vol. 2007, No. 16, pp. 351-356, March 2007.
17. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, "Performance Evaluation of Routing Efficiency for Sensor and Ad-hoc Networks using Different Radio Models", Proc. of Multimedia, Distributed, Cooperative and Mobile Symposium (DICOMO'2008), IPSJ Symposium Series, Sapporo, Japan, pp. 102-107, July 2008.
18. T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Evaluation of a Wireless Sensor and Actor Network Considering Event Movement", Pro. of Multimedia Communications and Distributed Processing Workshop (DPSWS-2008), Yamaguchi, Japan, pp. 37-42, December 2008.

参考論文

(学術論文)

19. G. De Marco, T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, "Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Event-Detection with Shadowing Induced Radio Irregularities", Mobile Information Systems (MIS), Vol. 3, No. 3/4, pp. 251-266, December 2007.
20. M. Ikeda, G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, "Performance Analysis of an Ad Hoc Network for Emergency and Collaborative Environments", Journal of Telecommunication Systems, Springer, Vol. 38, No. 3-4, pp. 133-146, 2008.
21. M. Ikeda, L. Barolli, G. De Marco, T. Yang, A. Durresi, F. Xhafa, "Tools for Performance Assesment of OLSR Protocol", Mobile Information Systems (MIS), Vol. 5, No. 2, pp. 165-176, 2009.
22. L. Barolli, T. Yang, Gj. Mino, F. Xhafa, A. Durresi, "Routing Efficiency in Wireless Sensor-Actor Networks Considering Semi-Automated Architecture", accepted, to appear in Journal of Mobile Multimedia, Vol. 6, No. 1, 2010.

(国際会議)

23. G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, "Impact of Radio Irregularities on Infrastructure Trade-offs in WSNs", Proc. of 2nd International Conference on Network Based Information Systems (NBiS-2006), Krakow, Poland, pp. 50-54, September 2006.
24. 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.
25. M. Ikeda, L. Barolli, G. De Marco, T. Yang, A. Durresi, "Experimental and Simulation Evaluation of OLSR Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks", Proc. of NBiS-2008, Torino, Italy, pp. 111-121, September 2008.

26. 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", Proc. of IEEE ICPADS-2008, Melbourne, Australia, pp. 567-574, December 2008.
27. M. Ikeda, L. Barolli, M. Hiyama, G. De Marco, T. Yang and A. Durresi, "Performance Evaluation of Link Quality Extension of in Multihop Wireless Mobile Ad-hoc Networks", Proc. of CISIS-2009, Fukuoka, Japan, pp. 311-318, March 2009.
28. M. Ikeda, L. Barolli, M. Hiyama, T. Yang, G. De Marco, A. Durresi, "Performance Evaluation of a MANET Tested for Different Topologies", Proc. of NBiS-2009, Indianapolis, USA, pp. 327-334, August 2009.

(研究会技術報告)

29. Y. Nagata, T. Yang, G. De Marco, L. Barolli, "A Fuzzy-based Power Reduction Algorithm for Sensor Networks", Technical Report of IEICE, Kyushu Shibu Gakusei Kouenkai Robunshu, pp. 47, September 2005.
30. Y. Nagata, T. Yang, G. De Marco, L. Barolli, A. Koyama, "Application of Fuzzy Theory for Power Reduction in Sensor Networks", Proc. of Multimedia Communications and Distributed Processing Workshop (DPSWS-2005), IPSJ Symposium Series, Vol. 2005, pp. 6-10, November-December 2005.
31. M. Ikeda, G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, "Implementation and Performance Evaluation of a Testbed for MANET", IPSJ SIG Technical Reports, 2007-DPS-130/2007-CSEC-36, Vol. 2007, No. 16, pp. 111-116, March 2007.
32. M. Ikeda, G. De Marco, T. Yang, L. Barolli, "Performance Analysis of OLSR and B.A.T.M.A.N Protocols for Indoor Scenarios," IPSJ SIG Technical Reports, 2007-DPS-132, Vol. 2007, No. 91, pp. 43-48, September 2007.