様式C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成22年5月20日現在

研究種目：基盤研究(C)
研究期間：2007～2009
課題番号：１９５０００７１
研究課題名（和文）　センサ・アクタ・ネットワークの実現化のための基礎研究

研究課題名（英文）　A Simulation System for Sensor and Actor Networks

研究代表者
バロリ　レオナルド（BAROLLI LEONARD）
福岡工業大学・情報工学部・教授
研究者番号：４０３１２７２２

研究成果の概要（和文）：Wireless Sensor Networks (WSNs)では、センサ・ノードに電力制限があるので、電力の消費を抑える必要がある。さらに、センサ・ノード、アクタ・ノードは移動により、ネットワークのトポロジーは変化する。そのため経路制御および電力制御が重要である。しかし、経路制御を行うためには複数のパラメータが必要となり、NP 完全問題となる。本研究では、知的アルゴリズムを用いた WSAN の経路制御と電力制御を行い、WSAN のシミュレーション・システムを実装した。提案システムはエネルギー使用量を最適化できることを示した。

研究成果の概要（英文）：In Wireless Sensor and Actor Networks (WSANs), the sensor nodes should have low power consumption. Also, the senor nodes or actor nodes may move, so the network topology changes, thus the routing protocols are very important. However, the routing decision is made based on many parameters which make the problem NP-Hard. To deal with this problem, we consider Intelligent Algorithms and for optimization of different parameters. In this work, we implemented a simulation system for WSANs and evaluated its performance. We have shown that the proposed systems can optimize the consumed energy based on different parameters.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合　計 |
|---|---|---|---|
| ２００７年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| ２００８年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| ２００９年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総　計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：情報学
科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク
キーワード：（１）センサ・ネットワーク　（２）アドホック・ネットワーク
（３）センサ・アクタ・ネットワーク（４）P2P ネットワーク（５）経路制御
(6)　エネルギー消費化（７）ヒューリスティック手法（８）知的アルゴリズム

１．研究開始当初の背景

これまで高速ネットワークおよびアドホック・ネットワークに適用できる知的なアルゴリズムの研究を行ってきた。高速ネットワークのためのトラフィック制御のアルゴリズムは、短時間でネットワークのトラフィッ

クを制御しなければならない。また、アドホック・ネットワークのトポロジーは短時間で変化するため特にこのことが重要となる。従来からのトラフィック制御のアルゴリズムは高速ネットワークおよびアドホック・ネットワークに適用することは難しいとされてきた。このため、我々の研究では、知的アルゴリズムを利用して、高速ネットワーク及びアドホック・ネットワークに対してトラフィック制御が実現できることを示した。これらの研究の成果は幾つかの雑誌、国際学会、国内学会に発表し、知的トラフィック制御の手法としてインターネットのようなスケーラビリティと速度を両立させなければならないネットワークの研究者から特に関心を集めることができた。

## 2．研究の目的

WSNs は、複数のセンサ・ノードの協調により実現されるものである。さらに、このような WSN にアクタを加えた WSAN が実現できる。WSAN ではセンサ・ノードの密度が高く、アクタ・ノードの密度が低い。また、WSAN を構成するセンサ・ノード、アクタ・ノードは移動できるのでネットワークのトポロジーは変化する。WSAN では、WSN よりトポロジーが複雑となるので、センサ・アクタ、アクタ・アクタの通信が必要とされる。WSAN を実現するためには経路制御および電力制御が重要な研究テーマとなっている。しかし、経路制御をするためには複数のパラメータ（最大利用可能電力、最小エネルギー、最小ホップ数など）が必要となるので、NP 完全問題となり、解決手法としてはヒューリスティックな手法が有効である。そこで、本研究では、ヒューリスティックな手法として知的アルゴリズムを用いた WSAN の経路制御と電力制御のための新しい解決法を探すことを目指した。また、センサ・ノードとアクタ・ノードの配置が困難であり、ネットワーク・トポロジーや伝搬モデルに応じたパラメータの最適化が必要となる。そこで、WSNs のシミュレーション・システムを実装し、エネルギー使用量の最適化ができるネットワーク・トポロジーとネットワーク・プロトコルを検討し、実環境で評価を行った。

## 3．研究の方法

本研究では、NS-2（Network Simulator-2）を使用して、センサ・ネットワークとセンサ・アクタ・ネットワークのシミュレーション・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損失時の状況の確認できる。さらに、伝送速度、ノード生存率に至るまで細部までのシミュレーションが実行可能である。シミュレーション・システムによってネットワーク・パフォーマンス、ネットワークのエネルギー分析、ネットワークの評価を行った。さらに実装したシミュレーション・システムを用いて、無線伝播モデルに基づいた WSNs のについて検討し、無線伝播モデルの各種パラメータを設定して、エネルギー消費量とパケット損失率の分析を行った。

WSANs では、経路制御を行うときに幾つかのパラメータを考慮しなければならない。しかし、パラメータが増えるほどその処理は困難になる。この問題を解決するためにファジィ制御と遺伝的アルゴリズムを用いた。

従来の研究では、固定ノードしか考えられていなかった。しかし、イベント・ノードやセンサ・ノードをモバイル・ノードとして検討することにより、センサ・ネットワークの応用範囲を拡張できる。そこで、モバイル・ノードに対応させるための方法について検討し、ネットワークの性能に与える影響を分析した。

## 4．研究成果

本研究では、WSNs のシミュレーション・システムを実装し、エネルギー使用量の最適化ができるネットワーク・トポロジーとネットワーク・プロトコルを検討し、提案システムの評価を行った。シミュレーションで行った結果、提案システムはエネルギー使用量を最適化できることを示した。また、従来のシステムより良い振る舞いを示すことが分かった。本研究で検討してきた WSN, WSAN、ネットワーク・トポロジー、無線伝播モデル、ネットワーク・プロトコルに関する研究成果に基づいて、実用的なアプリケーション（交通システム、医療への応用）について検討し、その実現方法を示した。

本研究の成果として学術論文に 37 編、国際会議 50 編、図書 7 編となっている。また、国際会議 ADPNA-2007、NBiS-2008、MoMM-2008, IEEE DEST-2010 では Best Paper 賞を受賞し、本研究は世界的に認められている。

## 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　18 件）

1. L. Barolli, T. Yang, Gj. Mino, F. Xhafa, A. Durresi, "Routing Efficiencyin Wireless Sensor-Actor Networks Considering Semi-Automated Architecture", Journal of Mobile Multimedia, Vol. 6, No. 2, pp. 97-113, 査読有り, 2010.

2. A. Durresi, V. Paruchuri, L. Barolli, R. Kannan, ″Anonymous Communication Protocol for Sensor Networks'', International Journal of Wireless and Mobile Computing (IJWMC), Vol.3, No. 4, pp. 236-246, 査読有り, 2009.

3. L. Barolli, A. Koyama, Y. Honma, A. Durresi, J. Arai, ″Performance Evaluation of Selective-Bordercasting Zone Routing Protocol for Ad-hoc Networks" , International Journal of Wireless and Mobile Computing (IJWMC), Vol.3, No. 4, pp. 312-319, 査読有り, 2009.

4. M. Ikeda, L. Barolli, G. De Marco, T. Yang, A. Durresi, F. Xhafa, "Tools for Performance Assessment of OLSR Protocol" , Mobile Information Systems, Vol. 5, No. 2, pp. 165-176, 査読有り, 2009.

5. A. Koyama, T. Nishie, J. Arai, L. Barolli, ″A GA-based QoS Multicast Routing Algorithm for Large Scale Networks″, International Journal of High Performance Computing and Networking (IJHPCN), Vol. 5, No. 5/6, pp. 381-387, 査読有り, 2009.

6. T. Yang, 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, 査読有り, 2009.

7. A. Doci, L. Barolli, F. Xhafa, "Recent Advances on the Simulation Models for Ad-hoc Networks: Real Traffic and Mobility Models" , Journal of Scalable Computing: Practice and Experience (SCPE), Vol. 10, No. 1, pp. 1-11, 査読有り, 2009.

8. M. Durresi, V. Paruchuri, A. Durresi, L. Barolli, M. Takizawa, ″A Scalable Anonymous Protocol for Heterogeneous Wireless Ad Hoc Networks″, Journal of Embedded Computing (JEC), Vol.3, No.1, pp. 77-85, 査読有り, 2009.

9. J. Anno, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, A. Koyama, "Performance Evaluation of Two-Fuzzy based Cluster Head Selection Systems for Wireless Sensor Networks" , Mobile Information Systems (MIS), Vol. 4, No. 4, pp. 297-312, 査読有り, 2008.

10. J. Arai, A. Koyama, and L. Barolli, ″AR-TDMA: An Adaptive Reservation Time Division Multiple Access Control Protocol for Robot Inter-communication″, Inter- national Journal of Wireless and Mobile Computing (IJWMC), Vol. 3, No. 1/2, pp. 4-11, 査読有り, 2008.

11. 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, 査読有り, 2008.

12. G. De Marco, L. Barolli, ″Stability Problems of Transport of Event Data in Realistic Wireless Sensor Networks″, International Journal of Distributed Sensor Networks (IJDSN), Vol. 4, No. 2, pp. 129-141, 査読有り, 2008.

13. M. Ikeda, L. Barolli, A. Koyama, M. Takizawa, "Hierarchical QoS Routing Using Heuristics Algorithms" , Journal of Information Processing of Japan, Vol. 49, No. 2, pp. 692-705, 査読有り, 2008.

14. F. Xhafa, L. Barolli, A. Durresi, "An Experimental Study on Genetic Algorithms for Resource Allocation on Grid Systems" , Journal of Interconnections Networks (JOIN), Vol. 8, No. 4, pp. 427- 443, 査読有り, 2007.

15. 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, 査読有り, 2007.

16. 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, 査読有り, 2007.

17. A. Durresi, V. Bulusu, M. Durresi,

L. Barolli, ″Secure Broadcast for Inter Vehicle Communication″, International Journal of High Performance Computing and Networking (IJHPCN), Vol. 5, No. 1/2, pp. 54-61, 査読有り, 2007.

18. A. Koyama, J. Arai, L. Barolli, A. Durresi, ″EZRP: An Enhanced Zone-Based Routing Protocol for Ad-Hoc Networks and its Performance Evaluation″, Journal of Concurrency: Practice and Experience, Wiley Inter-Science, Vol.19. No.8, pp. 1157-1170, 査読有り, 2007.

〔学会発表〕(計　30 件)

1. M. Ikeda, M. Hiyama, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, ″Mobility Effects of Wireless Multi-hop Networks in Indoor Scenarios″, Proc. of IEEE AINA-2010, Perth, Australia, 2010.4-20-23.

2. L. Barolli, T. Yang, Gj. Mino, F. Xhafa, A. Durresi, "A Simulation System for WSNs as a Digital Eco-System Approach Considering Goodput Metric", Proc. of IEEE DEST-2010, Dubai, UAE, 2010.4.12-15.

3. L. Barolli, "A P2P Platform as a Digital Eco-System Approach for Collaborative and Ubiquitous Computing", Proc. of IEEE DEST-2010, Dubai, UAE, (Keynote Talk) 2010.4.12-15.

4. F. Xhafa, L. Barolli, C. Sánchez, R. Miho, ″An Annealing Approach to Router Nodes Placement Problem in Wireless Mesh Networks″, Proc. of CISIS-2010, Krakow, Poland, 2010.2.15-2.18.

5. R. Palaniappan, P. Wahid, L. Barolli, ″A Novel Sensor Web System for Tracking and Surveillance″, Proc. of CISIS-2010, Krakow, Poland, 2010.2.15-2.18.

6. M. Ikeda, M. Hiyama, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, ″Mobility Effects on the Performance of Mobile Ad hoc Networks″, Proc. of CISIS-2010, Krakow, Poland, 2010.2.15-2.18.

7. T. Yang, M. Ikeda, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, ″Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks for Different Radio Models Considering Mobile Event″, Proc. of CISIS-2010, Krakow, Poland, 2010.2.15-18.

8. A. Koyama, K. Kamakura, L. Barolli, ″MANET-Viewer: A Visualization System for Mobile Ad-hoc Networks″, Proc. of MoMM-2009, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009.12.14-12.16.

9. M. Hiyama, M. Ikeda, L. Barolli, G. De Marco, F. Xhafa, A. Durresi, "Mobility Effects in Mobile Ad hoc Networks", Proc. of CSA-2009, Jeju, Korea, 2009.12.10-12.12.

10. F. Xhafa, C. Sanchez, L. Barolli, "Locals Search Algorithms for Efficient Router Nodes Placement in Wireless Mesh Networks", Proc. of NBiS-2009, Indianapolis, USA, 2009.8.19-8.21.

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, 2009.8.19-8.21.

12. 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, 2009.8.19-8.21.

13. A. Doci, L. Barolli, F. Xhafa, "HAP - A Heterogeneous Ad hoc Protocol", Proc. of NBiS-2009, Indianapolis, USA, 2009.8.19-8.21.

14. F. Xhafa, C. Sanchez, L. Barolli, "Ad Hoc and Neighborhood Search Methods for Placement of Mesh Routers in Wireless Mesh Networks", Proc. of ICDCS-2009 Workshops, MNSA-2009, Montreal, Canada, 2009.6.22-6.26.

15. L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, A. Durresi, F. Xhafa, "Performance Analysis of OLSR and BATMAN Protocols Considering Link Quality Parameter", Proc. of IEEE AINA-2009, Bradford, UK, 2009.5.26-29.

16. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, G. De Marco, F. Xhafa, R. Miho, ″Performance Evaluation of a Wireless Sensor Network Considering Mobile Event″, Proc. of CISIS-2009, Fukuoka, Japan, 2009.3.16-3.19.

17. A. Doci, L. Barolli, F. Xhafa,

"MixMobGen - A Realistic Mixed Traffic Mobility Generator for Ad Hoc Network Simulations", Proc. of CISIS-2009, Fukuoka, Japan, 2009. 3. 16-3. 19.

18. M. Ikeda, L. Barolli, M. Hiyama, G. De Marco, T. Yang, A. Durresi, "Performance Evaluation of Link Quality Extension in Multihop Wireless Mobile Ad-hoc Networks", Proc. of CISIS-2009, Fukuoka, Japan, 2009. 3. 16-3. 19.

19. L. Barolli, T. Yang, M. Ikeda, A. Durresi, 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), 2008. 12. 8-12. 10.

20. 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, 2008. 9. 1-9. 5.

21. Z. Jean-eudes, A. Koyama, T. Tanno, J. Arai, L. Barolli, "Performance Evaluation of Load-balancing Multi-path Routing Protocol for Mobile Ad-hoc Networks", Proc. of NBiS-2008, Torino, Italy, September 2008.

22. J. Anno, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, A. Koyama, "A Cluster Head Decision System for Sensor Networks Using Fuzzy Logic and Number of Neighbor Nodes", Proc. of IEEE Ubi-media-2008, Lanzhou, China, 2008. 7. 15-16.

23. T. Yang, M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, A. Durresi, F. Xhafa, "Routing Efficiency of AODV and DSR in Ad-Hoc Sensor Networks", Proc. of MNSA-2008/ ICDCS-2008, Beijing, China, 2008. 6. 17-6. 20.

24. M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, and M. Takizawa, "A BAT in the Lab: Experimental Results of New Link State Routing Protocol", Proc. of IEEE AINA-2008, Okinawa, Japan, 2008. 3. 25-3. 28.

25. G. De Marco, M. Tadauchi, L. Barolli, "CAVENET: Description and Analysis of a Toolbox for Vehicular Networks Simulation, Proc. of PMAC-2WN-2007/ ICPADS-2007, Hsinchu, Taiwan, 2007. 12. 5-12. 7.

26. T. Yang, L. Barolli, M. Ikeda, A. Durresi, F. Xhafa, "Network Energy Consumption in Ad-Hoc Networks Under Different Radio Models", Proc. of IEEE ICPADS-2007, Hsinchu, Taiwan, 2007. 12. 5-12. 7.

27. J. Anno, L. Barolli, F. Xhafa, A. Durresi, "A Cluster Head Selection Method for Wireless Sensor Networks based on Fuzzy Logic", Proc. of IEEE TENCON-2007, Taipei, Taiwan, 2007. 10. 30-11. 2.

28. 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, 2007. 9. 10-9. 14.

29. M. Ikeda, G. De Marco, L. Barolli, "A Simple Statistical Methodology for Testing Ad-hoc Networks", Proc. of NBiS-2007, Regensburg, Germany, 2007. 9. 3-9. 7.

30. 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, 2007. 5. 21-5. 23.

〔図書〕（計　9件）

1. L. Barolli, F. Xhafa, S. Vitabile, H. Hsu, Proceedings of The 4-th International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2010), IEEE Computer Society Press, 1169 pages, 2010.

2. L. Barolli. W. C. Feng, Proceedings of International Conference on Parallel Processing (ICPP-2009) Workshops, IEEE Computer Society Press , 611 pages, 2009.

3. A. Durresi, L. Barolli, M. Uehara, T. Enokido, M. Takizawa, E. Shakshuki, Proceedings of 3rd International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS-2009), IEEE Computer Society Press, 622 pages, 2009.

4. L. Barolli, F. Xhafa, H. Hsu, Proceedings of The 3-rd International

Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2009), IEEE Computer Society Press, 1257 pages, 2009.

5. M. Takizawa, L. Barolli, T. Enokido, Proceedings of 2nd International Conference on Network-Based Information Systems (NBiS-2008), Springer, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), 324 pages, 2008.

6. F. Xhafa, L. Barolli, Proceedings of The Second International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2008), IEEE Computer Society Press, 1016 pages, 2008.

7. L. Barolli, T. Grill, T. M. Nguyen, D. Tjondronegoro, I. K. Ibrahim, Frontiers in Mobile and Web Computing: Proceedings of MoMM-2007 and iiWAS-2007 Workshops, Austrian Computer Society Press, 286 pages, 2007.

8. T. Enokido, L. Barolli, M. Takizawa, Proceedings of First International Conference on Network-Based Information Systems, Springer, Lecture Notes in Computer Sciellce, 544 pages, 2007.

9. L. Barolli, A. M. Tjoa, Proceedings of The First International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIS-2007), IEEE Computer Society Press, 395 pages, 2007.

〔その他〕
ホームページ等

http://www.fit.ac.jp/~barolli

６．研究組織
(1)研究代表者
バロリ　レオナルド（BAROLLI LEONARD）
福岡工業大学・情報工学部・教授
研究者番号：４０３１２７２２