

機関番号：21602

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700068

研究課題名（和文） 分散型無線センサーネットワークにおける信頼、安定、省電力コンピューティング

研究課題名（英文） On Reliable, Secure and Energy-Efficient Computing in Distributed Wireless Sensor Networks

研究代表者

Song Guo (SONG GUO)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級准教授

研究者番号：30468136

研究成果の概要（和文）：2008-2010 年度において我々は、提案した研究方法・計画案に従い、以下の課題について包括的に研究した。(1) 私たちは無線センサーネットワークにおける最大ライフタイム化できるマルチキャスト木を見つける最適化問題を研究した。私たちは分配され実行する場合の性能を保証できる発見的アルゴリズムを提案した。(2) 私たちはモバイルセンサーネットワークで典型的なローカライズ問題、つまり目標追跡問題を研究した。私たちは目標を追跡するのにかかわるセンサの数を減少させることと、クラスタヘッドに送られるデータ量を減少させることによってエネルギー消費量を減らす低エネルギー目標追跡プロトコルを提案した。(3) 私たちはプレ分配スキームを研究した。そこでは、ノード間で交換されるメッセージを暗号化するのに秘密鍵が使用されている。(4) 私たちは、フレキシブルで効率的な鍵配布スキームを提案することによって、再生可能な WSNs に先行研究を広げることができた。(5) 現在のコンテキスト情報に基づいて、動的にワークフロー実行を調整できるシチュエーション・アウェアなマネジメント・アルゴリズムとコンテキストを考案した。

研究成果の概要（英文）：We conducted the project in 2008-2010 by solving the following important problems. (1) We study an optimization problem in wireless sensor networks that is to find a multicast tree with maximum lifetime. We propose a heuristic algorithm that runs in a distributed fashion with guaranteed performance. (2) We study a typical localization problem in mobile sensor networks: the target tracking problem. We propose an energy efficient target tracking protocol that reduces energy consumption by reducing the number of sensors involved in tracking the target and also by reducing the amount of data being sent to the cluster head. (3) We study the key pre-distribution schemes, in which secret keys are used to encrypt the exchanged messages between communicating nodes. (4) We extend the previous contribution to the renewable WSNs by proposing a flexible and efficient key distribution scheme. (5) We propose a context model for and a situation-aware management algorithm that can dynamically adjust workflow execution behaviors based on current context information.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：ユビキタスコンピューティング

1. 研究開始当初の背景

低消費電力の無線通信とマイクロエレクトロニクスにおける最近の技術進歩は、センサノードが協力してイベントや現象を感知したり、センサデータを処理して、それらをリレーしてユーザー（情報収集者）に伝達するという面で、ワイヤレスのセンサーネットワーク (WSN) の発展に大いに貢献してきた。WSNs は 21 世紀の最も重要な技術の 1 つとされている。戦場の監視や管理などの軍事利用はいまだに WSNs の最も重要な用途のひとつであるけれども、環境、生息地、道路交通、ヘルスケアの状態のモニタリング、カタストロフィー(山火事、地震、山崩れなど)、事故、およびインフラストラクチャ修理保全の監視や検出などの WSNs の民間アプリケーションはここ数年重要性を増している。しかしながら、多くの技術的難関が、WSNs の広範囲の商業展開が実現する前に、解決される必要がある。

2. 研究の目的

(1) ポジションベースのルーティング、イベント発見、目標追跡などのアプリケーションをサポートするため、私たちは、WSN のセンサノードの地理的な位置を得るために様々なローカライズアルゴリズムを研究する。

(2) WSN の多くのアプリケーションがセンサノードとデータコレクタの間の安全で信頼できるデータ送信を必要とする。私たちはセンサーネットワークから悪意のあるノードを検出して、隔離できるための鍵配布のためのスケラブルなセキュリティ・プロトコルを提案する。

(3) 状況変化(例えば、ノードとリンクのダウン、QoS の変化など)に応じて最も良い性能を提供するために、私たちは効率的なデータ処理のためのコンテキスト・シチュエーション・アウェアなメカニズムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 無線センサーネットワークに関するエネルギー・アウェアなルーティングとデータ集約アルゴリズムを提案する。解析的モデリング、コンピュータ・シミュレーション、およびプロトタイプテストで性能を評価する。

(2) センサノード位置化するための分散アルゴリズムを開発する: (i) モバイル WSNs のための低処理複雑度、隣接しているノード間の低い通信オーバーヘッド、そして高精度な分配されたシチュエーション・アウェアな

ローカライズアルゴリズムを提案する。(ii) 追加機能(例えば、全地球側位システム GPS)を持っているセンサノードとその他のノードを比較し、状況を考慮する。

(3) 安全な通信のための鍵管理プロトコルを開発する。(i) プロトコルのスケラビリティを達成するために、私たちは階層的な鍵配布メカニズムを提案する。(ii) 私たちは、再生可能なセンサーネットワークの鍵の再分配メソッドを考案する。

(4) シチュエーション・アウェアなワークフロー管理・アルゴリズムを開発する。(i) 特定の WSN アプリケーションのデータ伝送の特性と要件を調査する。(ii) 状況とアプリケーション情報の有用性を調査する。

4. 研究成果

(1) 私たちは無線センサーネットワークにおける最大ライフタイム化できるマルチキャスト木を見つける最適化問題を研究した。私たちは分配され実行する場合の性能を保証できる発見的アルゴリズムを提案した。グラフ理論のアプローチから、私たちは提案されたアルゴリズムが定数近似アルゴリズムであり、線形複雑度であることを証明できた。

(2) 私たちは設定変更可能なアンテナを使用するネットワークで同じ最適化問題を考えた。またこの問題に対し、連続と離散的な両方のタイプのアンテナに適用できる一般的な MILP(混合整数線形計画法)を開発することによって、全局的な最適の解決法を提供した。

(3) 私たちはモバイルセンサーネットワークで典型的なローカライズ問題、つまり目標追跡問題を研究した。私たちは目標を追跡するのにかかるセンサの数を減少させることと、クラスタヘッドに送られるデータ量を減少させることによってエネルギー消費量を減らす低エネルギー目標追跡プロトコルを提案した。

(4) 私たちはプレ分配スキームを研究した。そこでは、ノード間で交換されるメッセージを暗号化するのに秘密鍵が使用されている。私たちは以下のすべて特性を満たしながら、特に大規模で資源制約型 WSNs に有益な新しいプロトコルを提案した: (i) ノードキャプチャー攻撃に対して完全に防御できる(ii) ネットワークの完全な接続性を保障する(iii) 他のプロトコルと比べてストレージと通信オーバーヘッドをかなり抑えられる。

(5) 実際のアプリケーションでは、新しいネットワークデバイスは、全体のネットワークの性能がかなり下がらないようにバッテリーが減った或いは感染しているデバイスを取り替えるために時々既成のネットワークに追加される必要がある。私たちは、フレキシブルで効率的な鍵配布スキームを提案することによって、再生可能な WSNs に先行研究を広げることができた。

(6) 私たちはユーザが動き回っている間でさえ、好むサービスにアクセスできるセンサーネットワークベースのユビキタス・コンピューティングパラダイムを研究している。現在のコンテキスト情報に基づいて、動的にワークフロー実行を調整できるシチュエーション・アウェアなマネジメント・アルゴリズムとコンテキストを考案した。

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 20 件)

- [1] Deze Zeng, Song Guo and Victor Leung, “The Exploration of Network Coding in IEEE 802.15.4 Networks”, EURASIP International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, accepted.
- [2] Feilong Tang, Ilsun You and Song Guo, “A Pipeline-based Approach for Long Transaction Processing in Web Service Environment”, International Journal of Web and Grid Services, to appear in 2011.
- [3] Song Guo and Victor Leung, “A Distributed Algorithm for Min-Max Tree and Max-Min Cut Problems in Communication Networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 18, no. 4, August 2010, pp. 1067-1076.
- [4] Song Guo and Victor Leung, “Distributed Approximation Algorithms for Longest-lived Multicast in WANETs with Directional Antennas”, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 9, no. 7, July 2010, pp. 2227-2237.
- [5] Song Guo, An-Ni Shen, and Minyi Guo, “A Secure and Scalable Rekeying Mechanism for Hierarchical Wireless Sensor Networks”, IEICE Transaction on Information and Systems, vol. E93-D, no. 3, March 2010, pp.421-429.
- [6] Feilong Tang, Song Guo, and Minyi Guo, “Tier-Based Scalable and Secure Routing for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks”, IEICE Transaction on Information and Systems, vol. E93-D, no. 3, March 2010, pp.458-465.
- [7] Song Guo and Victor Leung, “Exact and Performance-Guaranteed Multicast Algorithms for Lifetime Optimization in WANETs”, Wiley Networks, vol. 55, no. 3, May 2010, pp. 287-297.
- [8] Feilong Tang, Song Guo, and Minyi Guo, “A Chain-Cluster Based Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks”, Springer Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 6, no. 1, 2010, pp. 65-83.
- [9] Long Zheng, Song Guo, and Minyi Guo, “Investigating the Energy Efficiency Potential of a Multi-core Processor with Tag Reduction”, Journal of Computer Science and Technology, accepted.
- [10] Feilong Tang, Ilsun You, Minyi Guo and Song Guo, “Context-aware Workflow Management for Intelligent Navigation Applications in Pervasive Environments”, Intelligent Automation and Soft Computing, vol. 16, no. 4, 2010, pp. 605-619.
- [11] Feilong Tang, Minyi Guo, Song Guo, and Long Zheng, “Balanced Bipartite Graph Based Register Allocation for Network Processors in Mobile and Wireless Networks”, International Journal of Mobile Information Systems, vol. 6, no. 1, March 2010, pp. 65-83.
- [12] Minyi Guo, Elizabeth Olule, Guojun Wang, and Song Guo, “Designing Energy Efficient Target Tracking Protocol with Quality Monitoring in Wireless Sensor Networks”, Journal of Supercomputing, vol. 51, no. 2, February 2010, pp. 131-148.
- [13] Feilong Tang, Minyi Guo, Song Guo, and Shui Yu, “Service-Oriented Wireless Sensor Networks and An Energy-Aware Mesh Routing Algorithm”, Ad Hoc & Sensor Wireless Networks, accepted.
- [14] Feilong Tang, Ilsun You, Song Guo, Minyi Guo, and Min Wang, “A Shadow-like Task Migration Based on Context Semantics for Mobile and Pervasive Environments”, Computing and Informatics, accepted.
- [15] An-Ni Shen, Song Guo and Minyi Guo, “A Scalable Key Pre-distribution Mechanism for Large-scale Wireless Sensor Networks”, Wiley Journal of Concurrency and Computation: Practice and Experience, vol. 21, no. 10, July 2009, pp. 1373 - 1387.
- [16] Song Guo and Annie Shen, “A Flexible and Efficient Key Distribution Scheme for Renewable Wireless Sensor Networks”, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009.
- [17] Song Guo, Minyi Guo and Victor Leung, “A Message Complexity Oriented Design of Distributed Algorithm for Long-lived Multicasting in Wireless Sensor Networks”, International Journal on Sensor Networks, vol.

- 6, nos. 3/4, November 2009, pp. 180 - 190.
- [18] Mianxiong Dong, Song Guo and Minyi Guo “Improved Resource Allocation Algorithms for Practical Image Encoding in a Ubiquitous Computing Environment”, *Journal of Computers*, vol. 4, no. 9, September 2009, pp. 873-880.
- [19] Song Guo and Oliver Yang, “A Framework for the Multicast Lifetime Maximization Problem in Energy-Constrained Wireless Ad-hoc Networks”, *ACM Wireless Networks Journal*, vol. 15, no. 3, April 2009, pp. 313 - 329.
- [20] Song Guo and Oliver Yang, “Maximizing Multicast Communication Lifetime in Wireless Mobile Ad Hoc Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 57, no. 4, July 2008, pp. 2414 - 2425.
- [学会発表] (計 45 件)
- [1] Feilong Tang, Song Guo, Minyi Guo, Minglu Li, and Cho-Li Wang, “Towards Context-Aware Ubiquitous Transaction Processing: a Model and Algorithm”, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kyoto, Japan, June 2011.
- [2] Kun You, Zhuzhong Qiang, Song Guo, Sanglu Lu, and Daoxu Chen, “QoS-aware Service Redeployment in Cloud”, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kyoto, Japan, June 2011.
- [3] Sheng Zhang, Zhuzhong Qiang, Song Guo, and Sanglu Lu, “FELL: A Flexible Virtual Network Embedding Algorithm with Guaranteed Load Balancing”, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kyoto, Japan, June 2011.
- [4] Long Zheng, Yanchao Lu, Jingyu Zhou, Minyi Guo, Hai Jin, and Song Guo, “A Scalable Multiprocessor Architecture for Pervasive Computing”, *International Conference on Grid and pervasive Computing (GPC)*, Oulu, Finland, May 2011.
- [5] Shui Yu, Guofeng Zhao and Song Guo, “Browsing Behavior Mimicking Attacks on Popular Web Sites for Large Botnets”, *IEEE International Workshop on Security in Computers, Networking and Communications (SCNC)*, in conjunction with *IEEE INFOCOM 2011*, Shanghai, China, April 2011.
- [6] Mianxiong Dong, Sherman Shen, Song Guo, and Minyi Guo, “HARVEST: A Task-objective Efficient Data Collection Scheme in Wireless Sensor and Actor Networks”, *International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC)*, Qingdao, China, April 2011.
- [7] Deze Zeng, Song Guo, Hai Jin, and Shui Yu, “On the Maximum Throughput of Two-Hop Wireless Network Coding”, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Cancun, Mexico, March 2011.
- [8] Peng Li, Song Guo, Hai Jin, and Victor Leung, “Maximum Lifetime Broadcast and Multicast Routing in Unreliable Wireless Ad-hoc Networks”, *IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom)*, Miami, FL, December 2010.
- [9] Deze Zeng, Song Guo, Zhuo Li, and Sanglu Lu, “Performance Evaluation of Network Coding in Disruption Tolerant Networks”, *ACM Asia-Pacific Symposium on Internetware (Internetware)*, Suzhou, China, November 2010.
- [10] Deze Zeng and Song Guo, “An Energy-Aware MAC Protocol for Wireless Personal Area Networks”, *IEEE International Symposium on Aware Computing (ISAC)*, Tainan, Taiwan, November 2010.
- [11] Mianxiong Dong, Long Zheng, Song Guo, and Minyi Guo, “A Probabilistic-approach based Resource Allocation Algorithm in Pervasive Computing Systems”, *IEEE International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCA SM)*, Taiyuan, China, October 2010.
- [12] Long Zheng, Hai Jin, Minyi Guo, and Song Guo, “Core-Degree Based Tag Reduction on Chip Multiprocessor to Balance Energy Saving and Performance”, *IFIP International Conference on Network and Parallel Computing (NPC)*, Zheng Zhou, China, September 2010.
- [13] Long Zheng, Mianxiong Dong, Minyi Guo, and Song Guo, “Exploring the Limits of Tag Reduction for Energy Saving on a Multi-core Processor”, *International Symposium on Embedded Multicore Systems-on-chip (MCSoc)*, San Diego, CA, September 2010.
- [14] Feilong Tang, Ilsun You, Minyi Guo, and Song Guo, “GridTDK: A Grid Transaction Development Kit”, *International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS)*, Takayama, Japan, September 2010.
- [15] Kaoru Ota, Mianxiong Dong, Junbo Wang, Song Guo, Zixue Cheng, and Minyi Guo, “Dynamic Itinerary Planning for Mobile Agents with a Content-Specific Approach in Wireless Sensor Networks”, *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Ottawa, Canada, September 2010.
- [16] Tao Hu, Minyi Guo, Song Guo, and Hirokazu Ozaki, “MTTF of Composite Web Services”,

- IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA), Taipei, Taiwan, September 2010.
- [17] Peng Li and Song Guo, “Energy Minimization in Speculative Parallelization Using Dynamic Voltage Scaling on Multicore Systems”, International Symposium on Parallel and Distributed Computing (ISPDC), Istanbul, Turkey, July 2010.
- [18] Quan Chen, Daqiang Zhang, Minyi Guo, Qianni Deng, and Song Guo, “SAMR: A Self-adaptive Map-Reduce Scheduling Algorithm in Heterogeneous Environment”, IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT), Bradford, United Kingdom, June 2010, pp. 2736 - 2743.
- [19] Song Guo, Victor Leung, and Zhuzhong Qian, “A Permutation-Based Multi-Polynomial Scheme for Pairwise Key Establishment in Sensor Networks”, IEEE International Conference on Communications (ICC), Cape Town, South Africa, May 2010.
- [20] Song Guo and Victor Leung, “A Compromise-Resilient Group Rekeying Scheme for Hierarchical Wireless Sensor Networks”, IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Sydney, Australia, April 2010.
- [21] Song Guo, Zhuzhong Qian, and Shanglu Lu, “A General Energy Optimization Model for Wireless Networks Using Configurable Antennas”, ACM Symposium on Applied Computing (SAC), Sierre, Switzerland, March 2010.
- [22] Yao Shen, Feilong Tang, and Song Guo, “A Realistic Interference Model in Ad Hoc Networks”, International Conference on Frontier of Computer Science and Technology (FCST), Shanghai, China, December 2009, pp. 292 - 297.
- [23] Tao Hu, Song Guo, and Feilong Tang, “Analysis of the Availability of Composite Web Services”, International Conference on Frontier of Computer Science and Technology (FCST), Shanghai, China, December 2009, pp. 231 - 237.
- [24] An-Ni Shen and Song Guo, “A Robust Pair-wise Rekeying Protocol in Hierarchical Wireless Sensor Networks”, ACM International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies (CoNEXT), Rome, Italy, December 2009.
- [25] Zhuzhong Qian, Song Guo, and Shanglu Lu, “Context-aware Multimedia Processing System in a Pervasive Environment”, IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom), Honolulu, HI, December 2009.
- [26] Feilong Tang and Song Guo, “A Context-Aware Model for Transaction Management in Mobile and Pervasive Computing Systems”, International Conference on Mobile Computing, Application, and Services (MobiCASE), San Diego, CA, October 2009.
- [27] Deze Zeng, Song Guo, and Minyi Guo, “An Accurate and Energy Efficient Fetch Direction Orientation Mechanism for Trace Cache”, International Symposium on Embedded Multicore Systems-on-Chip (MCSoc), Vienna, Austria, September 2009.
- [28] Mianxiong Dong, Song Guo, and Minyi Guo, “A Trade-off Approach to Optimal Resource Allocation Algorithm with Cache Technology in Ubiquitous Computing Environment”, IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE), Vancouver, Canada, August 2009, pp. 9 - 15.
- [29] Long Zheng, Song Guo, and Minyi Guo, “I-Cache Tag Reduction for Low Power Chip Multiprocessor”, IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications (ISPA), Chengdu, China, August 2009.
- [30] Deze Zeng, Song Guo, and Minyi Guo, “The Design and Evaluation of a Selective Way based Trace Cache”, International Conference on Advanced Parallel Processing Technologies (APPT), Rapperswil, Switzerland, August 2009.
- [31] Peng Li and Song Guo, “Minimizing the Energy Consumption of Behavior-Oriented Parallelization”, International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA), Las Vegas, NV, July 2009.
- [32] An-Ni Shen and Song Guo, “Key Re-establishment Protocols in Hierarchical Wireless Sensor Networks”, European Wireless (EW), Aalborg, Denmark, May 2009, pp. 184 - 188.
- [33] Song Guo, Minyi Guo, and Victor Leung, “Exploring the Multicast Lifetime Capacity of WANETs with Directional Multibeam Antennas”, IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), Rio de Janeiro, Brazil, April, 2009.
- [34] Chih-Hao Hsu and Song Guo, “Using Domain Ontology to Implement a Frequently Asked Questions System”, World Congress on Computer Science and Information Engineering (CSIE), Los Angeles, CA, April, 2009.
- [35] An-Ni Shen and Song Guo, “An Efficient and Scalable Key Distribution Mechanism for Hierarchical Wireless Sensor Networks”, IEEE Sarnoff Symposium (Sarnoff), Princeton, NJ, March - April, 2009.
- [36] Mianxiong Dong, Song Guo, and Minyi Guo,

- “An Improved Design of the Ubiquitous Learning System Based on Sensor Networks”, IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), Shanghai, China, December 2008, pp. 703 - 708.
- [37] Song Guo, Minyi Guo and Victor Leung, “A Performance Guaranteed Distributed Multicast Algorithm for Long-lived Directional Communications in WANETs”, International Conference on High Performance Computing (HiPC), Bangalore, India, December, 2008.
- [38] Mianxiong Dong and Song Guo, “Performance Analysis of Resource Allocation Algorithms Using Cache Technology for Pervasive Computing System”, International Conference for Young Computer Scientists (ICYCS), Zhang Jia Jie, China, November, 2008, pp. 671 - 676.
- [39] Song Guo, Minyi Guo and Victor Leung, “A Linear Message Distributed Multicast Algorithm with Guaranteed Directional Communication Lifetime in WANETs”, IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS), Atlanta, GA, October, 2008.
- [40] Mianxiong Dong, Song Guo and Minyi Guo, “Lifetime Approximation Schemes Allow Multicasting with Linear Message Complexity in Wireless Sensor Networks”, IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), Dalian, China, September 2008.
- [41] Song Guo, Minyi Guo, and Victor Leung, “A Trade-off Analysis on Message Complexity and Lifetime Optimality for a Distributed Multicast Algorithm in Wireless Sensor Networks”, ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC), Toronto, Canada, August 2008.
- [42] Song Guo and Victor Leung, “A Message Complexity Oriented Design of Distributed Algorithm for Long-lived Multicasting in Wireless Sensor Networks”, IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), St. Thomas, Virgin Islands, August, 2008.
- [43] Xiaofei Liu and Song Guo, “A Unified Formulation of the Multicast Lifetime Optimization Problem in WANETs”, International Conference on Wireless Networks (ICWN), Las Vegas, NV, July 2008, pp. 381 - 386.
- [44] Song Guo, Mianxiong Dong and Minyi Guo, “A Comparative Analysis of Mobility-based Lifetime-Aware Multicast Routing Protocols for MANETs”, International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous

Networking (ICMU), Tokyo, Japan, June 2008.

- [45] Xiaofei Liu, Song Guo and A. El Saddik, “Communication Complexity Evaluation for Longest-lived Directional Multicasting in WANETs”, IEEE International Conference on Communications (ICC), Beijing, China, May 2008.

〔図書〕（計 4 件）

- [1] Song Guo and Zhuzhong Qian, “A Compromise-resilient Pair-wise Rekeying Protocol in Hierarchical Wireless Sensor Networks”, Wireless Sensor Networks, INTECH, 2010.
- [2] Long Zheng, Minyi Guo, and Song Guo, “TRoCMP: An Approach to Energy Saving for Multi-core Systems”, Multi-core Hardware-Software Design and Verification Techniques, Bentham Science Publishers, 2010.
- [3] Mianxiong Dong, Long Zheng, Song Guo, and Minyi Guo, “Caching in Ubiquitous Computing Environments: Light and Shadow”, Ubiquitous Computing, INTECH, 2010.
- [4] Song Guo, Oliver Yang and Victor Leung, “Performance Evaluation of Energy Efficient Multicast Algorithms for Providing Longest Lifetime in WANETs”, Energy Efficiency Research, Nova Science Publishers, 2009.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

Song Guo (SONG GUO)

会津大学・コンピュータ理工学部・上級
准教授

研究者番号：30468136