

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2013

課題番号：21300019

研究課題名(和文) 異種ネットワークにおける管理・評価・情報サービスイノベーション

研究課題名(英文) System Management, Evaluation, and Information Service Innovation for Heterogeneous Networks

研究代表者

李 頤(LI, JIE)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：50251046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円、(間接経費) 4,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、システムの性能、安全性、信頼性などの観点から無線アドホックネットワーク、センサネットワーク、有線ネットワークなどからなる異種ネットワークにおける管理・評価・情報サービスイノベーションについて積極的に取り組んだ。特に異種ネットワークの環境における異なる移動性に対応している省電力の経路選択とメディアアクセス制御の原理を研究し、その管理と評価の手法を提案した。また、異種ネットワークの信頼性と安全性の観点から異種ネットワークのアーキテクチャの構造と安全の情報認証の管理と評価原理を解明し、その管理及び評価する原理と手法を提案した。提案した管理と評価の原理と手法の応用についても積極的に研究した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we study the network maintenance, system evaluation, information innovations for heterogeneous networks including wireless ad hoc networks, sensor networks, and wired networks. Specially, we proposed the theoretical frameworks and algorithms for implementing power-efficient routing and MAC (Media Access Control) algorithms in the heterogeneous networks. We also study the security and reliability of the heterogeneous networks and have proposed efficient theoretical frameworks and implementing algorithms. We have studies how to implement the proposed theoretical frameworks and algorithm for the information service innovations in the heterogeneous networks.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：異種情報ネットワーク ネットワークアーキテクチャ 信頼性 安全性 システム評価 情報サービス 相互接続性

1. 研究開始当初の背景

近年、情報処理と通信技術は急速に進歩している。その革新的な情報処理通信技術である各種の情報ネットワークとそのサービスイノベーションは、世界中に大いに注目されている。

高度情報化時代には、光通信有線ネットワーク、セルラーネットワーク、モバイル IP ネットワーク、無線 LAN、無線アドホックネットワーク、無線センサネットワークなど様々な異種ネットワークが混在している。それら異種無線有線ネットワークは一定の規模になると、サービス領域を重ねたりしている。特に貴重な無線資源の相互利用と相互接続のニーズが現在非常に高まっている。それらの無線ネットワークの基幹ネットワークとして情報サービスを支えているのは有線の光通信ネットワークである。異種無線ネットワーク情報ネットワークの接続の易さ、利便性、低コストと高収益性などのため、無線情報ネットワークの利用者数年々急増している。異種ネットワークでの高度の情報サービスイノベーションの機運はますます高まっている。

2. 研究の目的

本研究では、異種有線無線ネットワークの相互接続と資源の相互利用に着目し、情報サービスイノベーションを意識し、異種ネットワークの性能、安全性及び信頼性を向上させる定量的な管理及び評価について研究を行う。異種ネットワークにおける管理と評価について、まず、有線無線混合の異種ネットワーク間の QoS (サービス品質) 及びセキュリティの要求を満たす移動性管理について、高度な数理的な解析モデルを研究する。そして、異種ネットワークの環境における異なる移動性に対応している省電力の経路選択とメディアアクセス制御の原理を明らかにし、その管理と評価の手法を確立する。また、異種

ネットワークの信頼性の観点から異種ネットワークのアーキテクチャの構造を解明し、その信頼性の管理及び評価する原理と手法を明らかにする。安全性の観点からの異種ネットワークの管理と評価について、本研究では、情報サービスイノベーションに必ず必要とする安全の情報認証の管理と評価に重点を置き、異種ネットワークにおいて情報サービス利用のための認証、通信に使用される鍵の管理などの安全性の管理と評価の原理と手法を研究する。

本研究で目指している異種ネットワークにおける管理及び評価では、システムの性能だけではなく、システムの省エネ、信頼性と安全性を統合的に考慮している。

3. 研究の方法

本研究では、複雑かつ多様な有線無線混合異種ネットワークの相互接続と資源の相互利用に着目し、情報サービスイノベーションを意識し、異種ネットワークの性能、安全性及び信頼性を向上させる管理及び評価について研究を行った。具体的には、高度な情報サービスイノベーションをサポートできる異種ネットワークの移動性管理、省電力の経路制御とメディアアクセス制御、高性能・高安全性・高信頼性の管理及び評価の原理と手法を研究した。さらに、その管理と評価の基盤技術を用いて、情報サービスイノベーションの原理と手法について研究を行った。具体的に以下のように三つの段階に分けて精力的に研究に取り組んだ。

- (1) 異種情報ネットワークにおける移動性管理、省電力の経路選択及びメディアアクセス制御の原理を解明し、その手法を提案した。
- (2) 信頼性と安全性の観点から情報サービスイノベーションを考慮した異種ネットワークのアーキテクチャ、管理及び評

価の原理及び実現手法について研究し、新たに提案した。

- (3) 情報サービスイノベーションの原理と手法について研究し、その実用化の手法について研究を行った。

4. 研究成果

情報システムの性能と信頼性と安全性の総合的な観点から情報サービスイノベーションを考慮した異種ネットワークのアーキテクチャ、管理及び評価の原理及び実現手法について精力的に研究を行った。主な成果は以下の通りである。

- (1) 無線アドホックネットワークと無線センサーネットワークシステムの性能、信頼性、安全性について評価を行うため、その信頼性の評価基準（稼働率、平均故障間隔など）、安全性の評価基準を研究し、その評価原理と手法を提案した。
- (2) クロスレイヤの手法を用いて、無線アドホックネットワークの経路選択（routing）とメディアアクセス制御（Media Access Control）の問題を定式化し、省エネを実現できる省電力かつ効率的な経路選択とメディアアクセス制御の最適管理と評価の原理と実現手法を確立にした。
- (3) 無線センサネットワークから大量の連続的なデータを収集するための分散コーディング手法を新たに提案した。性能評価とシミュレーションにより、提案手法の有効性を明らかにした。
- (4) 車両間アドホックネットワークにおけるプライバシーを保護するためのIDベース認証フレームワークと条件付きプライバシー保護と否認防止機能を持つ認証フレームワークを新たに提案し、その有効性を示した。
- (5) センサネットワークの安全に情報放送を実現するために、省電力かつ効率のよ

い情報放送の認証方式を新たに提案した。また、関連のセンサネットワークにおける全体時間について研究し、その原理と軽量的な実現手法を新たに提案し、その有効性を示した。

- (6) 異種のセンサーノードを持つセンサネットワークにおける電力の配分を研究し、問題を定式化した。そして、ネットワークの寿命を最大化する最適な電力配分法を新たに提案し、その有効性を示した。
- (7) センサネットワークを用いて情報サービスを行う際に、目標をカバーする問題を研究している。我々はその問題をカバー時間の長さの時間とカバー領域の空間の両面から問題を定式化し、最適な目標カバーのスケジュールアルゴリズムを提案し、その解を求めた。
- (8) アドホックネットワークを用いて、緊急時のサービスを行う自己支援協調ネットワークを研究し、その原理と実現手法を研究した。
- (9) 無線協力型異種ネットワークにおけるセキュリティを考慮したキャパシティの *secrecy capacity*（秘密のキャパシティ）を評価基準として、その最適化する原理と手法を新たに提案して、その有効性を示した。
- (10) 一つの有線・無線・センサネットワークを構築していた。そのネットワークの上に、提案した管理評価技術の検証及び情報イノベーションを考案した。

それらの研究成果は、ACM Transactions on Sensor Networks、IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS)、IEEE Transactions on Wireless Communications (IEEE TWC)、などを中心に国際的に影響のある学術論文誌において多数発表された。また、競争率が5倍を超えたIEEE INFOCOM、IEEE ICC、IEEE WCNCなどの

国際学術会議で発表された。

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 33 件)(全て査読付)

Xiucan Ye, Jie Li, and Li Xu, "Distributed Separate Coding: Concept, Method, and Performance for Continuous Data Collection in Wireless Sensor Networks with a Mobile Base Station," ACM Transactions on Sensor Networks (ACM TOSN), accepted. Jie Li, Huang Lu, and Mohsen Guizani, "ACPN: A Novel Authentication Framework with Conditional Privacy-preservation and Non-repudiation for VANETs," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS), accepted. DOI: 10.1109/TPDS.2014.2308215
Xiaoyan Wang and Jie Li, "Improving the Network Lifetime of MANETs through Cooperative MAC Protocol Design," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS), accepted. DOI: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPDS.2013.110>
Huang Lu, Jie Li, and Mohsen Guizani, "Secure and Efficient Data Transmission for Cluster-based Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS), accepted. DOI: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPDS.2013.43>
Xiaoyan Wang, Jie Li, and Feilong Tang, "Network Coding Aware Cooperative MAC Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS), accepted. DOI: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPDS.2013.22>
Feilong Tang, Leonard Barolli, Jie Li, "A Joint Design for Distributed Stable Routing and Channel Assignment over Multi-Hop and Multi-Flow Mobile Ad Hoc Cognitive Networks," IEEE Transactions on Industrial Informatics (IEEE TII), vol. 25, issue 1, pp. 167-179, January 2014. DOI: 10.1109/TII.2012.222887
Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, and Baohua Zhao, "An Optimal Algorithm for Solving Partial Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks," Wireless Communications and Mobile

Computing, vol. 13, issue 13, pp.1205-1219, September 2013. DOI: 10.1002/wcm.1173

Ruidong Li and Jie Li, "Requirements and design for neutral trust management framework in unstructured networks," The Journal of Supercomputing, Volume 64, Issue 3, Page 702-716, June, 2013. DOI: 10.1007/s11227-010-0502-3

Lasheng Yu, Jie Li, Renjie Liu, "An effective data collection algorithm for wireless sensor network," Computing (Springer), vol. 95, No. 9, pp.723-738, Sept. 2013. DOI: 10.1007/s00607-012-0249-1

Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, and Baohua Zhao, "ESWC: Efficient Scheduling for the Mobile Sink in Wireless Sensor Networks with Delay Constraint," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 24, issue 7, July 2013. DOI: 10.1109/TPDS.2012.210
Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, Baohua Zhao, "Covering Targets in Sensor Networks: From Time Domain to Space Domain," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (IEEE TPDS), vol. 23, issue 9, pp. 1643-1656, Sept. 2012.

DOI: 10.1109/TPDS.2012.99

Yongsheng Liu, Jie Li, and Mohsen Guizani, "PKC based Broadcast Authentication using Signature Amortization for WSNs," IEEE Transactions on Wireless Communications (IEEE TWC), vol. 11, issue 6, pp. 2106-2115, June 2012. DOI: 10.1109/TWC.2012.032812.110433

Biao Han, Jie Li, Jingshu Su, Jiannong Cao, "Self-supported Cooperative Networking for Emergency Services in Multi-hop Wireless Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications (IEEE JSAC), pp. 450-457, vol. 20, issue 2, February, 2012. DOI: 10.1109/JSAC.2012.120225

Keqin Li and Jie Li, "Optimal Energy Allocation in Heterogeneous Wireless Sensor Networks for Lifetime Maximization," Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC), vol. 72, issue 7, pp. 902-916, July, 2012. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jpdc.2012.03.001>

Pan Li, Yuguang Fang, Jie Li, and Xiaoxia Huang, "Smooth Trade-offs Between Throughput and Delay in Mobile Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing (IEEE TMC), vol. 11, no issue 3, pp. 427-438, March 2012. DOI: 10.1109/TMC.2011.54

Khoriba Ghada, Jie Li, and Yusheng Ji, "Cross-Layer Design for Topology Control and Routing in MANETs,"

Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), Wiley, vol. 12, issue 3, pp. 257-267, February 2012. DOI: 10.1002/wcm.957

Hui Zhou, Pingyi Fan, Jie Li, "Global Proportional Fair Scheduling for Networks with Multiple Base Stations," IEEE Transactions on Vehicular Technology (IEEE TVT), vol. 60, issue 4, pp. 1867-1879, May 2011. DOI: 10.1109/TVT.2011.2119502

Wei Li, Jie Li, and Pingyi Fan, "Network Coding for Two-way Relaying Networks over Rayleigh Fading Channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology (IEEE TVT), vol. 59, no. 9, pp. 4476-4488, November 2010. DOI: 10.1109/TVT.2010.2053947

Khoriba Ghada, Jie Li, and Yusheng Ji, "Energy and Mobility-aware Topology Control in Heterogeneous Mobile Ad hoc Networks," International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE), vol.5, no.2, pp.147-153, November, 2010.

DOI: 10.1504/IJCSE.2010.036824

Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, and Baohua Zhao, "QoS-aware Target Coverage in Wireless Sensor Networks," Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), Wiley, pp. 1645-1659, vol. 9, issue 12, 2009. DOI: 10.1002/wcm.748

その他査読付雑誌論文 13 件

[学会発表](計 36 件)(全て査読付)

Biao Han, Jie Li, and Jinshu Su, "Optimal Relay Assignment for Secrecy Capacity Maximization in Cooperative Ad-hoc Networks," Proceedings of IEEE ICC 2013 - Wireless Networking Symposium ('ICC'13 WN'), pp. 4721-4725, June 9-13, 2013, Budapest, Hungary.

Biao Han, Jie Li, "Capacity Maximization for Secure Cooperative Ad-hoc Networks," Proceedings of the 32nd IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2013), pp. 2896-2904, April 14-19, 2013, Turin, Italy.

Biao Han, Jie Li, and Jinshu Su, "Optimal Relay Node Placement for Multi-pair Cooperative Communication in Wireless Networks," Proceedings of the 2013 IEEE Wireless Communication and Networking Conference (IEEE WCNC), pp. 4771-4776, April 7 - 10, 2013, Shanghai, China.

Xiucui Ye, Jie Li, Li Xu, "Data Collection in Wireless Sensor Networks with a Mobile Base Station," Proceedings of the 2013 IEEE Wireless Communication and Networking Conference (IEEE WCNC), pp. 1151-1156, April 7 - 10, 2013, Shanghai, China.

Yongsheng Liu, Jie Li, and Minyi Guo, "Long Duration Broadcast Authentication for Wireless Sensor Networks," Proceedings of 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 2012 Spring), 5 pages in CD-ROM, Yokohama, Japan, May 6-9, 2012.

Jie Li, Xiucui Ye, and Li Xu, "A Novel Data Collection Scheme for WSNs," Proceedings of 2012 IEEE 75th Vehicular Technology Conference (IEEE VTC 2012 Spring), 5 pages in CD-ROM, Yokohama, Japan, May 6-9, 2012.

Yongsheng Liu, Jie Li, and Mohsen Guizani, "Lightweight Secure Global Time Synchronization for Wireless Sensor Networks," Proceedings of 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE WCNC 2012), pp. 2339-2344, Paris, France, April 1-4, 2012.

Biao Han, Jie Li, Yuguang Fang, Jinshu Su, "GATORS: Geographic-Aware Transmission Relay Placement Schemes for Capacity Maximization in Cooperative Networks," The 31th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM'12), Poster Session, 2 pages, Orlando, Florida, USA, 25-30 March, 2012.

Xiucui Ye, Jie Li, Li Xu, and Mohsen Guizani, "A Novel Data Collection Scheme with Cluster-based Separate Network Coding for WSNs," Proceedings of Computing, Communications, and Applications Conference (ComComAp 2012), pp. 18-23, HKUST, Hong Kong, China, January 11-13, 2012.

Huang Lu, Jie Li, Mohsen Guizani, "A Novel ID-based Authentication Framework with Adaptive Privacy Preservation for VANETs," Proceedings of Computing, Communications, and Applications Conference (ComComAp 2012), pp. 345-350, HKUST, Hong Kong, China,

January 11-13, 2012.

Yongsheng Liu, Yu Gu, Guolong Chen, Yusheng Ji, Jie Li, "A Novel Accurate Forest Fire Detection System using Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 7th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2011), pp. 52-59, IEEE Computer Press, December 16-18, 2011, Beijing, China.

Jie Li, Xiucan Ye, and Yusheng Ji, "A Novel Network Coding Scheme for Data Collection in WSNs with a Mobile BS," Proceedings of the 7th International Workshop on Databases in Networked Information Systems (DNIS 2011), Springer Lecture Notes in Computer Science (LNCS), No. 7108, pp. 296-311, Aizu-Wakamatsu, Japan, December 12-14, 2011.

Biao Han, Jie Li, and Jinshu Su, "Self-supported Congestion-aware Networking for Emergency Services in WANETs," Proceeding of the 30th IEEE International Conference on Computer Communication (IEEE INFOCOM 2011), 9 pages in CD-ROM, Shanghai, China, April 10-15, 2011.

Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, Hongyang Chen, Baohua Zhao, and Athanasios Vasilakos, "Scheduling Sinks in Wireless Sensor Networks: Theoretic Analysis and An Optimal Algorithm," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC2011), 6 pages in CD-ROM, Kyoto, Japan, June 5-9, 2011.

Xiaofei Xing, Jie Li, and Guojun Wang, "Integer Programming Scheme for Target Coverage in Heterogeneous Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 6th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2010), 7 pages in CD-ROM, IEEE Press, December 20-22, 2010, Hangzhou, China.

Huang Lu, Jie Li, and Hisao Kameda, "A Secure Routing Protocol for Cluster-based Wireless Sensor Networks Using ID-based Digital Signature," Proceedings of IEEE Global Communications Conference (IEEE Globecom 2010), 6 pages in CD-ROM, IEEE Press, December 6-10, 2010, Miami, Florida, USA.

Xiaoyan Wang, Jie Li, Xiaoning Peng,

and Beiji Zou, "Secure and Efficient Data Aggregation for Wireless Sensor Networks," Proceedings of 2010 IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall (IEEE VTC 2010 Fall), 5 pages in CD-ROM, 6-9 September 2010, Ottawa, Canada.

Kui Wu, Juming Jiang, Jie Li, "On the Model Transform in Stochastic Network Calculus," Proceedings of IEEE International Workshop on Quality of Service (IEEE IWQoS 2010), 10 pages in CD-ROM, Beijing, China, June 16-18, 2010.

Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, Hongyang Chen, Baohua Zhao, and Fengchun Liu, "Towards an Optimal Sink Placement in Wireless Sensor Networks," Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2010), Cape Town, May 23-27, South Africa, 2010.

Pan Li, Yuguang Fang, and Jie Li, "Throughput, Delay, and Mobility in Wireless Ad Hoc Networks," Proceedings of The 29th IEEE International Conference on Computer Communications (IEEE INFOCOM 2010), 10 pages in CD-ROM, San Diego, CA, USA, March 15-19, 2010.

その他査読付学会発表論文 16 件

6 . 研究組織

(1)研究代表者

李 韻 (LI, Jie)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号 : 50251046

(2)研究分担者

亀田 壽夫 (KAMEDA, Hisao)
筑波大学・名誉教授
研究者番号 : 10011660

海老原 義彦 (EBIHARA, Yoshihiko)
筑波大学・名誉教授
研究者番号 : 00101155

加藤 ジェーン (KATO, Jien)
名古屋大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号 : 70251882