

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：12102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21650013

研究課題名（和文）

ネットワークコーディング理論及び高度情報ネットワークへの応用と評価

研究課題名（英文）

Theory of Network Coding and Its Applications and Evaluation
in Advanced Information Networks

研究代表者

李 頡 (LI, JIE)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：50251046

研究成果の概要（和文）：

ネットワークコーディングとは、通信ルータのパケットルーティング、フォワーディング機能にデータパケット同士の演算をさせる機能を付加するものである。ネットワークコーディングは、高度化している情報ネットワークの性能、省電力性、信頼性などを向上できる革新的な技術として注目されている。本研究では、特に高度な無線アドホックネットワーク及び無線センサーネットワークにおける有効なネットワークコーディングの方式、応用及び評価について研究を行った。

研究成果の概要（英文）：

The network coding is an emerging technique adding the arithmetical coding to the transmitted packets. The network coding has a great potential to enhance the data packet transmission performance, energy saving, reliability of advanced information networks. In this research, we have investigated the efficient network coding mechanisms specifically for wireless ad hoc networks and wireless sensor networks. Furthermore, the important applications and system evaluation issues have been studied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	0	900,000
2010年度	1,100,000	0	1,100,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	330,000	3,430,000

研究分野：情報学

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：ネットワークアーキテクチャ、定量的評価

1. 研究開始当初の背景

インターネットや移動体ネットワークなどの現代の情報ネットワークの利用者は増え続け、やり取りされる情報もメールや音楽、テレビ、映画とさまざまで、データ量は激増している。現代の情報ネットワークでは、大都市の道路事情と同様、情報通信ネットワークの渋滞解消が大きな課題だ。ネットワークコーディングは、情報ネットワークの渋滞を解消する革新的な技術として脚光を浴びている。

ネットワークコーディングとは、本来通信ルータはパケットをルーティング、フォワーディングする役割を持つが、その機能にデータパケット同士の演算をさせる機能を付加し効率的な伝送を実現するものである。原理的にネットワークコーディングでは、従来のネットワークのスループットを向上させ、消費電力を低減し、信頼性や安全性を高める可能性を示している。新世代ネットワークの基盤技術への応用技術として、優れた可能性も示している。その技術は、マルチキャストを利用するため、特に無線ネットワークなどへの応用が有効であると考えられる。

しかし、現在その技術では、データパケット同士の演算は足算など簡単な線形ネットワークコーディング方式しかない。また、近年ますます重要になる高度な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への応用原理と評価についてまだ不十分である。また、現実で複雑な無線アドホックネットワークとセンサーネットワークの性能、省エネ性、信頼性、安全性をどの位高めるかについて定量的研究は不十分である。

2. 研究の目的

本研究では、既存のネットワークコーディング方式における足算の混ぜ合わせなどの線形的な演算に、掛算、割算、確率を導入し、現実で複雑な情報ネットワークに対応できる非線形確率ネットワークコーディング方式を考案する。その非線形確率ネットワークコーディングの原理と手法を解明する。また、ますます重要になる高度な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への応用原理と評価について研究を行う。さらに、高度な情報ネットワークの性能と信頼性をどの位高めるかについて定量的に図る基準と手法を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 現実で複雑な情報ネットワークに対応できる非線形かつ確率ネットワークコーディング方式については、まず掛算と割算に対応しているネットワークコーディング方式の原理を解明し、ネットワークルーティングへの応用ができる手法を開発する。さらに、確率の概念を導入し、その対応のネットワークコーディング方式の原理と方式を研究する。
- (2) 高度な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への応用原理と評価については、従来のネットワークルーティングに対応しているネットワークコーディング方式を拡張し、情報を収集する際のデータコーディングとデコーディング方式を新たに提案する。また、協調型通信 (Cooperative communications) におけるネットワークコーディング対応のメディアアクセス制御 (Media Access Control) 方式を提案する。

4. 研究成果

情報ネットワークのデータを演算させ、データ転送の性能、省電力性、信頼性を向上させるネットワークコーディング技術の理論及び高度情報ネットワークへの応用及び評価について研究を行っている。特にますます重要になる無線アドホックネットワーク及び無線センサーネットワークにおける有効なネットワークコーディング方式の確立を目指す。具体的には、以下の研究を行った。

- (1) 従来のネットワークコーディングの方式を拡張し、ユビキタス情報ネットワークの重要な一つであるセンサーネットワークにおいて、車やヘリコプターの上に載せている移動基地局による連続データ収集の原理を研究し、個別ネットワークコーディング (Separate Network Coding) 手法を新たに提案した。計算モデルと数字シミュレーションを用いて、提案した手法の有効性を明らかに示した。さらに、クラスタベースの個別ネットワークコーディングの手法も提案した。
- (2) ネットワークコーディングの手法を用いて、これから有望な協調通信 (Cooperative Communications) において、無線情報ネットワークに適しているメディアアクセス制御 (Media Access Control) の原理を研究して、その実現手法を提案している。
- (3) 研究の拡張として、無線情報ネットワークの適応的な中継による転送率を向上させる原理を研究し、その実現手法を新たに提案した。システム評価により、提案手法の優位性を示した。
- (4) 無線情報ネットワークのようなマルチ

基地局を持ちネットワークの QoS (Quality of Service) を向上するための全体比例の公平スケジューリング方式とその原理を研究し、その実現手法を提案した。

- (5) 既存のネットワークコーディング方式における足算の混ぜ合わせなどの線形的な演算のほかに、掛算、割算、転送の確率を新たに導入し、それに対応している非線形かつ確率ネットワークコーディング方式の数理的な枠組を解明している。

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4件)

- (1) Xiaoyan Wang, Jie Li, Kui Wu, and Huaibei Liu, "Transmission Rate Enhancement via Adaptive Relaying in Wireless Networks," International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems, accepted. 査読有.
- (2) Yu Gu, Yusheng Ji, Jie Li, and Baohua Zhao, "An Optimal Algorithm for Solving Partial Target Coverage Problem in Wireless Sensor Networks," accepted by Wireless Communications and Mobile Computing, 2011. 査読有.
- (3) Hui Zhou, Pingyi Fan, and Jie Li, "Global Proportional Fair Scheduling for Networks with Multiple Base Stations," IEEE Transactions on Vehicular Technology (TVT), pp.

1867-1879, vol. 60, issue 4, May 2011.
査読有.

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

[学会発表] (計 1 1 件)

- (1) Jie Li, Xiucai 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, Intercontinental Yokohama Grand, Yokohama, Kanagawa Prefecture, Japan, May 6-9, 2012, accepted. 査読有.
- (2) Xiaoyan Wang, Jie Li, and Mohsen Guizani, "NCAC-MAC: Network Coding Aware Cooperative Medium Access Control for Wireless Networks," Proceedings of 2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (IEEE WCNC 2012), pp. 1646-1651, Paris, France, April 1-4, 2012. 査読有.
- (3) Xiucai 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. 査読有.

- (4) Jie Li, Xiucai 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, University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Fukushima Prefecture, Japan, December 12-14, 2011. 査読有.
- (5) Yu Gu, Baohua Zhao, Yusheng Ji, and Jie Li, "Scheduling Multiple Sinks in Wireless Sensor Networks: A Column Generation Based Approach," Proceedings of IEEE Wireless Communications & Networking Conference (IEEE WCNC 2011), pp. 487 - 491, Cancun, Mexico, March 28-31, 2011. 査読有.
- (6) 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. 査読有.
- (7) Yu Gu, Baohua Zhao, Yusheng Ji, and Jie Li, "Scheduling Multiple Sinks in Wireless Sensor Networks: A Column Generation Based Approach," Proceedings of IEEE Wireless Communications & Networking Conference (IEEE WCNC 2011), pp. 487

- 491, Cancun, Mexico, March 28-31, 2011. 査読有.

- (8) 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. 査読有.
- (9) Kui Wu, Juming Jiang, and 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. 査読有.
- (10) Xiaoyan Wang and Jie Li, "Precision Constraint Data Aggregation in Dynamic Cluster-based Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2009), 8 pages in CD-ROM, IEEE Press, December 14-16, 2009, WuYi, China. 査読有.
- (11) Wei Li, Jie Li, and Pingyi Fan, "Optimal Date Rate and Opportunistic Scheme on Network Coding Over Rayleigh Fading Channels," Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN 2009), 8 pages in CD-ROM, IEEE Press, December 14-16, 2009, WuYi, China. 査読有.

[その他]

ホームページ等

<http://www.osdp.cs.tsukuba.ac.jp/~lijie>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

李 頔 (LI JIE)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号 : 50251046