

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 ～ 2010

課題番号：21760280

研究課題名（和文） 無線通信多次元空間のためのネットワークコーディング

研究課題名（英文） Network Coding for Wireless Multi-dimensional Space

研究代表者

小野 文枝 (ONO FUMIE)

横浜国立大学・工学研究院・助教

研究者番号：20385537

研究成果の概要（和文）：

本研究は、多次元に拡大している無線通信ネットワークのための MIMO ネットワークコーディング法を検討し、その特性を明らかにすることを目的としている。研究期間内において、二次元、三次元に適したネットワークコーディング法を提案し、その性能を理論解析により評価している。その結果、提案したネットワークコーディング法は、それぞれの次元において、従来法の約 2 倍の性能を達成可能であることを明らかにしている。

研究成果の概要（英文）：

To achieve the high reliability and efficiency, MIMO network coding for multi-dimensional wireless networks is considered and the network performance are evaluated by theoretical analysis in this study. In particular, MIMO network coding for two-dimensional and three-dimensional wireless networks are proposed. As a result, MIMO network coding can supply about 2.0 times higher performance than the conventional network coding.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2009 年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2010 年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 1,900,000 | 570,000 | 2,470,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：ネットワークコーディング、MIMO

1. 研究開始当初の背景

無線通信機能を有した機器の増大及びネットワークの拡大やアプリケーションの多様化により、無線通信環境の多次元空間化が進んでいる。一次元空間では、送信機や受信機（以下ノード）が線上に配置され、二次元空間ではそれらが面上に配置され相互に影響を及ぼし、三次元空間ではさらに立体的に配置されるため影響を及ぼす空間が拡大する。無

線通信環境の次元が拡大するにしたがって、(1)線や面が交差する点がボトルネックとなり、ネットワーク全体の性能が劣化する、(2)与干渉・被干渉の空間が拡大するため、それぞれの次元で行われてきた干渉回避法をそのまま多次元空間に適用するためには、より多くの周波数チャネルなどの無線資源を必要とする、そして、(3)多次元空間にわたる周波数チャネルなどの無線資源の制御が複

雑化する、という問題点がある。例えば、ビルなどの無線ローカルエリアネットワーク環境では、無線アクセスポイント間の干渉を回避するために、各階(フロア)毎に周波数チャネルの割当てを設計するが、多数の無線アクセスポイントの乱立により階(フロア)内だけでなく、階(フロア)間の干渉も問題となっているところも多い。したがって、上記の問題点(1)から(3)を解決し、多次元空間へも適応可能な通信方法が望まれている。

これまでに、『一つの送信ノードから特定多数の受信ノードへ同一情報を転送する場合、その最大フローを実現する演算(コーディング)が任意のネットワークに存在する』というネットワークコーディング定理が R. Ahlswede らによって証明されている。これは、無線通信環境の中継ノードにおいて、限られた無線資源を利用して達成できるリンク容量(1 リンクあたりに伝送可能なデータ量)をネットワーク全体で最大限に活用できる演算(コーディング)方法が存在する、ということである。無線通信環境にネットワークコーディングを適用することは、パケットの送信回数の低減により、問題点(1)を改善することが可能となる。さらに、無線通信では、本来信号を届ける必要のないノードへも信号が受信されるというブロードキャスト性を有していることから、この性質を積極的に利用することで、リンク容量の利用効率を向上することができると考えられている。このことは、ネットワークの周波数チャネルなどの無線資源を節約可能となり、問題点(2)(3)を解決することへ繋がる。研究開始当時までの検討では、無線通信環境における物理層やデータリンク層などの下位層の観点から行われているネットワークコーディングの研究は、コーディングすることにより送信に利用する無線資源の高効率化に主眼をおいたものがほとんどであり、受信に利用する無線資源の高効率化は含まれていない。

一方、本申請人は、Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) とネットワークコーディングを用いて、送信だけではなく受信に利用する無線資源の高効率化を図る方法を考案しているが、研究開始当時の検討は一次元空間での検討に留まっていた。

2. 研究の目的

本研究では問題点(1)から(3)を同時に解決し、多次元空間に適したネットワークコーディングを検討し、その性能を明らかにすることを目的とする。特に、各ノードが複数アンテナを送受信に利用する MIMO ネットワークコーディングを検討する。本方式は、コーディングにより送信と受信に利用する無線資源の高効率化を図るだけでなく、リンクあたりの容量も同時に増大することが可能であ

り、問題点(1)を改善することができる。また、ネットワークコーディングと送受信アンテナウェイトを効率的に組合せることで、隣接ノードからの干渉回避を単一チャネルでも実現可能であり、問題点(2)(3)を解決することができる。

3. 研究の方法

本研究は、多次元空間のためのネットワークコーディングについて行うものであり、『二次元空間におけるネットワークコーディング』と『三次元空間におけるネットワークコーディング』の二段階にわけて行い、最後に多次元空間におけるネットワークコーディングの一般化を行う。特に、平成 21 年度は、検討項目(1)二次元空間ネットワークコーディング法、(2)二次元空間における MIMO 送受信ウェイトの計算法について検討し、三次元空間への可能性を図る。そして、(3)三次元空間に適した MIMO アンテナの構成を検討する。平成 22 年度は、(4)三次元空間における MIMO 送受信ウェイトの計算法について検討し、その性能を評価する。また、(5)多次元空間におけるネットワークコーディングの性能を明らかにし、その理論を確立する。そして、(6)アプリケーションを考慮したネットワーク信頼性を評価することで、本方式の有効性を確実なものとする。

4. 研究成果

本研究は、多次元に拡大している無線通信ネットワークのためのネットワークコーディングの特性を明らかにするものである。ネットワークコーディングは、無線通信の同報性を活かして効率良く符号化を行い中継伝送するものである。しかしながら、ネットワークコーディングを多次元化された無線通信ネットワークに適用する場合、次元の拡大による中継点の増加、理想的な電波伝搬モデルと実際のモデルとの差異の影響、など検討しなければならない課題が存在している。

平成 21 年度は、特に、(1)二次元空間ネットワークコーディング法、(2)二次元空間における MIMO 送受信ウェイトの計算法について検討し、(3)三次元空間への可能性を検討した。特に、(1)、(2)について、一次元空間におけるネットワークコーディング手法について調査し、二次元空間におけるネットワークコーディングを実現する MIMO 送受信アンテナウェイトの計算方法を理論解析により検討した。その結果、次元を拡大したことによる自由度を活かした二次元 MIMO ネットワークコーディングを構成可能であることを明らかにした。さらに、(3)について、三次元空間における MIMO ネットワークコーディングの基本性能を計算機シミュレーションにより明らかにした。その結果、アンテナ

の構成によりスループット性能が劣化することを示した。

平成 22 年度は、昨年度の調査検討結果を活用し、(3)三次元空間に適した MIMO アンテナの構成、(4)三次元空間における MIMO 送受信ウェイトの計算法について検討し、(5)多次元空間におけるネットワークコーディングの性能、(6)アプリケーションを考慮したネットワーク信頼性を評価した。

特に、(3)、(4)、(5)について、三次元空間のための MIMO ネットワークコーディングとして、送受信アンテナの構成法、干渉回避及び除去法を理論解析により検討した。本研究では、新たに水平・垂直偏波を MIMO ネットワークコーディングに適用することで、多次元空間における同一チャネル干渉の軽減を行った。性能評価の結果、偏波を導入することにより対象次元がさらに拡大し、ネットワークスループットが向上できることを明らかにした。さらに、偏波を用いた MIMO ネットワークコーディングに時空間ブロック符号を適用することで、符号化率とダイバーシティ利得を改善でき、従来の 2 倍以上のネットワーク容量を達成可能であることを明らかにした。図 1 にネットワーク容量特性を示す。また、(6)について、火災現場における消防隊員間及び本部間の無線通信を想定し、アウトage容量による信頼性の評価を行った。その結果、従来法よりも信頼性を改善できることを明らかにした。

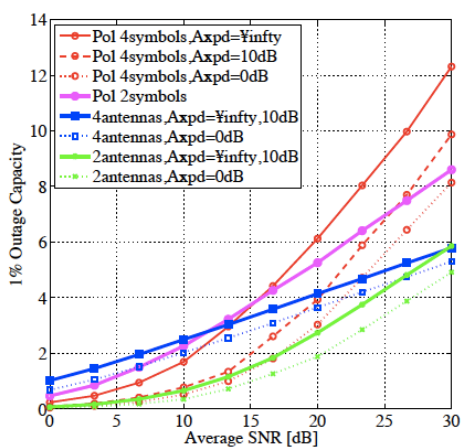


図 1 ネットワーク容量対平均受信 SNR 特性 (提案法と従来法の比較)

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 2 件)

① Fumie Ono, "Optimized spatial capacity by eigenvalue decomposition of adjacency

matrix", 電子情報通信学会論文誌, vol. E93-B, no. 12, pp. 3514-3517, 2010. 査読有り

② Fumie Ono, Kei Sakaguchi, "STBC MIMO network coding for bi-directional multi-hop relay networks", 電子情報通信学会論文誌, vol. E92-B, no. 12, pp. 3676-3683, 2009. 査読有り

[学会発表] (計 10 件)

① Shinji Ogawa, Fumie Ono, "STBC-MIMO Network Coding with Dual Polarization Antennas", Proc. of ICC2011, Hawaii, 2011 年 8 月. 査読有り

② Kosuke Fukuda, Fumie Ono, "STBC-MIMO Network Coding with Adaptive Modulation Asymmetric Traffic and Channel", Proc. of the 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-9, Gold Coast, Australia, 2010 年 12 月. 査読有り

③ Kosuke Fukuda, Fumie Ono, Kei Sakaguchi, "STBC-MIMO Network Coding with Adaptive Modulation", Proc. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2009), pp. 763-766, Jeju Island, Korea, 2009 年 7 月. 査読有り

④ Masayuki Uchida, Fumie Ono, Kei Sakaguchi, "Influence of Channel Estimation Error on the Performance of MIMO Mesh Network", Proc. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2009), pp. 759-762, Jeju Island, Korea, 2009 年 7 月. 査読有り

⑤ 小野文枝, "空間固有の特徴量を用いた分散ネットワーク構築に関する一検討", 電子情報通信学会技術報告, WBS2010-33, pp. 71-74, 奈良市ならまちセンター, 2010 年 10 月.

⑥ 小野文枝, "空間固有の特徴量を用いた無線分散ネットワークに関する検討", 電子情報通信学会技術報告, AN2010-23, vol. 110, pp. 75-75, no. 129, 函館市中央図書館, 2010 年 7 月.

⑦ 小川真司, 小野文枝, "アンテナ放射特性を考慮した MIMO ネットワークコーディングの伝送容量", 電子情報通信学会技術報告,

WBS2010-2, vol. 110, pp. 5-10, no. 72, 沖縄県青年会館, 2010年6月.

⑧ 小川真司、小野文枝, "3次元空間におけるMIMOネットワークコーディングの性能評価", 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 105, no. A-5-3, 東北大学, 2010年3月.

⑨ 福田浩介、小野文枝, "MIMOランダムネットワークコーディングに関する一検討", 電子情報通信学会技術報告, WBS2009-44, vol. 109, pp. 47-47, no. 324, 熊本大学工学部, 2009年12月.

⑩ タン ザカン、梅林健太、小野文枝、藤井威生、阪口啓, "2次元MIMOネットワーク符号を導入したメッシュネットワークの特性評価 ~ CSMA/CAメッシュネットワークとの比較 ~", 電子情報通信学会技術報告, SR2009-67, vol. 109, pp. 105-111, no. 246, 東北大学, 2009年10月.

[図書] (計1件)

① 三瓶政一、阪口啓監修、"無線分散ネットワーク" 第3章第5節ネットワークコーディング、pp.134-145, 2011年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 文枝 (ONO FUMIE)
横浜国立大学・工学研究院・助教
研究者番号: 20385537

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: