

多次元信号処理を用いた新しいワイヤレスアドホックネットワーク

構成・制御技術に関する研究 (042103001)

Studies on Design and Control Techniques for Novel Wireless Ad-hoc Networks
using Multi-dimensional Signal Processing

研究代表者

神谷 幸宏 国立大学法人東京農工大学 大学院共生科学技術研究部

Yukihiro Kamiya, Institute of Symbiotic Science and Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

研究分担者

藤井 威生†

Takeo Fujii†

†国立大学法人電気通信大学 先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター

† Advanced Wireless Communication Research Center, The University of Electro-Communications

研究期間 平成 16 年度～平成 18 年度

本研究開発の概要

ワイヤレスアドホックネットワークは、サーバなしで端末同士がネットワークを自律構成する無線ネットワークである。本研究では、時間、周波数、および空間次元に基づく多次元信号処理による性能改善を検討する。特に、端末用多次元信号処理の考案とプロトコルの検討、複数端末の協調動作によるネットワークの性能改善に注目し、3 年間の研究を行い当該分野のブレークスルーとなる技術の確立を目指した。平成 16 年度は本研究課題の基礎として、アドホックネットワークにおける多次元信号処理の要素技術の検討を行い、システム構成を提案した。平成 17 年度は提案システムの実用化に向けた問題点を整理し、その解決と評価を行った。平成 18 年度は本委託研究最終年度として、提案システム全体のまとめ、実用化に向けた課題に対する解決策の提案および総合評価を行った。

Abstract

Mobile ad hoc network (MANET) is capable of autonomous network configuration without any centralized facilities. In this research, we examine the performance improvement of MANET using the multi-dimensional signal processing on not only the time axis but also the frequency and the space axis. Particularly, focusing on the performance improvement through co-operative approaches on MANET, we have tried to propose a breakthrough technology for three years. Started in 2005, component technologies were proposed followed by the feasibility studies executed in 2006. In 2007, finally, a total system has been proposed and been evaluated based on the proposed schemes providing solutions for realization.

1. まえがき

これまで主として、アドホックネットワークの構成及び制御技術に関する研究は、ネットワーク専門家によって担われてきた。すなわち、ネットワークを構成する端末をノード(node)と称する点とし、その間をつなぐ線を通信と見なしシステムを抽象化し、プロトコルの開発やネットワーク構成について研究が行われてきた。しかし、ワイヤレス通信を前提としたアドホックネットワークには、無線通信に関する技術との関連が不可欠であり、システムを具体化するためには無線通信技術の見地からまだ多くの課題が残されている。特にアダプティブアンテナ技術やマルチキャリア技術などの信号処理技術をワイヤレスネットワークへ活用する手法の検討は、従来の抽象的な研究からは得られなかった具体的かつ新規なネットワーク構成・制御技術を見出せるものと期待される。本研究課題では、これら空間・時間・周波数の多次元信号処理を行うことにより高効率なアドホックネットワークの確立を目指す。このような分散端末を用いた信号処理では、ネットワークを構成する各端末においての信号処理が必要となるため、演算処理能力やアンテナ設置スペースなど、基地局のような固定設置の無線機と比べて制約が大きい。このような制約下で多次元信号処理を行うため 2 つの大きな手法を検討した。

一つ目はアドホックネットワークにおけるマルチホッ

プ時の 1 アンテナ素子を用いた場合の中継時信号処理による特性改善法およびそのネットワーク制御プロトコル法の検討を行なうものであり、二つ目は複数素子を有する移動端末によるアドホックネットワークにおけるアンテナ指向性制御法およびネットワーク制御プロトコルとの融合による特性改善法の検討を行なうものである。それぞれの手法についての検討を行ったが、本発表では一つ目の 1 素子アンテナを持つ多数の端末を協調動作させることで、ネットワーク全体で信号処理を行うシステムの検討内容と成果を示す。ここでは図 1 に示すような構成で、多端末で協調動作をさせるための手法として STBC(Space time block code)分散 ARQ(Automatic repeat request)方式という新たなパケット中継手法の検討を行った。

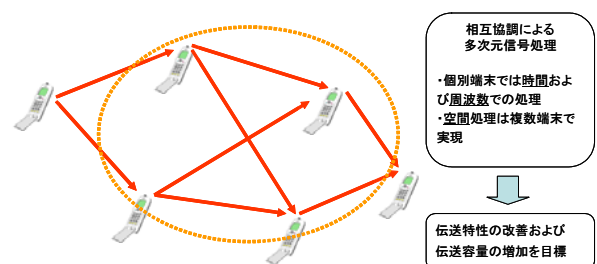


図 1 1 アンテナ素子端末多次元信号処理システム

2. 研究内容及び成果

アドホックネットワークは、基地局を介すことなく端末同士で相互通信を行うシステムであり、その構築は簡易であるが、端末の移動などにより送信端末から目的端末までの中継ルートを決定するルーティングが複雑になるという問題がある。そこで本提案システムでは、アドホックネットワークで、ルーティングの代わりに分散複数端末による再送を行うことで、ルーティングを考慮せずに通信を行う STBC 分散 ARQ 方式の研究を行なった。STBC 分散 ARQ 方式は送信端末から目的端末に向けてパケットを送信する際に、直接信号が届かない場合、周囲の端末が仮にパケットを受信し、次のフレームでパケットを持つ周囲の端末から一斉に再送を行なうことで、伝送範囲の拡大を図るものである。さらに、端末毎に STBC のブランチを選択することにより、受信端末において端末協調ダイバーシチ利得を得ることができる。STBC 分散 ARQ では周囲端末からの再送を自律的行なうことで、あらかじめルートを決めていない場合でも目的端末までパケットを到達させることができるマルチホップ通信手法である。

STBC 分散 ARQ 方式の送信手順の例を図 2 に示す。ここでは、図のように送信端末から 1 回目の送信ではパケットを伝送する。その際、周囲の端末は自分宛のパケットでなくても受信を行う。そのパケットが目的端末までに届かなかった場合、送信端末は、パケットを再送するが、その際に制御パケットを送信することで、周囲の端末の協力を求め、複数端末で同時に再送することで協調ダイバーシチを実現する。結果として、複数端末の連携通信による通信特性の改善と、ルート構築が不要な通信システムを実現することが可能となる。パケット中継の順序、タイミングの制御を行うために、ここでは制御パケットを用いる。制御パケットは送信端末が生成するものであり、このタイミングに合わせて周囲の端末は再送を行うため、すべての制御は送信端末からの信号をトリガとして行われる。この制御パケットには送信端末 ID、目的端末 ID、パケット ID に加えて、次に送信するデータパケットを周囲の端末からも同時に送信するための同期用の参照信号も含まれている。

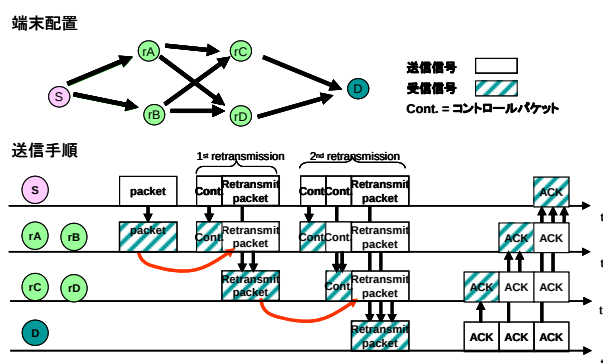


図2 STBC分散ARQ方式

本研究は今回の研究課題の中で最も重点的に取り組んだテーマであり、基本システムの考案から問題点の解決まで様々な視点からの研究を行った。その成果は、査読つき誌上発表 1 件、口頭発表 15 件、特許 4 件と多岐にわたっている。これらには本研究課題を遂行する際に見つかった問題点に対する解決手法なども含まれている。有効性は計算機シミュレーションで検証した。ここでは STBC 分散 ARQ を利用して、200m×200m のシミュレーションエリア内に 100 台の分散端末が存在している環境で、その中心に互いに 100m 離れた送信端末と受信端末の間での中継特性を調べた。比較対象としてマルチホップを行わずに

直接通信を行った場合、通常のシングルルートのマルチホップ通信を行った場合と、提案する STBC 分散 ARQ を適用し、最大再送回数をパラメータとした場合について、送信電力を変化させて評価を行った。そのときのパケット損失率特性を図 3 に示す。

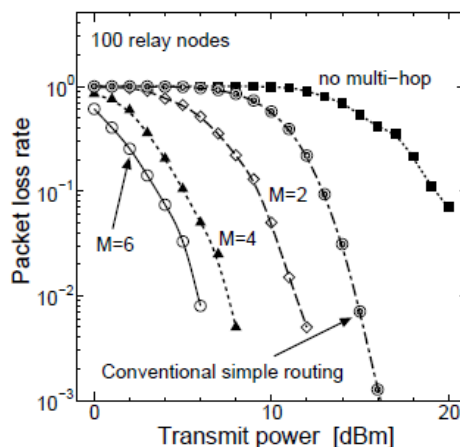


図3 パケット損失率特性

ここで、 M は提案方式の再送回数の最大値を表しており、 M が大きくなるほど特性が改善していることが確認できる。マルチホップなしでは 10% のパケット損失率を達成するために必要であった送信電力は、直接送信と比較すると、2.8% の電力、従来のマルチホップ手法と比較すると 14% の電力での送信が可能であることを示している。

3. むすび

本報告では委託研究成果の一つである STBC 分散 ARQ 方式について紹介した。本手法により、複雑なルーティングプロトコルなしで高効率高速通信が達成できることが確認できた。本手法は近年注目されているコグニティブ無線や、分散ネットワーク環境全般に適用可能であるため、今後は引き続き実用化に向けた取り組みを行っていく予定である。

【誌上発表リスト】

- [1] Takeo Fujii, Yukihiro Kamiya and Yasuo Suzuki, "Multi-stage RLS OFDM adaptive array antenna with short pilot symbols," IEICE Trans. on Commun. vol.E89-B, no.5, pp.1589-1597, May, 2006.
- [2] Takeo Fujii, Erina Kojima, Yukihiro Kamiya and Yasuo Suzuki, "STBC distributed ARQ scheme for OFDM ad-hoc wireless networks," IEICE Trans. on Fundamentals., vol.E90-A, July 2007 (accepted).
- [3] Takeo Fujii, Yukihiro Kamiya and Yasuo Suzuki, "Multi-stage RLS subcarrier combining method for uplink quasi-synchronous MC-CDMA," IEEE Trans. on Vehicular Technology (accepted).

【申請特許リスト】

- [1] 藤井 威生、児島 江里奈、「通信システム、通信システムにおける中継端末および通信方法」、PCT 出願、2006 年 1 月 20 日 (PCT/JP2006/301272)
- [2] 藤井 威生、内山 博允、「マルチホップ通信方法、マルチホップ通信端末および通信プログラム」、PCT 出願、2007 年 1 月 30 日 (PCT/JP2007/51884)
- [3] 藤井 威生、内山 博允、「マルチホップ通信方法、マルチホップ通信端末および通信プログラム」、PCT 出願、2007 年 1 月 30 日 (PCT/JP2007/51884)