

大規模空間多重化通信とセキュリティ技術に関する研究開発 (031205001)

Large-scale Spatial Multiplexing and Security Technology with MIMO Wireless System

北川 章夫 金沢大学大学院自然科学研究科
Akio Kitagawa Kanazawa University, Graduate School of Natural Science & Technology

長野 勇 藤崎 礼志 笠原 禎也 秋田 純一
Isamu Nagano, Hiroshi Fujusaki, Shinya Kasahara, Junichi Akita
金沢大学大学院自然科学研究科属機関
Kanazawa University, Graduate School of Natural Science & Technology

研究期間 平成 15 年度～平成 17 年度

概要

ネットワーク上に分散接続した多数の無線通信用 LSI を使って、単一キャリア周波数で多数の信号を同時に伝送するための技術開発を目的とする。この技術は、MIMO(Multiple Input Multiple Output)伝送または空間多重伝送と呼ばれている方法を応用しており、限られた既存の周波数資源の有効利用と通信の高品質化に貢献するものである。本研究開発では、センサネットワークでの利用を想定して、特定小電力無線規格に準拠した MIMO 伝送実験システムを試作し、単一周波数で複数の送信機 LSI からコンピュータネットワークへの接続を行う実証実験を実施した。既に実用化されている 2 つの通信チャンネルの空間多重化による伝送容量拡大技術とは異なり、分散した端末との狭帯域多チャンネルの MIMO 伝送を目指すため、多チャンネル化に適した MIMO 信号処理アルゴリズムを新規に開発し、通信品質の評価を実施した。

Abstract

Digital communication system using multiple-input-multiple-output (MIMO) has been designed and prototyped for spatial multiplexed wireless access system. The key features of the system are the ability of large scale multiplexing on single carrier frequency and the encryption of the transmission path through Internet. The transceiver LSI designed for the system is compliant with ARIB STD-T67 and the algorithm of MIMO signal processing has been optimized for the narrow-band FSK and PSK transmission. The bit-error rate and the computation cost of the MIMO system have been evaluated.

1. まえがき

インターネットをはじめとする各種ネットワークの発達により、情報流通の利便性は格段に向上した。しかし、実世界には時々刻々と変わる環境状況の取得や、広域にわたる情報の同時把握など、新たな技術開発も必要とされている。その中でも、センサネットワークおよびセンサ情報を利用した制御系ネットワークは、センサの小型化やネットワーク環境の整備が急速に進んだことにより、工場や化学プラントなど特殊な場所での利用に留まらず、家庭での安全性やセキュリティ確保技術への応用、環境モニタリングなど、我々に身近な技術へと発展しつつある。こうした応用の可能性を広げるためには各端末の無線接続が必要であるが、センサ端末数の増加により必要なチャンネルの数も比例して増えていくという問題がある。各端末に搬送周波数を与える単純な方法では、周波数資源の面から考えて、端末設置数に制限がある。このような背景から、多チャンネルを必要とする応用に対して、MIMO (Multiple Input Multiple Output) による多重通信構成の適用を提案する。本研究課題では、通信チャンネル多重化による伝送容量増加の研究とは異なり、同一搬送波周波数を使用しながら、必要最低限の伝送容量で 10 チャンネル以上の多チャンネル化を目指した。通信ネットワーク構成の提案、MIMO 信号処理アルゴリズムの開発、電波伝搬シミュレーションと MATLAB シミュレーションおよび試作システムによる通信品質評価を行った。また、干渉した複数の通信経路の分離に必要なチャンネル行列 (伝播係数の行列) を暗号鍵とした場合の、無線及び有線を含む通信経路の暗号性についても検討を行った。

2. 研究内容及び成果

2.1 ネットワーク構成

図 1 のような MIMO により空間多重化通信を行うためのネットワーク構成を提案する。マルチパス環境は、潜在的に複数の通信経路を内包しているため、受信側の信号処理により複数のチャンネルを分離することが可能である。センサネットワークのような低速多チャンネルでの応用を考えているため、無線通信路における周波数選択性フェージングは考慮していない。受信機は、周波数選択または復調処理よりも前に LAN を通じて MIMO プロセッサに伝送し、MIMO プロセッサがチャンネル分離および復調を行う。

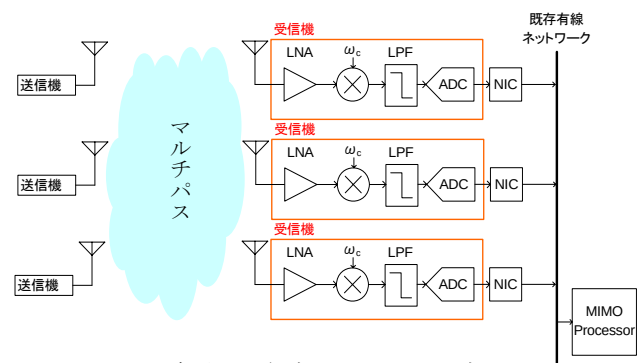


図 1 空間多重化通信ネットワーク構成

2.2 MIMO 対応低消費電力無線通信 LSI の開発

MIMO 伝送に対応可能な STD-T67 規格準拠の低消費電力無線通信 LSI を開発した。狭帯域多チャンネルの規格であるため、従来は SAW フィルタ等の高精度外付け部

品を必要としたが、高精度 AD 変換技術により、大部分の処理をデジタル化することにより、1 チップ化に成功した。TSMC 社（台湾）の CMOS 0.25 μ m テクノロジーを利用してチップを試作した。図 2 にチップの顕微鏡写真を示す。

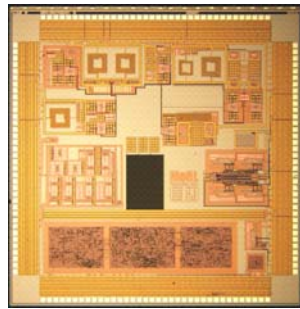


図 2 MIMO 対応特定小電力無線 LSI（面積 16mm²）

2.3 MIMO 信号処理アルゴリズムの開発

各受信機から無相関なパイロット信号と送信情報が等電力で送信し、受信電波のパイロット信号と干渉前のパイロット信号の相関によりチャネル行列推定を行った。さらに、推定結果のチャネル行列を利用して分離・検出処理を行う。MIMO 信号処理のブロック図を図 3 に示す。分離検出には、チャネル数が増大しても演算量の増加が 1 次に抑えられる ZF アルゴリズムによる空間フィルタリングによる分離・検出を採用した。また、パイロット信号として、127bitM 系列符号を用いることにより、必要精度でチャネル行列推定が可能であることがわかった。

2.4 通信品質のシミュレーション

以上の通信システムにおいて、2～16ch の空間多重伝送を行うときの Bit Error Rate (BER) のシミュレーション結果を図 3 に示す。横軸の値は、通信路の雑音レベルを示す。BPSK による室内通信の場合で、16 チャネル多重まで BER 0.01 が達成可能である（受信信号の SN 比が 25dB 以上の場合）。同条件で周波数偏移 450kHz FSK 通信を行った場合は、5 チャネル多重まで BER 0.01 が達成可能である。

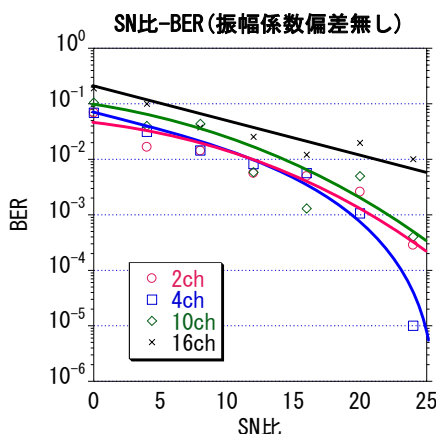


図 3 空間多重通信の品質

2.5 実験システムによる実証

空間多重伝送の実証に使用した試作端末の写真を図 4 に示す。STD-T67 規格に準拠した通信モジュールと M 系列符号を生成するマイクロコントローラを搭載している。送信側では、同期信号を検知して、一斉に通信が開始される。受信された信号は、ダウンコンバージョンした後、IF 信号を AD 変換した状態でパーソナルコ



図 4 試作端末による空間多重伝送実験

ンピュータに伝送し、MIMO 信号処理がソフトウェアにより行われる。

2.6 暗号性の検討

図 1 の空間多重伝送ネットワーク構成において、チャネル行列を暗号鍵とした場合の通信路の暗号性について検討を行った。チャネル行列のフルサーチをパーソナルコンピュータで行う場合に要する時間を図 5 に示す。さらに、M 系列の推定による攻撃についても検討を行ったが、いずれの場合でも、現実的な時間で、チャネル行列推定を行うことは無理であることがわかった。

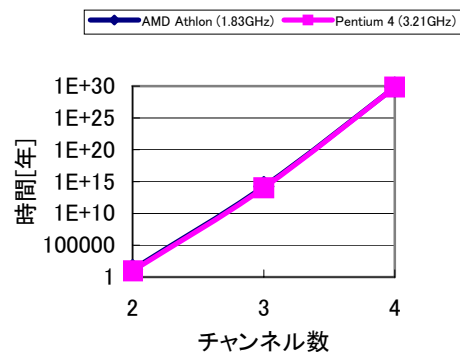


図 5 チャネル行列のフルサーチに要する時間

3. むすび

新しく周波数資源を割り当てることなく、インターネットへの接続チャネルを増大させることが可能である。特定小電力無線通信規格の機器に適用可能な技術であるため、ZigBee よりも広い通信範囲を必要とするセンサネットワーク、家庭用セキュリティシステムなど、低速多チャネルを要求する無線通信システムへの応用が期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] H.Fujisaki and Y.Yamada, "On Bit Error Probabilities of SSMA Communication Systems Using Spreading Sequences of Markov Chains", IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.E88-A, pp.2669-2677 (2005.10).
- [2] 伊藤久浩、早瀬佳、北川章夫、"MIMO を用いたワイヤレスセンサーネットワーク構築"、信学技報、Vol.105, No356, pp.115-120 (2005.10).

【申請特許リスト】

- [1] 北川章夫、伊藤久浩、空間多重通信システム及び空間多重通信方法、日本、2004 年 5 月 7 日
- [2] 秋田純一、戸田真志、ユビキタスシステム、デバイス接続方法、導電性布、導電性衣服および導電性壁、日本、2004 年 5 月 10 日

【登録特許リスト】

- [1] 北川章夫、尾形秀範、ハードウェア記述言語合成ツール及びそれを利用した集積回路の設計方法、日本、2005 年 11 月 4 日、特許 3735723 号

【報道発表リスト】

- [1] "戦略的情報通信推進制度実用化へ着々・多重化伝送の技術-"、北陸中日新聞、2003 年 9 月 23 日
- [2] "1 つの電波で多重通信ネット携帯、迷子監視に実用化へ集積回路開発"、北國新聞、2003 年 11 月 5 日

【ホームページによる情報提供】

<http://gaas.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/~ogpic/ogpic.html>