

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2010

課題番号：19360169

研究課題名（和文）移動通信におけるベイズ推定を用いた信号伝送システムの研究

研究課題名（英文）Signal transmission systems utilizing Bayesian estimation in mobile communications

研究代表者

鈴木 博（SUZUKI HIROSHI）

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00282864

研究代表者の専門分野：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：移動通信, MAP, 信号伝送, MIMO-OFDM, FPGA

1. 研究計画の概要

MIMO-OFDM伝送においてBER最小化・送受信技術を確立するために、事後確率最大(MAP)原理に基づく信号検出を検討する。計算機シミュレーションで得られたビット誤り率特性などの性能を確保しつつ、FPGAによるハードウェア化まで検討する。また、高速化・高周波化に伴う性能劣化をMAP検出の原理を適用して改善する方法について検討する。具体的な計画を以下に示す。

- (1) 演算量を削減するアルゴリズムとして変分法的ベイズ推定法を検討する。
- (2) 並列処理による高速化のために、Message-Passingアルゴリズムを検討する。
- (3) 干渉を除去する伝送方式と、そのための高精度な伝送路インパルス応答の推定方法について検討する。
- (4) 受信側で推定した伝送路インパルス応答を送信側へフィードバックする方法について検討する。
- (5) パケット伝送を効率良く行うため、誤り訂正符号を含めた適応変調とハイブリッドARQについて研究を進める。ランダムパケットアクセス方式のスループット劣化の主要因であるパケット衝突において、衝突パケットを破棄せず有効活用するパケット分離方式について検討する。
- (6) アルゴリズムの実環境における有効性の検証を行うために室内実験系を構築する。

2. 研究の進捗状況

ベイズ推定は、通信ではMAPとして検討されている。MAPの演算は膨大であり、その実用的な演算法に関しては以下の(1)、(2)に示すように世界的にもまだ基礎段階である。そのため、(3)以降の伝送方式における具体的な検討では最尤(ML)原理まで広げて検討を進めている。MLでシステムの基本性能と基本性能を確認し、さらに性能の向上が必要と認められるものに関してMLをMAPに置き換える検討を行う。

(1) 信号検出とチャンネル推定を同時に行うMAP検出は膨大な計算を伴う。その近似解としてEMアルゴリズムを用いた受信方法について、構成法と性能に関する詳細な検討を行った。さらに、変分法の適用による演算量削減について、今後、定量的に評価する必要がある。

(2) LDPCを用いた並列処理については、LDPCとMAP検出との結合による構成を検討している。並列化構成をGPUまたはFPGA上に構成して、今後、定量的に評価する必要がある。

(3) MIMO-OFDMにおけるポストFFTによる干渉キャンセルが有効であることを示した。さらに、その性能を引き出すためには、Zadoff-Chu系列による伝送路推定が有効であることを示した。

(4) BER最小化等のプリコーディング方式のために携帯機で推定された伝送路情報を基地局側へフィードバックする方法を検討し、フィードバック情報量を低減できるアナログ方式を検討した。さらに、信頼性の向上をめざしてコンパニディング方式を提案した。アナログだけでなく、デジタルについても検討を進めている。

(5) ランダムパケットの分離に関しては、ビット対数尤度比を用いたインクリメンタル・ハイブリッド合成を行う方法を提案した。
(6) 室内実験のための FPGA 伝送系を構築した。QPSK, 16QAM, 64QAM の MIMO-OFDM 伝送が可能になった。700 Mb/s 以上を実現可能である。処理は固定小数点演算であるが、計算機シミュレーションにおける浮動小数点により得られた性能と同等になるまで詳細な調整を行った。雑音、伝送路のシミュレーションも可能となった。RF 系については 60 GHz 帯ミリ波伝送も可能である。MAP による FPGA ターボ復号器は基本特性が得られているが、まだ劣化が大きい状態である。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

並列処理については、成果を投稿するまでに至っていないが、その他の演算量削減、伝送方式に関しては実験系も含めてほぼ計画通りに進んでいる。

4. 今後の研究の推進方策

演算量削減と並列処理について、定量的な評価が可能になるよう研究を強化する。その他の伝送系に関してはより高い性能をめざして新しい方法を検討する。

5. 代表的な研究成果

(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 12 件)

[1] S. Suyama, H. Suzuki, K. Fukawa, and J. Izumi, "Iterative receiver employing phase noise compensation and channel estimation for millimeter-wave OFDM systems," *IEEE Journ. on Selct. Areas in Communi.*, pp. 1358-1366, vol. 27, no. 8, Oct. 2009. 査読有。

[2] F. Lisheng, K. Fukawa, H. Suzuki, and S. Suyama, "MAP receiver with spatial filters for suppressing cochannel interference in MIMO-OFDM mobile communications," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E92-B, no. 5, pp. 1841-1851, May 2009. 査読有。

[3] S. Suyama, H. Suzuki, K. Fukawa, and L. Zhang, "Iterative multiuser detection with soft decision-directed channel estimation for MC-IDMA and performance comparison with chip-interleaved MC-CDMA," *IEICE Trans. Communi.*, vol. E92-B, no. 5, pp. 1495-1503, May 2009. 査読有。

[4] B. Pitakdumrongkija, K. Fukawa, H. Suzuki, "MIMO-OFDM precoding technique for minimizing BER upper bound of MLD under imperfect CSI," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E91-B, no. 5, pp. 1490-1501, May 2008. 査読有。

[5] R. Nagareda, K. Fukawa and H. Suzuki, "Efficient OFDM mobile radio packet system employing LLR combining multiuser detection for ARQ with adaptive modulation and coding scheme," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E90-B, no. 6, pp. 1444-1453, June 2007. 査読有。

[学会発表] (計 73 件)

[1] ゲンダオ ヴィエト, 府川和彦, 鈴木博, 須山 聡, "MIMO-OFDM 移動通信における通信路情報アナログフィードバック方式," 電子情報通信学会技術報告, RCS2009-295, 2010年3月4日. (YRP).

[2] 宗 秀哉, 府川和彦, 須山 聡, 鈴木 博, "同一チャネル干渉条件下のMIMO-OFDM伝送における最小BER規範送信プリコーディングと空間フィルタを用いる最尤受信---Zadoff-Chu系列を用いたチャネル推定---," 電子情報通信学会技術報告, RCS2009-210, 2010年1月21日. (九州大学).

[3] 寺尾 剛, 府川和彦, 須山 聡, 鈴木 博, "同一チャネル干渉条件下における最小BER規範MIMO-OFDMプリコーディング方式," 電子情報通信学会技術報告, RCS2008-221, 2009年3月4日. (YRP).

[4] K. Muraoka, K. Fukawa, H. Suzuki, S. Suyama, "Channel estimation using differential model of fading fluctuation for EM algorithm applied to OFDM MAP detection," *IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor Mobile Radio Communi.*, Athens, pp. 1-5 Sept.6, 2007.

[5] S. Suyama, H. Suzuki, K. Fukawa, "430 Mbps reduced-PAPR MIMO-OFDM transceiver on FPGA-board simulator," *12th International OFDM-Workshop*, Hamburg, pp. 236-240, Aug.30, 2007.

[図書] (計 1 件)

府川和彦, デジタル信号処理, 培風館, 2009年, 171 ページ.

[産業財産権]

○出願状況 (計 10 件)

名称: 伝送路情報フィードバックシステム
発明者: 府川和彦, 鈴木 博, 須山 聡, 大矢智之
権利者: 国立大学法人東京工業大学, 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ

種類: 特願

番号: 2010-037929

出願年月日: 2010年2月23日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 3 件)

名称: 高精度タイミング再生を備えた MIMO-OFDM 受信方式および受信機

発明者: 須山 聡, 府川和彦, 鈴木 博

権利者: 東京工業大学

種類: 特許

番号: 第 4247532 号

取得年月日: 2009年1月23日

国内外の別: 国内

[その他]

[1] 2009 European Microwave Week (EuMW), European Wireless Technology (EuWiT) Conference, Best Paper Award, "Decision-directed phase noise compensation for millimeter-wave single carrier transmission systems with frequency-domain equalization" (*EuWiT, EuMW 2009, Rome Italy*, pp. 9-11, Sep. 2009) S. Suyama, J. Onodera, H. Suzuki, K. Fukawa

[2] 2009 IEICE Communications Society Best Paper Award "MIMO-OFDM precoding technique for minimizing BER upper bound of MLD" (*IEICE Trans. on Communi.*, vol. E91-B, no. 7, pp. 2287-2298, July 2008) Boonsarn Pitakdumrongkija, K. Fukawa, H. Suzuki

[3] 2009年電子情報通信学会業績賞(46回), 受賞日(H20.5.23), 移動体通信における適応的空間信号処理に関する先駆的研究, 鈴木博, 府川和彦