

機関番号：12608

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

研究成果の概要(和文)：将来のマルチメディア通信に向けて、高速・高信頼移動パケット無線の研究を理論と実験の両面から行った。MIMO-OFDM 伝送システムを中心に検討した。送受信側で複数アンテナを用いる MIMO 技術と、広い帯域幅を直交分割する OFDM 技術により通信路容量の最大化を図る。統計的デジタル信号処理の導入による高性能化、位相雑音等による劣化の低減化、広帯域ミリ波帯の開拓を行った。当初の研究目標はほぼ達成された。

研究成果の概要(英文)：The high bit-rate and highly reliable mobile packet radio technology for future multimedia communications has been theoretically and experimentally investigated. The study mainly focuses on MIMO-OFDM transmission systems where MIMO technique employing multiple antennas at both the transmitter and receiver and OFDM technique orthogonally dividing the wide bandwidth maximize the channel capacity. The study includes transmission performance improvement introducing statistical digital signal processing, reduction of degradation due to phase noise and so on, and development of wideband millimeter-wave band. The research has almost achieved the original goal.

交付決定額

(金額単位:円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 900,000   | 270,000   | 1,170,000 |
| 2008年度 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000   | 1,430,000 |
| 2010年度 | 1,100,000 | 330,000   | 1,430,000 |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 6,500,000 | 1,950,000 | 8,450,000 |

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:MIMO-OFDM, IDMA, 準最適検出, MAP 推定, Zadoff-Chu 系列,  
マルチユーザ検出, ミリ波帯通信, 位相雑音

## 1. 研究開始当初の背景

移動通信はほぼ 10 年ごとに新システムを導入し発展してきた、今後のシステムは以下のような特徴を有すると考えられる。

- 携帯電話における端末のマルチメディア化
- 移動無線伝送方式の高速・高信頼化
- MIMO-OFDM 伝送方式の導入による周波数利用効率の向上
- Si-CMOS 技術の高集積化、高速化による、シ

システムの一層の小型化・高性能化・高度化

以上の状況をふまえて、基礎から応用まで様々な研究が世界的に進められている。本研究では移動無線信号伝送の高速化・高効率化のための技術について詳細に研究し、更にそのハードウェア実現可能性を追求する。

## 2. 研究の目的

携帯電話における 1G～10Gbit/s の伝送速度の実現をめざして、高速・高信頼・高能率移動無

線伝送技術を研究する。

具体的には、以下の項目を研究する。

- (1) 広帯域信号伝送に用いる変調方式として、OFDMとシングルキャリアの2種類について、それぞれの方式を用いたシステム仕様を明らかにし、さらに、それぞれの必須技術について研究する。
- (2) MIMO 信号伝送の信号検出について、その性能を最大限に引き出す高度な検出法と、その性能を維持しつつ計算量を低減する準最適検出法を研究する。さらに、検波器後段の統計的処理に必要なビット対数尤度比(LLR)の計算法について研究する。
- (3) MIMO-OFDM システムの最適設計規範としては、新たに提案した最小 BER 規範を採用し、この規範を実現するために必要な技術を研究する。
- (4) MIMO システムの最適制御において、通信路状態情報(CSI)を受信側から送信側へフィードバックする方法を研究する。なお、他の MIMO 研究では経済化の観点からフィードバックを行わないものも多いので、特に断りが無い限りフィードバックはしないものとする。
- (5) ターボ符号、LDPC 符号等の誤り訂正符号高性能化において極めて重要なインタリーブ効果を積極的に導入した新しい伝送方式およびアクセス方式を追求する。
- (6) 複数の送信機からのパケットが受信側で衝突したとき行われる自動再送要求(ARQ)制御を高度化し、伝送効率を改善する技術を研究する。
- (7) 無線ハードウェアの Si-CMOS-IC 化に伴い、局部発振器の位相雑音が増大し、復調特性を劣化させる。そのため、位相雑音による性能劣化を抑える復調技術を研究する。
- (8) 伝送系実現における具体的な問題点を把握するため、高速伝送実験系を設計・制作する。そのベースバンド信号処理用ハードウェアとして FPGA を採用し、アルゴリズムの問題点を明らかにする。

### 3. 研究の方法

以下のように研究を行った。

#### (1) 広帯域変調方式

① 将来の移動通信システムとして 2~5 GHz における 100~500 MHz の帯域幅で 5 Gbit/s 以上を実現するための 4×4 MIMO 方式の仕様を明らかにした。また、60 GHz 帯における 2 GHz 帯域幅で 10 Gbit/s 以上を実現するための無線方式の仕様を明らかにした。どちらも OFDM とシングルキャリアの2種類の変調方式について計算機シミュレーションで性能を確認した。

② OFDM については、ピーク電力対平均電力比(PAPR)を低減化する方法を検討した。特に、サブキャリア数が 1,000 以上になるときの特性を検討した。選択マッピング(SLM)のパターン数の効果について確認した。また、MIMO-OFDM において、各サブキャリアごとにユニタリ行列を用いた送信プリコーディ

ングを行うことにより、PAPR を低減する SPH-SLM を提案した。また、SPH-SLM の演算量低減をめざしてサブキャリア・ブロック位相ホッピング(SBPH)を提案した。SBPH では SPH-SLM に比較して回路規模が大幅に低減された。

さらに、ブロック対角化 MIMO-OFDM を行うための PAPR 低減化を提案した。

③ シングルキャリアについては、選択性フェージングによる伝送特性劣化が大きいので、周波数領域等化(FDE)が必要である。後述する位相雑音による劣化を抑えた FDE を提案した。

#### (2) MIMO信号検出法

① 高度な信号検出法として統計的信号処理の導入を検討した。まず、OFDM 信号に対して EM アルゴリズムによる MAP 信号検出理論を検討した。通信路パラメータを隠れ変数として信号検出する方法と、それとは逆に信号パラメータを隠れ変数として通信路推定する方法を比較し、後者の BER 特性が優れていることを明らかにした。さらに、高速フェージング変動による BER 特性劣化を抑えるため、インパルス応答の時間微分を含むモデルを、カルマンフィルタの生成過程として導入した。次に、OFDM 信号の干渉を効果的に除去するために、信号、通信路、および干渉と雑音の確率密度関数を、Kullback-Leiber (KL) ダイバージェンスを最小化する規範で逐次更新する変分ベイズ法を検討した。

② 準最適検出として、MIMOのMMSE検出をベースとし、アンテナ間空間相関に起因する雑音強調方向に判定すべき点を探索する方法を検討した。まず、1次元探索法を提案した。次に、多次元探索を一度に行う方法を提案した。多次元探索アルゴリズムでは、BER =  $10^{-3}$  において、MLDからの劣化を  $E_b/N_0 = 3$  dB 以内に抑えられる、演算量はMLDの百分の1に低減できることを明らかにした。

③ 誤り訂正符号の復号に必要なビット LLR 計算アルゴリズムとして、最尤系列 (Maximum Likelihood Sequence: MLS) や、MLS のあるビットを反転させた条件で最尤系列となる逆相ビット MLS (Inverse Bit-MLS: IB-MLS) を効率的に検出できる低演算量アルゴリズムを提案した。

#### (3) MIMO-OFDM

① MIMO-OFDM 移動無線通信路における BER の上界を最小化する最小 BER 規範プリコーダを提案した。まず、送受信機において CSI が既知であると仮定し、各サブキャリアのペアワイズ誤りを全サブキャリアについて平均化し、MLD の BER 上界を理論的に求める。次に、この上限を最小化するプリコーダ行列を求めるために、送信電力一定拘束条件で最急降下法を適用する。計算機シミュレーションにより、提案方式は、従来のプリコーダよりも BER 特性が優れていることを示した。次に、最小 BER 規範に対して、通信路推定誤差と、量子化誤差を導入し、それらの誤差に関する上界の平均値を求める。さらに、送信電力一定の拘束条件で最急降下

法を適用してプリコーダを求める。計算機シミュレーションにより、提加法性雑音のみを考慮したMBERプリコーダよりもCSIの推定誤差に対してロバストであった。

② MIMO-OFDMの同一チャネル干渉環境においてプリFFT空間フィルタで干渉波をキャンセルする受信機構成を提案した。空間フィルタは空間白色化フィルタとして動作し、その出力からレプリカ信号を減算すると最尤検出用のブランチメトリックが得られる。白色化フィルタ用フィルタ係数およびレプリカ信号生成用インパルス応答の推定は、自己相関行列を固有展開することにより行った。計算機シミュレーションを行い、従来の干渉抑圧を行わない最尤受信に較べ、本提案方式は同一チャネル干渉による伝送特性劣化を大幅に改善できることを示した。

③ 下り回線において、同一チャネル干渉があるMIMO-OFDM移動通信システムにおいて、最小BER規範プリコーディングと干渉抑圧空間フィルタと最尤検出を用いる伝送方式について、プリアンブルとしてZadoff-Chu系列を用いた通信路推定法を検討した。この推定精度を高めるため、直交性が優れたZadoff-Chu系列をプリアンブルとして用いることにより、伝送特性が大幅に改善された。

#### (4) MIMOにおけるCSIフィードバック

より少ない情報量でフィードバックできるアナログ方式を検討した。移動局で推定した下り回線の通信路周波数応答を、従来のアナログ方式とは異なり、そのままアナログ信号として、最小BERプリコーディングに必要なSNR値とともにフィードバックする。推定精度を向上させるためlog圧縮を導入した。推定には最小2乗法を用いた。

#### (5) インターリーブをベースとするシステム

① MIMO-OFDM伝送において誤り訂正効果を高めることができるインターリーブ方式のシステムへの応用を検討した。高速フェージング条件では、通信路推定がその変動に追従できず、パケットのデータ区間でバースト誤りが発生する。この誤りに対する訂正効果は、パケット全体にインターリーブをかけても低いことが判明した。そこでOFDMのシンボル毎にインターリーブをかけ、誤り訂正を行う方法を検討した。OFDMシンボル毎のインターリーブと誤り訂正により、信頼度の高い判定信号を用いて通信路推定ができるようになり、推定の変動への追従性が改善されることを計算機シミュレーションにより確認した。

② OFDMにインターリーブを組み合わせた新しいアクセス方式としてOFDM-インターリーブ多元接続(IDMA)を検討した。マルチユーザ検出と通信路推定の繰り返し受信機を提案した。誤り訂正復号器の出力であるビットLLRを通信路推定にフィードバックすることで推定精度が向上した。この構成をマルチユーザ検出に拡張した。ビットLLRと通信路推定値を用いて干渉除去を行うことで信号検出性能が向上した。また、

3種類のマルチキャリア(MC)-CDMAとの比較を行い、インターリーブにより加入者容量が増大することを明らかにした。さらに、MIMO-OFDM IDMAシステムにおいて、各ユーザが使用する周波数リソースを受信時のSINR基準で割り当てる適応リソース割り当て法を提案した。

#### (6) 高能率ARQ

① 移動通信における上り回線OFDM無線パケット多元接続のスループットを改善するため、複数の移動局のパケットを同一時間・周波数に衝突させる。衝突したパケットを分離するマルチユーザ検出(MUD)として、ターボ符号の復号器出力のビットLLRを用いる最大事後確率(MAP)推定によるターボマルチユーザ検出(T-MUD)を提案した。1回目と再送されたパケットのビットLLRを合成して高信頼度化を図った。また、演算量を削減するため、簡略化T-MUD(ST-MUD)を提案した。この方法では、再送時におけるMAP検出のレプリカを事前確率から計算されるソフトレプリカに置き換え、受信信号からそのソフトレプリカを除去する。その後、線形処理によりソフトレプリカの除去残差を抑圧する。スループットの高い領域において低演算量であるにも関わらず、T-MUDと同等のスループット特性を実現できることを示した。

② パケットスケジューリングにおいて、再送パケットと新しいパケットを衝突させることでスループットを向上させる適応多元接続制御を提案した。従来の方法では衝突させる再送パケットは常に同一ユーザからのものであった。T-MUDによりパケット分離性能が向上したことにより、適応多元接続制御が可能となった。

#### (7) 位相雑音の影響の低減

① OFDM検出と位相雑音補償を繰り返し行う受信機を提案した。この受信機は、復号器の出力からIFFTにより再生された送信信号レプリカに推定された位相雑音を乗積して位相雑音補償を行う。位相雑音モデルも作成し、計算機シミュレーションで性能を明らかにした。

② 周波数領域等化(FDE)と位相雑音補償を繰り返し行う受信機を提案した。提案受信機は、復号器の出力を用いて送信信号レプリカを生成し、位相雑音補償を行うと共に、FDEにおいて送信信号レプリカからISIレプリカを生成し、受信信号から除去することで検波性能が向上した。

#### (8) ハードウェア化の可能性追求

① 超高速ビットレート移動通信を実現するベースバンド伝送系を構築した。伝送系は800MHzサンプリングのDACとADC、FPGA、CPUから構成されており、ADCは2個の400MHzADCを並列動作させることで800MHzサンプリングを実現した。4×4MIMO-OFDM送受信処理をCPU上のオフライン処理で実現し、さらにフェージング生成と雑音生成の処理を加えることでベースバンドでの伝送特性を取得できるようにした。MIMO信号検出には復号器のビットLLRを用いて空間多重されたストリームを除去するターボ

検出を導入した。

②位相雑音補償した OFDM 伝送系を, FPGA に実装し, その有効性とハードウェア実現性を実験により確認した. また, SC-FDE 伝送において位相雑音補償を行う受信機を FPGA に実装し, 1 MHz オフセットで  $-77$  dBc/Hz の高い位相雑音を持つ 60 GHz 無線機に接続することで, 60 GHz 帯 SC-FDE 伝送を実現し, 位相雑音補償により 16QAM 伝送が可能であることを示した.

③ GPU を用いてフェージングシミュレータを実現した.  $24 \times 24$  MIMO, 40 パスの遅延波を想定し, 有相関 MIMO 通信路を実現した.

#### 4. 研究成果

以下のような成果が, 理論, 計算機シミュレーションおよび実験により得られた.

##### (1) 広帯域変調方式

① 移動通信において 10 Gbit/s を超える超高速ビットレートを実現する上での研究課題, 伝送方式, およびフレームフォーマットの無線仕様について検討を行い,  $24 \times 24$  MIMO, 帯域幅 400 MHz の OFDM または SC-FDMA により最大で 30 Gbit/s を実現できることを明らかにした. 有相関 MIMO 通信路において, OFDM と SC-FDMA の性能比較を行い, OFDM の方が 30 Gbit/s を達成する SNR が低いことを示した.

② OFDM については, PAPR を低減化する方法を検討し, SBPH のように伝送特性を改善しつつ, 大幅に演算量を低減できる方法があることを示した. また, ブロック対角化等の MIMO システムとの整合性が優れた PAPR 低減化法を提案した.

③ シングルキャリアについては, FDE の位相雑音補償が極めて重要であることを示した.

##### (2) MIMO 信号検出法

① 高度な信号検出として, MIMO-OFDM において EM アルゴリズムと変分ベイズの導入方法を明らかにした. 前者については, 速い変動への対策として変動の微分量を導入できることを示した. 後者については, 計算機シミュレーションでは, 有意な利点を示す結果が得られておらず, 適用方法も再考して今後も検討を続ける.

② 準最適信号検出については, 1次元探索と多次元探索を提案した. 後者は, MLD 受信とほぼ同等の特性を維持しつつ, 演算量を送信アンテナ数の1次のオーダーに削減できた. 特にアンテナ数が多くなると極めて有効である.

③ ビット LLR 導出において提案した方法は, 計算機シミュレーションによれば, 優れた BER 特性を保持しつつ, 演算量を送信アンテナ数の1次のオーダーに削減できる.

##### (3) MIMO-OFDM

① プリコーディングの新しい規範として最小 BER 規範を提案した. さらに, 通信路推定誤差と量子化誤差の統計的性質を考慮してロバスト性を強化した.

② FFT の前置空間フィルタにより同一チャネル干渉を除去する方法を提案した. 白色化空間フ

ィルタのフィルタ係数には精度が高いことが必要であるが, 固有展開を逐次的に行う方法が有効であることを示した.

③ MIMO-OFDM における同一チャネル干渉抑圧には, 希望信号だけでなく干渉信号の通信路推定をかなり正確に行う必要があるが, パイロット信号における Zadoff-Chu 系列の適用が非常に効果的であることを示した.

##### (4) MIMO における CSI フィードバック

最小 BER 規範に適したアナログ方式を提案し, 従来の方式より優れた特性であることを示した. ただし, デジタル方式との比較は十分ではなく, 今後検討を行う.

##### (5) インターリーブを適用したシステム

① MIMO-OFDM にシンボル毎のインターリーブを適用することにより, バースト誤り特性がシンボル毎に局在化し, 変動の速い通信路の特性が大幅に改善された.

② IDMA では, 符号化における拘束長の影響を明らかにした. 畳み込み符号では, 干渉が多い環境では拘束長が短い符号を, 干渉が少ない環境では拘束長が長い符号を用いることで伝送特性を改善できることを示した.

(6) ARQ において T-MUD と適応多元接続制御を併用する本提案によるパケットスケジューリングを導入すれば, 従来方式に較べて大幅にスループットが向上することを示した.

(7) 位相雑音成分の繰り返し抽出を行うターボ検出構成により, 60 GHz ミリ波帯 SC 伝送において, 1 MHz オフセットで  $-85$  dBc/Hz の高い位相雑音レベルにおいて, 64QAM の SC 伝送が可能となることを示した. OFDM においても, ほぼ同様の結果を得た.

(8) FPGA を用いた実験により, 伝送特性の改善, リアルタイム動作の実現性を示した.

① FPGA によるベースバンド伝送系と, 10 GHz 帯および 60 GHz 帯無線系との組み合わせにより, 多くの実験系を試作してきた. その結果, 64QAM を用いる伝送系により  $4 \times 4$  MIMO で 5 Gbit/s を実現できることを実験的に示した.

② PAPR 補償および位相雑音補償の実装を行い, その実現性を確認した.

③ フェージングシミュレータにおいて, GPU の並列処理により CPU に対して 300 倍程度の高速化が可能であることを明らかにした.

#### 5. 主な発表論文等

研究代表者, 研究分担者および連携研究者には下線を引いた.

[雑誌論文] (計 16 件)

[1] L. Zheng, K. Fukawa, H. Suzuki, and S. Suyama, "Near-optimal signal detection based on the MMSE detection using multi-dimensional search for correlated MIMO channels," IEICE Trans on Communi. vol. E94-B, no. 08, pp. xx-xx, Aug. 2011, 採録通知有, 査読有.

[2] K. Muraoka, K. Fukawa, H. Suzuki, and S. Suyama, "Joint signal detection and channel estimation using differential models via EM

- algorithm for OFDM mobile communications," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E94-B, no. 02, pp. 533-545, Feb. 2011, 査読有.
- [3] L. Zheng, J. Woo, K. Fukawa, H. Suzuki, and S. Suyama, "Low-complexity algorithm for log likelihood ratio in coded MIMO-OFDM communications," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E94-B, no. 1, pp. 183-193, Jan. 2011, 査読有.
- [4] S. Suyama, J. Onodera, H. Suzuki, and K. Fukawa, "Decision-directed phase noise compensation for millimeter-wave single carrier systems with iterative frequency-domain equalization," *Inter. Journ. of Microwave and Wireless Technologies.*, pp.399-408, Aug. 2010, 査読有.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] B. Pitakdumrongkija, K. Fukawa, S. Suyama, H. Suzuki, and A. Umi, "Precoding technique for minimizing BER of MIMO-OFDM system employing MLD under multicell co-channel interference," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E92-B, no.5, pp.1573-1581, May 2009, 査読有.
- [8] 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. Commun.*, vol. E92-B, no. 5, pp. 1495-1503, May 2009, 査読有.
- [9] Boonsarn Pitakdumrongkija, K. Fukawa, H. Suzuki, "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, 査読有.
- [10] I. Kanno, H. Suzuki, K. Fukawa, "Adaptive MIMO-MLSE blind detection in heterogeneous stream transmission for mobile radio communications," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E91-B, no. 7, pp. 2346-2356, July 2008, 査読有.
- [11] 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.
- [12] Fan Lisheng, K. Fukawa, H. Suzuki and S. Suyama, "MIMO-OFDM MAP receiver with spatial-temporal filters employing decision-directed recursive eigenvalue decomposition parameter estimation," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E91-B, no. 4, pp. 1112-1121, April 2008, 査読有.
- [13] Boonsarn Pitakdumrongkija, H. Suzuki, S. Suyama, and K. Fukawa, "Coded single sideband QPSK and its turbo detection for mobile communication systems," *IEEE Trans. on Vehic. Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 311-323, Jan. 2008. 査読有.
- [14] 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.
- [15] Thet Htun Khine, K. Fukawa and H. Suzuki, "Suboptimal algorithm of MLD using gradient signal search in direction of noise enhancement for MIMO channels," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E90-B, no. 6, pp. 1424-1432, June 2007, 査読有.
- [16] Seree Wanichpakdeedecha, K. Fukawa, H. Suzuki, S. Suyama, "MLSE detection with blind linear prediction for differential space-time block code systems," *IEICE Trans. on Communi.*, vol. E90-B, no. 4, pp. 926-933, April 2007, 査読有.
- [学会発表](計 107 件)
- [1] S. Suyama, Y. Miyai, H. Suzuki, and K. Fukawa, "Experimental evaluation of phase noise compensation for 60-GHz single carrier systems," *Eur. Wireless Technology Conf. (EuWiT) (EuMW2010)*, Paris, pp. 289-292, Sept. 28, 2010.
- [2] S. Umeda, S. Suyama, H. Suzuki, and K. Fukawa, "PAPR reduction method for block diagonalization in multiuser MIMO-OFDM systems," *IEEE Vehic. Tech. Conf. in Taipei, Taiwan*, pp.1-5, May 18, 2010.
- [3] J. Shikida, S. Suyama, H. Suzuki, and K. Fukawa, "Iterative receiver employing multiuser detection and channel estimation for MIMO-OFDM IDMA," *IEEE Vehic. Tech. Conf. in Taipei, Taiwan*, pp.1-5, May 17, 2010.
- [4] L. Zheng, J. Woo, K. Fukawa, and H. Suzuki, "Low-complexity algorithm for log likelihood ratio in coded MIMO-OFDM communications," *IEEE Globecom 2009*, pp. 1-5, Honolulu, Dec. 3, 2009.
- [5] S. Suyama, J. Onodera, H. Suzuki, K. Fukawa, "Decision-directed phase noise compensation for millimeter-wave single carrier transmission systems with frequency-domain equalization," *EuWiT (EuMW2009)*, Rome, pp. 9-11, Sep. 28, 2009.
- [6] S. Suyama, H. Adachi, H. Suzuki, and K. Fukawa, "PAPR reduction methods for eigenmode MIMO-OFDM transmission," *IEEE Vehic. Tech. Conf. in Barcelona, Spain*, pp.1-5, Apr. 27, 2009.
- [7] S. Suyama, L. Zhang, H. Suzuki, K. Fukawa, "Performance of iterative multiuser detection with channel estimation for MC-IDMA and comparison with chip-interleaved MC-CDMA," *IEEE Globecom 2008*, New Orleans, pp. 1-5, Dec. 2, 2008.
- [8] F. Lisheng, K. Fukawa, and H. Suzuki, "MAP receiver with spatial filters for suppressing cochannel interference in MIMO-OFDM mobile communications," *IEEE 68th Vehic. Tech. Conf. in Calgary, Canada*, pp. 1-5, Sept. 23, 2008.

- [9] Boonsarn Pitakdumrongkija, K. Fukawa, and H. Suzuki, "MIMO-OFDM precoder for minimizing BER upper bound of MLD under imperfect CSI," Inter. Conf. Communi. 2008 in Beijing, pp. 683-687, May 21, 2008.
- [10] 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, Greece, pp. 1-5, Sept. 6, 2007.
- [11] Seree Wanichpakdeedecha, K. Fukawa, H. Suzuki, S. Suyama, "MLSE for DSTBC-OFDM detection with channel estimation by blind linear prediction and subcarriers interpolation," 2007 IEEE Intern. Conf. on Communi. (ICC 2007), Glasgow, Scotland, pp. 3045-3050 June 27, 2007.
- [12] Boonsarn Pitakdumrongkija, K. Fukawa, H. Suzuki, and T. Hagiwara, "Linear precoding with minimum BER criterion for MIMO-OFDM systems employing ML detection," 2007 IEEE Intern. Conf. on Communi. (ICC 2007), Glasgow, Scotland, pp. 2522-2527 June 25, 2007.
- [13] F. Lisheng, K. Fukawa, and H. Suzuki, "ML detection of MIMO-OFDM signals in selected spatial-temporal subspace for prewhitening with recursive eigenvalue decomposition in mobile interference environments," IEEE Vehic. Technol. Conf. 2007-Spring, Dublin, Ireland, pp. 2114 - 2118, April 25, 2007.
- [14] Y. Ishida, S. Suyama, H. Suzuki, and K. Fukawa, "MIMO-OFDM transmission employing subcarrier-block phase hopping for PAPR reduction," IEEE Vehic. Technol. Conf. 2007-Spring, Dublin, Ireland, pp. 2470-2474, April 25, 2007.

他 93 件

[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 12 件)

- [1] 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
- [2] 名称: IDMA 受信機  
 発明者: 須山 聡, 鈴木 博, 府川 和彦, 松本 知子, 小西 聡, 北川 幸一郎  
 権利者: 国立大学法人東京工業大学, KDDI 株式会社  
 種類: 特願  
 番号: 200-263307  
 出願年月日: 2009 年 11 月 18 日

国内外の別: 国内

他 10 件

○ 取得状況 (計 3 件)

- [1] 名称: RF フィルタ・バンクを用いたソフトウェア無線受信機  
 発明者: 鈴木 博, 須山 聡, 府川和彦  
 権利者: 国立大学法人東京工業大学  
 種類: 特許  
 番号: 第 4352173 号  
 取得年月日: 2009 年 8 月 7 日  
 国内外の別: 国内

他 2 件

[その他]

- [1] 平成 21 年度電波資源拡大のための研究開発採択報道発表, 個別研究開発課題: 超高速移動通信システムの実現に向けた要素技術の研究開発, 東京工業大学代表研究者: 鈴木 博
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] ホームページ等

[http://www.radio.ss.titech.ac.jp/prof\\_suzuki\\_thesis/thesis-j.html](http://www.radio.ss.titech.ac.jp/prof_suzuki_thesis/thesis-j.html)

## 6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

- ① 府川 和彦 (FUKAWA KAZUHIKO)  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授  
 研究者番号: 00323775
- ② 須山 聡 (SUYAMA SATOSHI)  
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
 研究者番号: 70334505

(3) 連携研究者

なし ( )  
 研究者番号: