

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289116

研究課題名(和文)ヘテロジニアスネットワークにおける超高効率無線パケットアクセス技術の研究

研究課題名(英文)Study on High-Efficiency Packet Radio Access Techniques in Heterogeneous Networks for Future Mobile Communications

研究代表者

佐和橋 衛 (Sawahashi, Mamoru)

東京都市大学・知識工学部・教授

研究者番号：50449287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、移動通信ネットワークで発生する不均一なトラフィックを高效率に収容するヘテロジニアスネットワークにおける超高効率無線パケットアクセス技術を提案し、提案技術の効果を計算機シミュレーションで評価した。具体的には、Faster-than-Nyquist (FTN)を用いる非直交チャネル多重技術、制御情報のオーバーヘッドを考慮した非直交チャネル多重法、制御情報の高效率多重及び高精度チャネル推定法、Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)多重における適応変調・チャネル符号化技術、高速セルサーチ技術などを提案し、効果をシミュレーションにより明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed high-efficiency radio packet access techniques and investigated the effects of the proposed techniques in heterogeneous networks for future mobile communications. More specifically, we proposed the techniques including non-orthogonal physical channel multiplexing using Faster-than-Nyquist (FTN) considering control signaling overheads, multiplexing scheme and accurate channel estimation method for control signals, Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) multiplexing scheme using adaptive modulation and coding, and fast cell search method in heterogeneous networks. We showed the effects of these techniques by link-level and system-level simulations.

研究分野：移動通信

キーワード：移動通信 制御情報 マルチアクセス セルサーチ MIMOチャネル伝送 送信ダイバーシティ 適応変調・チャネル符号化 ターボ干渉キャンセラ

1. 研究開始当初の背景

近年のスマートフォンの急速な普及に伴い、本研究課題開始時の2013年当初には、国内の携帯電話の契約台数が約1億3,000万になり、本格的なモバイルパーソナルインターネット時代が到来していた。2010年に第4世代(4G)移動通信方式であるLong Term Evolution (LTE)の商用サービスが開始され、特に下りリンクのデータトラフィックが飛躍的に増大している。情報通信審議会の報告によれば、移動通信ネットワークにおける2017年のデータトラフィックは2007年時の約220倍になると予想されていた。飛躍的に増大するトラフィックに対して、超高効率なブロードバンド無線アクセス方式を構築する必要がある。A. 既存及び新規の周波数スペクトルの活用、B. セルの一層の高密度化、C. 新技術の導入による周波数利用効率の向上、の3つのアプローチで、システム容量を増大する必要がある。移動通信ネットワークにおける不均一なトラフィック分布に対してシステム容量の大容量化を実現するために、3GPP (3rd Generation Partnership Project)においてマクロセル内にマイクロセル、ピコセル、あるいはフェムトセルなどの小セルをオーバーレイ配置するヘテロジニアスネットワーク(Heterogeneous Networks)の無線インタフェースの標準化が行われていた。

LTEの高度化システム、及び将来の第5世代(5G)移動通信方式においても、システム全体のキャパシティを保持しつつ、不均一なトラフィックを効率的に収容するためにヘテロジニアスネットワークの適用が想定されている。さらに、LTE-Advancedでは、最大100 MHz程度までの周波数帯域が規定されているが、International Telecommunication Union (ITU)におけるInternational Mobile Telecommunications (IMT)-Advanced用の候補の周波数スペクトルでは、連続した100 MHz程度以上の周波数スペクトルを確保することは容易でない。そこで、異なる周波数帯のスペクトルを合成して1つの無線リンクを生成するキャリアアグリゲーション(Carrier Aggregation)が必要である。異なる複数のコンポーネントキャリア(CCs: Component Carriers)を用いるCAでは、各ユーザに対する無線リソースの超高効率な割り当てアルゴリズムが重要な課題である。加えて、CAを用いることによる周波数帯域幅の増大、Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)多重を用いることによる送信アンテナ数の増大に伴い、制御情報ビット数が増大するため、超高効率な制御情報多重が必要である。また、ユーザ端末(UE: User Equipment)に対して高速・大容量の情報データを送信する必要があり、一層の周波数利用効率の向上が必須である。LTE-Advancedまでは、セル内の物理チャネルを周波数、時間領域の直交リソースに多重する直交マルチアクセスのアプローチが適用されてきた。その結果、ユーザ間干渉を低減し、所要受信Signal-to-Noise power Ratio (SNR)、及び所要送信電力を低減することによりシステム容量の大容量化を実現してきた。しかし、更に周波数利用効率を向上するためには、シ

ンボル間干渉(ISI: Inter-Symbol Interference)、及びサブキャリア間干渉(ICI: Inter-subCarrier Interference)を許容して情報シンボルを高密度多重し、受信機では干渉キャンセラの適用を前提とする非直交アクセス(多重)が必要になる。さらに、ヘテロジニアスネットワークでは、小セルにマクロセルがオーバーレイされているため、UEは、最も受信電力が大きなセルIDを高速かつ高精度に探索するセルサーチを行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、移動通信ネットワークで発生する不均一なトラフィックを高效率に収容するヘテロジニアスネットワークにおける超高効率無線パケットアクセス技術を構築することを目的とする。

(1) 高效率マルチアクセス技術

制御情報の高效率受信: 送信帯域幅の広帯域化、アンテナ数の増大に伴う、制御情報の高效率多重法の検討を行う。また、参照信号(RS: Reference Signal)に加えて誤り訂正復号器出力の対数尤度比(LLR: Log-Likelihood Ratio)から生成した軟判定シンボル推定値を用いる繰り返し判定帰還チャネル推定(DFCE: Decision Feedback Channel Estimation)の効果を明らかにする。

制御情報のオーバヘッドの観点からの非直交多重の検討: パケットアクセスにおける共有チャネルの高密度非直交アクセス(多重)の検討を行う。

Faster-than-Nyquist (FTN)

ユーザ間は直交多重で各ユーザに割り当てるリソースブロック(RB: Resource Block)内の情報シンボルを高密度に多重する方法としてFTNに着目し、スループットを評価するとともに、セルラ方式への適用課題を検討する。

- マルチパスフェージングチャネルにおけるFTNの受信ダイバーシチの効果を誤り率特性の観点から明らかにする。
- FTNを適用した場合の高精度伝搬路推定を行う場合のRSの多重法、及びRSを用いる伝搬路推定法を確立する。
- FTNでは、複数のシンボル間のISI及びICIを除去するために、復調・復号及び干渉キャンセル処理を繰り返して行うターボソフト干渉キャンセラ(SIC: Soft Interference Canceller)が必須であり、FTNに適したターボSICの構成を検討する。
- FTNでは、情報シンボルを高密度に多重するためICIを生じる。割り当てられたRBの隣接RBに漏洩するICIの低減法を検討する。

(2) 高效率MIMO多重技術

MIMO多重におけるターボSICを用いたときの直交周波数分割多重アクセス(OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access)とシングルキャリアFDMAのスループット特性を比較評価する。

OFDM-MIMO多重におけるターボSIC信号分離を用いたときの協調変調方式及び符号化スキーム(MCS: Modulation and Coding

Scheme) 選択の効果をスループット特性の観点から明らかにする。

OFDM-MIMO 多重における適応変調・チャネル符号化 (AMC: Adaptive Modulation and Coding) を用いたときのスループットの上界特性を導出し, AMC を用いたときの MCS 選択誤り, 及びチャネル推定誤差に起因するスループットの劣化の影響を明らかにする。

OFDM-MIMO 多重におけるリソースブロック毎のブロック誤りに基づく MCS 選択のアウトグループ制御法を確立する。

(3) ヘテロジニアスネットワークにおける高速セル ID 探索法 (セルサーチ法) の確立

3GPP の Technical Report (TR) に規定されているマクロセル及び小セルで同一の, あるいは異なる周波数スペクトルを用いるヘテロジニアスネットワークの展開シナリオにおける高速セルサーチ法を確立する。

同一周波数スペクトルを用いる場合の初期セルサーチ法

- ヘテロジニアスセル構成では, マクロセルの中に小セルがオーバーレイされているため, ユーザ端末が探すべきセル ID 候補数が増大する。マクロセルと小セルが同一チャネル干渉を受ける場合の初期セルサーチ時間特性を評価する。
- LTE の無線インタフェースで規定されている同期信号の系列をベースにして, ヘテロジニアスネットワークにおける同期信号の最適な系列割り当て法を確立する。異なる周波数スペクトルを用いる場合の高速初期セルサーチ法
- 小セルが, マクロセルに比較して高いキャリア周波数を用いる場合の初期セルサーチ法を確立し, 初期セルサーチ時間特性を評価する。

3. 研究の方法

本研究では, 高効率マルチアクセス技術, MIMO 多重及び送信ダイバーシチのマルチアンテナ技術, 及び高速セルサーチ技術の課題を抽出し, 課題を解決するための候補技術, あるいは考案した技術の効果を計算機シミュレーションにより評価した。高効率マルチアクセス技術及びマルチアンテナ技術の評価は, リンクレベルシミュレーションを用いた。リンクレベルシミュレーションでは, 一対の送信機と受信機をマルチパスフェージンチャネルの無線伝搬路を介して接続し, 受信機で測定した平均ブロック誤り率 (BLER: Block Error Rate), あるいはスループット特性を評価した。高速セルサーチ技術の評価は, マルチセル構成のシステムレベルシミュレーションを用いた。

4. 研究成果

(1) 高効率マルチアクセス技術

シングルキャリア FDMA における高効率変調及びターボ等化技術

- 2次元線形平均 2乗誤差最小 (LMMSE: Linear Minimum Mean-Square Error) アルゴリズムを用いる繰り返し判定帰還チャネ

ル推定 (IDDCE: Iterative Decision-Directed Channel Estimation) は, 低速から高速のマルチパスレイリーフェージングチャネルにおいて, ターボ周波数領域等化 (FDE: Frequency Domain Equalizer) の目標 BLER を満たすための所要平均受信 SNR の低減に有効であることを示した。

- IDDCE を適用したターボ FDE を用いたとき, (8, 8) Star 16QAM 及び (16, 16, 16, 16) Star 64QAM は, Square 16QAM 及び Square 64QAM を用いた場合に比較して, ピーク電力対平均電力比の指標である Cubic metric を考慮したときの所要平均受信 SNR を, それぞれ約 0.8, 0.3 dB 低減できることを示した。

制御情報の高精度チャネル推定

- OFDMA における時間分割多重 (TDM: Time Division Multiplexing) ベースの制御情報に対して, 空間・周波数ブロック符号 (SFBC: Space-Frequency Block Code) を用いたときの LMMSE アルゴリズムを用いる DFCE は, 着目するサブフレームの全ての RS を用いるチャネル推定に比較して所要平均受信 SNR を若干の劣化に抑えられることを示した。
- LTE 下りリンクの制御チャネル Enhanced Physical Downlink Control Channel (EPDCCH) において, 復調用 RS に加えて制御情報を用いる DFCE は復調用 RS (DM-RS) のみを用いる場合に比較して, 目標の平均 BLER を満たす所要平均受信 SNR を実現するための DM-RS の送信電力を半分程度に低減できることを示した。その結果, DM-RS の周辺セルに与える干渉を低減できることを示した。

Faster-than-Nyquist (FTN) 伝送

- Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)/Offset Quadrature Amplitude Modulation (OQAM) を用いる FTN において, 受信ダイバーシチが目標の平均 BLER を満たすための所要平均受信 SNR の低減に有効であることを示した。さらに, 8 受信アンテナの場合はほぼ同等の周波数利用効率を実現する 16QAM を用いる OFDM に比較して, FTN を適用した場合 QPSK は, 所要平均受信 SNR を低減できるものの, 受信アンテナ数が 4 程度より少ない場合は FTN の QPSK への適用効果は低いことを示した。
- OFDM/OQAM を用いる FTN において, 高精度なチャネル推定を実現するために, 直交 TDM を用いて RS を多重する構成を提案した。計算機シミュレーション結果より, 提案の RS 多重を用いるチャネル推定は, 理想チャネル推定を仮定した場合からの所要平均受信 SNR の劣化を 2 dB 以内に抑圧できることを示した。
- マルチパスフェージングチャネルにおける OFDM/OQAM の時間及び周波数領域のリソースエレメント (RE: Resource Element) 圧縮を用いる FTN において, 目標平均 BLER を満たすための所要平均受

信 SNR に顕著な差がないことを示した。

- FTN の送信帯域外への漏洩 ICI を低減することを目的として、OFDM/OQAM における不均一 RE 圧縮を用いる FTN を提案した。計算機シミュレーション結果より、提案の不均一 RE 圧縮を用いる FTN は、従来の均一 RE 圧縮とほぼ同等の平均 BLER 特性を実現できることを示した。一方、不均一 RE 圧縮を用いる FTN は、隣接チャネルへの漏洩 ICI を低いレベルに抑えることができるため、隣接チャネルとの間のガードサブキャリアを低減できる。

制御情報のオーバーヘッドを考慮した非直交マルチアクセス方式の比較検討

- トラヒックの要求条件に応じて異なるマルチアクセスを用いる Unified frame structure をベースに、5G 方式の要求条件を満たすために、提案されているマルチアクセス方式を制御情報のオーバーヘッドの観点から比較評価した。
 - 非直交アクセス(チャネル多重)において、同一セル内のユーザ間は直交多重で1ユーザのRB内の情報シンボルを高密度に非直交多重する FTN が制御情報のオーバーヘッドの観点から有利であることを示した。
 - 周波数選択性フェージングチャネルにおける周波数ダイバーシチ効果を得る技術、及びアンテナ利得及び空間多重利得を得る指向性ビーム送信について制御情報のオーバーヘッドの観点から比較評価した。
- #### **256QAM 変調方式のスループット特性**
- Cubic metric を考慮したとき、Square 256QAM は Star 256QAM に比較してスループットを増大できることを示した。

(2)高効率 MIMO 多重技術

MIMO 多重におけるターボ SIC を用いたときの OFDMA とシングルキャリア FDMA のスループット比較

- MIMO 多重において、Max-Log-MAP (maximum a posteriori probability)復号器出力の各ビットの事後 LLR を用いたターボ SIC は、外部 LLR を用いた場合に比較して平均 BLER が 10^{-3} を満たすための所要平均受信 SNR を約 0.5 - 0.8 dB 低減できることを示した。
- ターボ SIC を適用した MIMO 多重を用いた場合、OFDMA はシングルキャリア FDMA に比較してスループットを増大できることを示した。

OFDM-MIMO多重におけるターボSIC信号分離を用いたときの協調MCS選択の効果

OFDM-MIMO多重においてターボSIC信号分離を用いた場合、協調MCS選択は、軟判定シンボル推定値を受信信号から差し引いた後の残留干渉を考慮した全送信ストリームのトータルのスループットが最大になるMCSの組み合わせを選択できることを示した。その結果、ターボSICを用いた場合、協調MCS選択を用いたとき、ほぼ同等のスループットを実現するためのMCSセット内のMCS数を独立MCS選択に比較して低減できることを示した。

OFDM-MIMO多重におけるAMCを用いたときのスループットの上界特性

OFDM-MIMO 多重において AMC を行った場合の物理レイヤの技術を考慮した場合のスループットの上界を提案し、計算機シミュレーション結果より、提案の特性が、AMC に対する物理レイヤの技術を考慮したスループットの上界特性として適していることを示した。

OFDM-MIMO多重におけるAMCを用いたときのMCS選択誤り及びチャネル推定誤差の影響の検討

OFDM-MIMO 多重において AMC を用いたときの往復遅延時間に対する伝搬路のチャネル変動に起因する MCS 選択誤差、及び信号分離におけるチャネル推定誤差の影響をスループットの観点から明らかにした。

OFDM-MIMO多重におけるリソースブロック毎のブロック誤りに基づくMCS選択のアウトーループ制御

- OFDM-MIMO 多重において受信 SNR から求めた相互情報量(MI: Mutual Information)と BLER のマッピングテーブルにおいて、RB 単位のブロック誤りに基づいて MI の計算値を補正することにより、等価的に MCS 選択しきい値を補正するアウトーループ制御法を提案した。シミュレーション結果より、目標値とほぼ等しい平均 BLER を高精度に実現できることを示した。
- 高速 MCS 選択を実現するために、MI と BLER の複数のマッピングテーブルを用意し、ドップラ周波数の測定値から、最適なマッピングテーブルを選択するアウトーループ制御法を提案し、効果を示した。

(3)ヘテロジーニアスネットワークにおける高速セルサーチ技術

ヘテロジーニアスネットワークにおける小セル固有の同期信号系列割り当ての効果

LTE の同期信号構成を用いた場合のヘテロジーニアスネットワークに適した小セルクラスタ固有の第 1 同期信号 (PSS: Primary Synchronization Signal) 系列割り当て、及び小セル固有の第 2 同期信号 (SSS: Secondary Synchronization Signal) 系列割り当てを提案した。システムレベルシミュレーション結果より、提案の小セルの PSS 及び SSS 系列割り当ての高速初期セルサーチ時間特性を示した。

同一の周波数スペクトルを用いるヘテロジーニアスネットワークにおける PSS 検出確率及び初期セルサーチ時間特性

- 1 マクロセル環境において、PSS の正検出確率の近似理論解析結果を導出し、シミュレーション結果が近似理論解析結果とほぼ一致することから、システムレベルシミュレーション結果の妥当性を示した。
- システムレベルシミュレーション結果より、ホットゾーンビルにおいて屋内小セルを含むヘテロジーニアスネットワークは、マクロセルのみを展開するセル構成に比較して高速なセルサーチ時間特性を実現できることを示した。また、マクロセル間同期モードのセルサーチ時間は、マクロセ

ル間非同期モードに比較して若干長くなることを示した(小セルクラスタ間及びクラスタ内同期モードの場合)。

- 屋外小セルクラスタの中心とマクロセルサイト間の距離が200 m程度以内に非常に近接した場合を除いて,特にマクロセルから屋外小セルへの同一チャネル干渉が小セルのセルサーチ時間に与える影響は小さいことを示した。
- ヘテロジニアスネットワークにおいて,受信ダイバーシチが,正しいセルIDの95%の検出確率を実現するためのセルサーチ時間の短縮に有効であることを示した。
- 正しいセルIDの検出確率が95%以上のセル端近傍の領域において, Precoding Vector Switching (PVS)を用いる送信ダイバーシチはセルサーチ時間の低減に有効であることを示した。

異なる周波数スペクトルを用いるヘテロジニアスネットワークにおける周波数オフセット推定に基づく高速セルサーチ法

- マクロセルと小セルが異なる周波数スペクトルを用いるヘテロジニアスネットワークにおいて,小セルの2ステップの周波数オフセット推定を用いる初期セルサーチ法を提案した。システムレベルシミュレーションにより,提案のセルサーチ法は,小セルのキャリア周波数が6 GHz程度までの範囲において,96%のセルID検出確率を実現するためのセルサーチ時間が100 ms以下の高速初期セルサーチを実現できることを示した。
- PVS送信ダイバーシチ及び時間スイッチ送信ダイバーシチ(TSTD: Time Switched Transmit Diversity)は,マクロセル及び2ステップの周波数オフセット推定を用いる小セルともに,1アンテナ送信に比較してPSS及びセルIDの検出確率の顕著な改善効果が得られることを示した。

5. 主な発表論文等

【雑誌論文】(計 8 件) 査読あり

- 1) B. Han, T. Kawamura, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, "Throughput Analyses Based on Practical Upper Bound for Adaptive Modulation and Coding in OFDM MIMO Multiplexing," *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol.E99-A, no.1, pp. 185-195, Jan. 2016. DOI:10.1587/transfun.E99.A.185.
- 2) L. Deng, T. Kawamura, H. Taoka, and M. Sawahashi, "Performance of Open-Loop Transmit Diversity with Intra-subframe Frequency Hopping and Iterative Decision-Feedback Channel Estimation for DFT-Precoded OFDMA," *IEICE Trans. on Communications*, vol.E98-B, no.8, pp. 1492-1505, Aug. 2015. DOI:10.1587/transcom.E98.B.1492.
- 3) T. Ebihara, Y. Kuge, H. Taoka, N. Miki, and M. Sawahashi, "Performance of Outer-Loop Control for Adaptive Modulation and Coding Based on Mutual Information in OFDM MIMO SDM," *IEICE Trans. on Communications*, vol.E98-B, no.8, pp. 1506-1517, Aug. 2015. DOI:10.1587/transcom.E98.B.1506.
- 4) L. Deng, T. Kawamura, H. Taoka, and M.

Sawahashi, "Comparative Study of Open-Loop Transmit Diversity Schemes with Four Antennas in DFT-Precoded OFDMA Using Turbo FDE and Iterative Channel Estimation," *IEICE Trans. on Communications*, vol.E98-B, no.6, pp. 1065-1077, June 2015. DOI:10.1587/transcom.E98.B.1065.

- 5) S. Nagata, Y. Kishiyama, M. Tanno, K. Higuchi, and M. Sawahashi, "Performance Evaluations of Transmit Diversity Schemes with Synchronization Signals for LTE Downlink," *IEICE Trans. on Communications*, vol.E98-B, no.6, pp. 1110-1124, June 2015. DOI:10.1587/transcom.E98.B.1110.
- 6) C. Mori, T. Kawamura, N. Miki, and M. Sawahashi, "Performance of Star 16/64QAM Schemes Using Turbo FDE with Iterative Decision-Directed Channel Estimation for DFT-Precoded OFDMA," *Journal of Communications*, vol. 9, no. 2, pp.126-134, Feb. 2014. DOI:10.12720/jcm.9.2.126-134
- 7) T. Kawamura, Y. Kishiyama, and M. Sawahashi, "Performance of Star 16QAM Schemes Considering Cubic Metric for Uplink DFT-Precoded OFDMA," *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol.E97-A, no.1, pp. 18-29, Jan. 2014. DOI:10.1587/transfun.E97.A.18.
- 8) L. Deng, T. Kawamura, H. Taoka, and M. Sawahashi, "Investigation on Frequency Diversity Effects of Various Transmission Schemes Using Frequency Domain Equalizer for DFT-Precoded OFDMA," *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol.E97-A, no.1, pp. 30-39, Jan. 2014. DOI:10.1587/transfun.E97.A.30

【学会発表】(計 74 件)

以下査読あり 22 件,他に査読有り 2 件,査読なし 50 件

- 1) Y. Yamada, M. Sawahashi, and K. Saito, "Faster-than-Nyquist Signaling with Non-uniform Compression Factors for OFDM/OQAM," Proc. IEEE The 2015 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, ISPACS2015, 9-12 Nov. 2015, Bali, Indonesia.
- 2) M. Sawahashi (Invited), "Multi-access Technology Candidates for 5G Mobile Communications," IEEE/CIC International Conference on Communications in China, ICC2015, 2-5 Nov. 2015, Shenzhen China.
- 3) N. Noguchi, M. Sawahashi, and S. Nagata, "Cell Search Time Performance Using PVS Transmit Diversity in Heterogeneous Networks with the Same Frequency Spectrum," Proc. The 21st Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2015, 14-16 Oct. 2015, Kyoto University, Kyoto.
- 4) Y. Yamada, M. Sawahashi, and K. Saito, "Performance of Time and Frequency Compression of Faster-than-Nyquist Signaling in Frequency-Selective Fading Channels," Proc. The 21st Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2015, 14-16 Oct. 2015, Kyoto University, Kyoto.
- 5) N. Noguchi, M. Sawahashi, and S. Nagata, "Cell Search Time Performance Using PVS Transmit Diversity in Heterogeneous Networks with the Same Frequency Spectrum," Proc. The 21st Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2015, 14-16 Oct. 2015, Kyoto University, Kyoto.
- 6) N. Noguchi, S. Nagata, and M. Sawahashi, "Investigation on Detection Probability of

- Macrocell and Small Cell for Initial Cell Search in Heterogeneous Networks,” Proc. The 12th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2015, 22-23 Aug. 2015, Singapore, Singapore.
- 7) Y. Kuge, K. Saito, and M. Sawahashi, “Fast Selection Method of Best Modulation and Coding Scheme Using Multiple Mapping Functions for OFDM MIMO SDM,” Proc. The 12th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2015, 22-23 Aug. 2015, Singapore, Singapore.
 - 8) N. Noguchi, S. Nagata, and M. Sawahashi, “Fast Cell Search Method Using PSS and SSS Based on Frequency Offset Estimation for Heterogeneous Networks with Separate Frequency Spectrum,” Proc. IEEE 81th Vehicular Technology Conference, VTC2015-Spring, 11-14 May 2015, Glasgow, Scotland.
 - 9) T. Hirano, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, “TDM Based Reference Signal Multiplexing for Faster-than-Nyquist Signaling Using OFDM/OQAM,” Proc. The 14th IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS) 2014, 19 - 21 Nov. 2014, Macau, China.
 - 10) S. Hirayama, K. Takeda, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, “Performance of Downlink Control Information Signals Using Decision-Feedback Channel Estimation for EPDCCH,” Proc. The 14th IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS) 2014, 19 - 21 Nov. 2014, Macau, China.
 - 11) M. Sawahashi, T. Kawamura, and Y. Kakishima, “CSI Reference Signal Multiplexing Using Carrier Frequency Swapping for FDD High-Order MIMO SDM,” Proc. IEEE 80th Vehicular Technology Conference, VTC2014-Fall, 14-17 Sept. 2014, Vancouver, Canada.
 - 12) K. Yagishita, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, “Effects of Antenna Receiver Diversity with Faster-than-Nyquist Signaling Using OFDM/OQAM in Multipath Fading Channel,” Proc. The 17th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2014, 7 -10 Sept. 2014, Sydney Australia.
 - 13) S. Hirayama, K. Takeda, T. Kawamura, and M. Sawahashi, “Decision-Feedback Channel Estimation for TDM Based Control Signals Using SFBC in OFDMA Downlink,” Proc. The 11th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2014, 28-29 Aug. 2014, Ping Tung, Taiwan.
 - 14) Y. Kuge, T. Kawamura, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, “Performance of Outer-Loop Control of MCS Selection Based on Resource Block Error for OFDM-MIMO SDM,” Proc. The 11th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2014, 28-29 Aug. 2014, Ping Tung, Taiwan.
 - 15) N. Noguchi, S. Nagata, and M. Sawahashi, “Performance Evaluation of Cell Search Time for Heterogeneous Networks,” Proc. IEEE 79th Vehicular Technology Conference, VTC2014-Spring, 18-21 May 2014, Seoul, Korea.
 - 16) B. Han, T. Kawamura, Y. Kakishima, and M. Sawahashi, “Investigation of Degradation Factors for Adaptive Modulation and Coding in OFDM-MIMO Multiplexing,” Proc. IEEE 79th Vehicular Technology Conference, VTC2014-Spring, 18-21 May 2014, Seoul, Korea.
 - 17) C. Mori, T. Kawamura, H. Taoka, and M. Sawahashi, “Comparative Study of SC-FDMA and OFDMA Using Turbo SIC Considering Soft-Symbol Estimate for MIMO SDM” Proc. IEEE 79th Vehicular Technology Conference, VTC2014-Spring, 18-21 May 2014, Seoul, Korea.
 - 18) C. Mori, T. Kawamura, N. Miki, and M. Sawahashi, “Performance of Turbo FDE Using Two-Dimensional LMMSE Based Iterative Decision-Directed Channel Estimation for DFT-Precoded OFDMA,” Proc. 2013 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP, 24-26 Oct. 2013, Hangzhou, China.
 - 19) B. Han, T. Ebihara, H. Taoka, T. Kawamura, and M. Sawahashi, “Effect of Joint Modulation and Coding Scheme Selection on Turbo SIC for OFDM-MIMO Multiplexing,” Proc. International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP, 24-26 Oct. 2013, Hangzhou, China.
 - 20) K. Miwa, T. Kawamura, N. Miki, and M. Sawahashi, “Investigation on LLR Computation at FDE Output with Receiver Diversity Using Low-Rate Turbo Code for DFT-Precoded OFDMA,” Proc. IEEE 78th Vehicular Technology Conference, VTC2013-Fall, 2-5 Sept. 2013, Las Vegas, USA.
 - 21) B. Han, T. Ebihara, T. Kawamura, N. Miki, and M. Sawahashi, “Investigation on Throughput Upper Bound Using Adaptive Modulation and Coding for MIMO-OFDM,” Proc. The 10th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2013, 22-23 Aug. 2013, Seoul, Korea.
 - 22) C. Mori, Y. Tanaka, T. Kawamura, N. Miki, and M. Sawahashi, “Performance of Turbo Frequency Domain Equalizer Using Iterative Decision-Directed Channel Estimation for DFT-Precoded OFDMA,” Proc. The 16th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2013, 24-27 June 2013, Atlantic City, NJ USA.
- 【産業財産権】**
 出願状況（計4件）下記その他2件
 名称：無線基地局、ユーザ端末、無線通信方法及び無線通信システム
 発明者：佐和橋衛，川村輝雄，岸山祥久
 権利者：株式会社NTTドコモ
 種類：特許
 公開番号：特開2015-164257
 出願年月日：2014年2月28日
 国内外の別：国内
- 名称：セルサーチ方法及びユーザ装置
 発明者：岸山祥久，永田聡，佐和橋衛
 権利者：株式会社NTTドコモ
 種類：特許
 出願番号：2015-092375
 出願年月日：2015年4月28日
 国内外の別：国内
- 6. 研究組織**
 (1)研究代表者
 佐和橋衛（SAWAHASHI MAMORU）
 東京都市大学・知識工学部・教授
 研究者番号：50449287