

令和元年6月14日現在

機関番号：32678
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2016～2018
課題番号：16H04368
研究課題名(和文)5G移動通信方式における超高効率無線アクセス・無線バックホール技術の高度化の研究

研究課題名(英文)Study on enhanced techniques of efficient radio access and microwave wireless backhaul for 5G 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) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、セル内で不均一なトラヒック分布を効率にネットワークに収容するヘテロジニアスネットワークをベースにする第5世代(5G)移動通信方式における周波数利用効率を向上する高効率なマルチアクセス技術及びフルデュプレクス技術、低遅延を実現する制御信号及び同期信号を含む物理チャネル多重技術を提案し、提案技術の効果を計算機シミュレーションで評価した。また、超高速無線バックホールを実現するための超多値変調方式、及び見通し内multiple-input multiple-output (MIMO)技術の検討及び評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

移動通信ネットワークにおけるトラヒックは急増しており、基地局とユーザ端末間の無線アクセス網、及び基地局と上位局間のバックホール網の一層の高速・大容量化が必要である。本研究課題では、第5世代(5G)移動通信方式のPhase 2方式への適用を目的として、無線アクセス網、無線バックホール網の高度化技術の提案を行い、提案技術の評価を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed efficient multi-access techniques and full duplexing techniques for improving spectrum efficiency, and physical channel multiplexing techniques including control signals and synchronization signals for achieving low latency for 5th generation mobile communications systems based on heterogeneous networks. We also proposed ultra multi-level modulation schemes and a multiplexing scheme of pilot signals for line-of-sight (LOS) multiple-input multiple-output (MIMO) for microwave mobile backhaul. We investigated the effects of the proposed techniques by link-level simulations.

研究分野：移動通信

キーワード：無線アクセス 無線バックホール 物理チャネル多重 変調方式 制御情報 同期信号 セルID検出
ダイバーシティ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Long Term Evolution (LTE)の全世界にわたる急速な普及により、モバイルブロードバンド(MBB: Mobile Broadband)サービスの提供が可能になっている。移動通信ネットワークにおけるトラヒックの増大に伴い、一層のシステム容量の増大が必要である。システム容量の増大を、使用する周波数スペクトルの増大、小セル化(無線ゾーン)によるセルサイトの高密度配置、周波数利用効率を改善する無線アクセス技術の3つのアプローチで実現する。第3世代(3G)及び第4世代(4G)の移動通信方式では、及びの周波数スペクトルの拡張、セルサイトの高密度化の貢献が大きいものの、High-Speed Packet Access (HSPA)からLTE、LTEからLTE-Advancedへの各世代の無線方式において、前世代の方式から2-3倍以上の周波数利用効率の改善を実現する無線アクセス技術が開発、導入されてきた。2015年9月に3rd Generation Partnership Project (3GPP)のワークショップが開催され、第5世代(5G)方式のシステム要求条件、ネットワークアーキテクチャ、キー技術の提案が行われ、2020年に商用サービスの導入を目指した5G方式の無線インタフェースの標準化、開発計画が提案された。5G方式では、4G方式で主要なサービスであったMBBの一層の高速・大容量化が必要であり、セル当たり20 Gbps程度以上の総ピークデータレートが要求されている。さらに、Internet-of-Things (IoT)トラヒックを伝送する機器間の機械型通信(MTC: Machine-Type Communications)が重要なサービスになると想定されている。MTCは、非常に多数の小サイズのIoTトラヒックを効率的に多重するMassive MTCと自動車の制御のように非常に低遅延で高品質が要求されるMission critical IoTを多重する超高信頼低遅延通信(URLLC: Ultra-Reliable Low Latency Communications)に分類されている。Mission critical IoTを実現するために1 ms以内の低遅延が要求されている。5G方式では、4G方式と同様に、マクロセルが小セルにオーバーレイ配置されたヘテロジニアスネットワークが用いられる。マクロセルはユーザ端末(UE: User Equipment)に対してカバレッジを保証し、トラヒックが高いエリアに小セルを設置することにより、効率的にトラヒックを収容できる。3GPPでは、2020年の5G方式の商用サービスを目指したPhase 1の信号構成、マルチアクセス技術、物理チャンネル多重法、マルチアンテナ技術などの無線インタフェースの標準化を行う。しかしながら、既存の移動通信方式と同様に、5G方式は、2030年頃まで新技術を導入して、ピークデータレート100 Gbpsを実現する一層の超高速・大容量化、低遅延を実現する無線アクセス技術を構築する必要がある。

2. 研究の目的

本研究課題では、ヘテロジニアスネットワークをベースとする5G移動通信方式における超高速・大容量化、超遅延の無線アクセス技術、無線バックホール技術を構築することを目的とする。LTEでは、スケジューリングに基づく無線パケットアクセスが採用されている。共有チャンネルのリソースブロックと呼ばれるリソースを受信品質、トラヒックの要求遅延に応じてセル内のユーザ端末に割り当てる直交マルチアクセスが用いられている。LTEの直交チャンネル多重に比較して、周波数利用効率を向上するために、高密度チャンネル多重、周波数・時間ダイバーシチ効果を得る拡散を用いるチャンネル多重の検討を行う。データチャンネルの高速・大容量化に加えて、制御情報、無線パケットアクセス技術を動作させるためのLayer 1 (L1)/Layer 2 (L2)制御情報、セルIDの検出のための同期信号、受信品質測定に用いる参照信号の高効率多重の検討を行う。また、ヘテロジニアスネットワークで、トラヒックが高いエリアへの小セルの設置が非常に有効である。この場合、中央セルサイトと多数の小セルサイトを接続するバックホール、あるいはフロントホールの一層の大容量化が必須である。無線バックホールは設置コストの観点から有線バックホールに比較して有効であり、無線バックホールの超高速・大容量化技術の開発が必要である。以上の点を考慮して、本研究課題は、(1)高効率マルチアクセス技術、(2)高効率デュープレクス技術、(3)制御情報及び同期信号の高効率多重、(4)超高効率・超高速無線バックホール技術を検討する。各技術課題の目的及び技術検討を下記に示す。

(1) 高効率マルチアクセス技術の研究

MBBトラヒックの高密度マルチアクセス：制御情報のオーバーヘッドを低減するために、複数の通信ユーザのリソースブロック(RB: Resource Block)は直交多重、各ユーザに割り当てられたRB内の情報シンボルをFaster-than-Nyquist (FTN)を用いて高密度に非直交多重を行うことにより、周波数利用効率の向上を実現する。LTEでは矩形波パルスの直交周波数分割多重アクセス(OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access)が採用されており、周波数領域ではシステム帯域幅の10%がガードバンドに確保されている。5G NR無線インタフェースでは、周波数領域の高効率多重を実現するためにサブキャリアレベル、リソースブロックレベルの帯域制限フィルタが検討されたものの、時間領域の低遅延を優先して、ウィンドウイングを用いるOFDMAが採用された。本研究課題では、OFDMAにおいて同一の周波数利用効率を満たす多値変調方式を比較対象としてFTNの周波数利用効率の改善効果を明らかにする。また、FTNに送信ダイバーシチ、受信ダイバーシチを適用した場合の周波数利用効率の改善効果を明らかにする。

拡散を用いるOFDMの検討：LTEで採用されている直交マルチアクセスに対して一層のピークデータレート及び周波数利用効率の向上を実現するために、伝搬路が時間及び周波数選択性を有するマルチパスフェージングチャンネルにおいて時間及び周波数ダイバーシチ効果を得るための、OFDMに拡散を適用した場合の、受信機で干渉キャンセラを適用したブロック誤り率(BLER: Block Error Rate)のOFDMからの改善効果を評価する。

MTC無線チャンネルの高効率多重法の検討：小サイズのIoTトラヒックはサイズが小さいため、制御情報オーバーヘッドの観点からLTEで用いられているスケジューリングは適さない。そこで、周波数ダイバーシチ利得を得るためにサブフレーム内周波数ホッピング(FH: Frequency Hopping)、及び受信ダイバーシチを適用した場合の特性改善効果を検証する。

MIMO多重におけるMCS選択法：5G方式では、LTEに比較して一層高い周波数利用効率、ピークデータレートを実現するために多数アンテナを用いるMIMO多重の適用が想定されている。MIMO多重は適応変調・チャンネル符号化とセットに用いられる。本研究課題では、様々な遅延の伝搬モデルにおける低速から高速移動環境のユーザ端末に対して、高速・高精度に変調方式・符号化スキーム(MCS: Modulation and Coding Scheme)を選択する方法を確立する。

(2) 高効率フルデュプレクス法の検討

フルデュプレクス(FD: Full Duplex)は、同一の周波数帯域、同一の時間スロットを用いて下り及び上りリンクのチャンネルを多重するため、理想的にはハーフデュプレクス(HD: Half Duplex)方式に比較して、周波数利用効率、及びピークデータレートを2倍に増大できる。一方、基地局、ユーザ端末は同一時間スロットに、大電力の送信信号が自己干渉として受信機に回り込んでしまう。実際の移動通信方式では、下りリンクのトラヒックが上りリンクに比較して高い非対称トラヒック分布になっている。FDを適用した場合に周波数利用効率が理想的に2倍に向上しない要因として、下り、上りリンクのトラヒック分布の非対称性、周辺セルからの同一チャンネル干渉がある。本研究課題では、担当者が提案した繰り返しデジタル自己干渉キャンセラの多値変調を適用した場合の自己干渉抑圧効果を明らかにする。また、トラヒック分布が非対称な場合に、トラヒックが高いリンクの周波数利用効率を改善するリソース割り当て法を検討する。

(3) 制御情報・同期信号の高効率多重

スケジューリングに基づく共有チャンネルには、リソースの割り当て情報、変調方式、誤り訂正及び再送の単位であるトランスポートブロックサイズ、送信電力制御などのL1/L2制御情報を事前に通知する必要がある。再送制御を行う場合には、往復伝搬遅延(RTD: Round Trip Delay)に起因して遅延が生じる。本研究課題では、5G方式において、HD TDDに比較して超低遅延を実現するFDを用いるL1/L2制御情報の高効率な多重法を確立する。

高速・高精度セル検出のための同期信号の設計とセルID検出アルゴリズムの検討：ヘテロジニアスネットワークにおけるLTE、IoTトラヒックを高効率に多重するNB-IoT、5G New Radio (NR)無線インタフェースの同期信号を用いる高速・高精度セルID検出法を確立する。具体的には、周波数オフセット及びドップラ周波数を考慮したときの、送信ダイバーシチ、受信ダイバーシチ、及びFHを用いたときのセルID検出、同期信号多重法を明らかにする。

(4) 超高効率・超高速無線バックホール技術

2048QAMまでの超多値変調を用いる無線バックホールが実用化されており1 Gbps 以上の情報速度を実現できている。無線バックホールの実用システムでは、Rectangular QAM信号空間配置が採用されている。本研究課題では、無線バックホールの主な特性劣化要因の1つである位相雑音を考慮した場合に、Rectangular QAMに比較して目標のBERを満たすための所要受信SNRを低減できる信号空間配置を検討する。また、周波数利用効率を向上するためにLine-Of-Site (LOS)-MIMO多重が用いられている。本研究課題では、LOS-MIMOに時間領域処理に比較して演算量を低減できる周波数領域等化(FDE: Frequency Domain Equalizer)を適用した場合の受信機構成、及びBER特性を評価し、超高効率・超高速無線バックホールの実現法を検討する。

3. 研究の方法

本研究では、データレートを向上する高密度チャンネル多重、周波数・時間ダイバーシチ効果を得るための2次元拡散を用いるOFDM、MTCに適したチャンネル多重法等を含む高効率マルチアクセス技術、高効率デュプレクス技術、制御情報、同期信号の高効率多重及び高精度・高速セルID検出確率特性、超高効率・超高速無線バックホール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。各技術のアルゴリズムを実装した一対の送信機と受信機をマルチパスフェージングチャンネルの無線伝搬路を介して接続する構成のリンクレベルシミュレーションにより、受信機で、検出確率、平均BLER、あるいはスループット等を評価した。

4. 研究成果

(1) 高効率マルチアクセス技術の研究

OFDMにおけるFTNを用いる高密度チャネル多重法の検討

- FINでは、ナイキストレートより高速レートでシンボルを多重するため、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)を生じてしまう。OFDMにFTNを適用した場合に、ISI及びICIを低減するために、周波数領域の帯域制限フィルタに適した構成のOFDM/Offset Quadrature Amplitude Modulation (OQAM)のマルチパスフェージングチャネルにおける受信ダイバーシチのBLERの改善効果を示した。
- FTNはピークスループットの向上を実現するために多値直交振幅変調(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)への適用が必須である。そこで、QAMへの適用が可能な複数のIFFTを用いるFTN信号生成法の平均BLERを評価し、周波数利用効率の改善効果よりFTN信号の生成法の妥当性を確認した。
- OFDMにFTNを適用したときに高精度な伝搬路推定を実現するために、時間分割多重(TDM: Time Division Multiplexing)ベースの参照信号多重を用いたときの平均BLERを評価した。伝搬路推定用の参照信号ブロック及び先頭のFTNシンボルのみにCyclic prefixを付加するスロット構成を提案し、提案スロット構成の有効性を示した。
- FTNを適用したOFDMのマルチパスフェージングチャネルにおける平均BLERの計算機シミュレーション結果より、RF無線回路の劣化要因を考慮しない場合は、QPSKを用いるFTNは同一の平均受信SNRの場合に8PSKに比較して周波数利用効率は改善するものの、16QAMに比較して周波数利用効率の改善効果が得られないことを示した。

周波数・時間ダイバーシチ効果を得るための拡散を用いるOFDMの誤り率評価：遅延波に起因する周波数選択性フェージングチャネル、ユーザの移動速度に起因する高速ドップラ環境において、OFDMに周波数・時間ダイバーシチ効果を得るためにSymplectic Fast Fourier Transform (SFFT)を用いて拡散する直交時間・周波数・空間(OTFS: Orthogonal Time Frequency Space)変調のマルチパスフェージングチャネルにおける平均BLERを計算機シミュレーションにより評価した。シミュレーション結果より、OTFS変調は、周波数・時間領域の平均化(ダイバーシチ)効果が得られるものの、OFDMに比較して良好な平均BLERを実現するためには、コード間干渉を低減するターボ干渉キャンセラを適用が必要であることを示した。また、受信アンテナ数が2の場合は、OTFSはOFDMに比較して平均BLERの改善効果が大きいものの、受信アンテナ数が増大するとともに改善効果が小さくなることを示した。

狭帯域IoT無線方式の高効率ランダムアクセスチャネル構成の検討：低送信電力で広カバレッジエリアを実現する狭帯域IoT無線方式における、プリアンブル内周波数ホッピングを適用した狭帯域ランダムアクセスチャネル構成を提案した。計算機シミュレーションにより、プリアンブル内周波数ホッピングの受信タイミング検出確率の改善効果、及び改善が得られる条件を明らかにした。

超高品質・低遅延を実現するダイバーシチ・チャネル符号化技術の検討：周波数ダイバーシチ効果を得るために数10 MHz程度の広帯域送信で時間領域が1-2シンボル長のスロット構成の制御情報多重法を提案した。また、符号化率が1/15の超低レート低密度パリティチェック(LDPC: Low Density Parity Check)符号を設計し、ビット誤り率を評価した。

OFDM-MIMO多重における高効率適応変調方式の検討：OFDM-MIMO多重において参照信号で測定したユーザの移動速度に対応するフェージング相関を用いて予め用意した複数の変調方式及びチャネル符号化スキーム(MCS: Modulation and Coding Scheme)選択テーブルの中から最適なMCS選択テーブルを選択し、相互情報量に基づいて最大スループットを実現するMCS選択法を提案しアウトーループ制御と同等のスループットを実現できることを示した。

(2) 高効率フルデュプレクス(FD)法の検討

FDにおける繰り返しデジタル自己干渉キャンセラ構成の誤り率評価：LTEのリンクバジェットに従って、ユーザ端末の送信電力が23dBmの場合の目標のブロック誤り率を満たすための、所要の自己干渉減衰レベルを仮定した場合の多値変調方式に対する繰り返しデジタル自己干渉キャンセラのBLER特性を評価し、有効性を確認した。

上り及び下りリンクのトラヒック分布が非対称な場合におけるFDのスループット改善法：上り及び下りリンクのトラヒック分布が非対称な場合にFDを適用した場合にトラヒックの高いリンクのスループットを向上するサブフレーム単位のシンボル繰り返しを用いる物理チャネル多重法を提案し、自己干渉キャンセル後の復調器入力の希望波信号電力対干渉及び雑音電力比(SINR)、及びスループットの改善効果を示した。

(3) 制御情報・同期信号の高効率多重法

FDを用いた低遅延の制御情報多重法：無線リンクの低遅延を実現するためには、受信品質情報、再送制御情報等のフィードバック情報を短時間で送信する必要があるものの、時間分割デュプレクス(TDD: Time Division Duplex)では、スロット割り当ての制約から遅延が増大してしまう。フィードバック情報の制御遅延の低減を目的として、FDにおける時間同期した巡回シフトZadoff-Chu系列を用いる制御チャネル多重法を提案し、効果を示した。

同期信号高効率多重法と高精度・高速セルID検出法

- LTEヘテロジニアスネットワークにおける高速セルID検出法
LTEヘテロジニアスネットワークにおける小セルに対して最尤検出に基づく周波数オフセット推定を行う初期セルサーチ法を提案した。提案の初期セルサーチ法を用いることにより、マクロセルからの受信電力が低い環境においても、LTEの同期信号を用いて、高速初期セルサーチを実現することができることを示した。また、提案した初期セルID検出法におけるPrecoding Vector Switching (PVS)送信ダイバーシチの検出確率改善効果を示した。
- Narrowband (NB)-IoTにおける高精度・高速セルID検出法
 - NB-IoTにおける時間領域及び周波数領域のPVS送信ダイバーシチ構成、及び同期信号の検出法を提案し、セルID検出確率を評価した。
 - NB-IoT における第1同期信号及び第2同期信号を用いるセルID検出時間特性を計算機シミュレーションにより評価し、1アンテナ送信及びPVS送信ダイバーシチを用いた場合の目標のセルID検出確率を実現するサーチ時間を最も短縮できる第1及び第2同期信号のコスト関数の平均化時間を明らかにした。また、PVS送信ダイバーシチは、高いPCID検出確率を実現するために必要な時間ダイバーシチの第1及び第2同期信号系列の相関の平均化時間の短縮に有効であることを示した。さらに、ユーザ端末の回路規模及び消費電力の増大が許容できる場合には、受信ダイバーシチを適用することにより、PCID検出時間をさらに短縮できることを示した。
 - 複数のリソースブロックにNB-IoTを展開した場合のユーザ端末の第1及び第2同期信号に対する周波数ダイバーシチ受信を提案した。シミュレーション結果より、周波数ダイバーシチ効果に起因して、特に第1同期信号の検出確率が向上することを示した。
- 5G New Radio (NR) 方式における高精度・高速セルID検出法
 - 5G New Radio (NR)における第1同期信号及び第2同期信号を用いたときの、PVS送信ダイバーシチ及び受信ダイバーシチを適用した場合のセルID検出確率を評価した。
 - NRの同期信号を用いた周波数オフセット推定・補償を行った場合のセルID検出確率を評価し、キャリア周波数に対する同期信号の相互相関検出及び自己相関検出の適用領域を明らかにした。また、NRの同期信号バーストセットの多重間隔に対するセルID検出確率特性を評価した。

(4) 超高効率・超高速無線バックホール技術

高効率超多値変調方式

- 無線バックホールのためのパーシャルLDPC符号化及び協調復号を用いるCircular QAM信号空間配置に適した並列ダブルグレイマッピングを提案した。
- 時変の位相雑音に対して耐性のある並列ダブルグレイマッピングを適用したパーシャルLDPC符号化を用いる超多値Circular QAM信号空間配置設計法を提案し、計算機シミュレーション結果より提案設計法の妥当性を示した。また、提案のCircular 1024QAM及び4096QAM信号空間配置は、それぞれ従来のRectangular 1024QAM, 4096QAMに比較して目標のビット誤り率を満たすための所要受信SNRを低減できることを示した。
- 高次Circular QAMにおけるパイロットシンボル及びPhase Locked Loop (PLL)を用いる位相雑音推定法のパイロットシンボルのオーバーヘッドの低減効果を示した。
- 周波数領域等化を用いるLOS-MIMOの検討
- 周波数領域等化を用いるLOS-MIMOにおける巡回シフトZadoff-Chu系列を適用したパイロット信号多重を用いたときのビット誤り率を評価した。
- LOS-MIMOにおける周波数領域等化を用いた場合の位相雑音推定・補償処理を含む受信機構成の検討を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2件) 以下査読有り2件

- 1) A. Shimura, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kishiyama, "Physical Cell ID Detection Probabilities Using Frequency Domain PVS Transmit Diversity for NB-IoT Radio Interface," Accepted and to be appeared at *IEICE Trans. on Commun.*, Aug. 2019, DOI: 10.1587/transcom.2018TTP0010.
- 2) T. Ohtomo, H. Yamada, M. Sawahashi, and K. Saito, "Performance of Iterative Digital Self-Interference Canceler with Alternating Estimate Subtraction for OFDM Using Full Duplex," Accepted and to be appeared at *IEICE Trans. on Commun.*, Aug. 2019, DOI: 10.1587/transcom.2018TTP0018.

〔学会発表〕(計 52件)

以下査読有り19件、他に査読無し33件。

- 1) K. Ota, A. Shimura, M. Sawahashi, and S. Nagata, "Physical Cell ID Detection Probability Using Synchronization Signals for NR Radio Interface," Proc. 21th International Symposium on Wireless

- Personal Multimedia Communications, WPMC2018.
- 2) M. Anan, M. Sawahashi, and Y. Kshiyama, "BLER Performance of Windowed-OFDM Using Faster-than-Nyquist Signaling with 16QAM," Proc. 21th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2018.
 - 3) M. Sawahashi, H. Yamada, A. Shimura, and Y. Kshiyama, "Time-Synchronized Control-Channel Multiplexing Scheme Using Cyclic-Shifted Zadoff-Chu Sequences for Full Duplex," Proc. 2018 24th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2018.
 - 4) A. Shimura, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kshiyama, "Physical Cell ID Detection Performance Applying Frequency Diversity Reception to NPSS and NSSS for NB-IoT," Proc. 2018 24th Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2018.
 - 5) M. Sawahashi, H. Yamada, and Y. Kshiyama, "Physical Channel Multiplexing Using Symbol Repetition in Every Subframe for Full Duplex," Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC2018.
 - 6) K. Mori and M. Sawahashi, "Effect on Received Timing Detection Probability of Intra-preamble Frequency Hopping in Narrowband Random Access Channel," Proc. IEEE VTS the 15th Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2018.
 - 7) M. Nakabayashi, B. Zheng, M. Sawahashi, and N. Kamiya, "PAPR Performance of High-Order Circular QAM Constellation with Phase Noise Robustness," Proc. IEEE VTS the 15th Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2018.
 - 8) B. Zheng, L. Deng, M. Sawahashi, and N. Kamiya, "High-Order Circular QAM Constellations with Robustness for Phase Noise," Proc. The 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2017.
 - 9) A. Shimura, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kshiyama, "Performance of Physical Cell ID Detection Using PVS Based Transmit Diversity for NB-IoT," Proc. The 20th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, WPMC2017.
 - 10) B. Zheng, L. Deng, M. Sawahashi, and N. Kamiya, "Performance of Pilot Symbol Assisted and PLL Phase Noise Estimation and Compensation for High-Order Circular QAM," Proc. The 23rd Asia-Pacific Conference on Communications, APCC2017.
 - 11) A. Shimura, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kshiyama, "Initial Cell Search Method with MLD Based Frequency Offset Estimation in LTE Heterogeneous Networks," Proc. IEEE 86th Vehicular Technology Conference, VTC2017-Fall.
 - 12) A. Shimura, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kshiyama, "Effects of Time and Space Diversity on Physical Cell ID Detection for NB-IoT," Proc. The 14th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2017.
 - 13) B. Zheng and M. Sawahashi, "Performance of Circular 2048QAM Using Partial LDPC Coding with Time-Varying Phase Noise," Proc. IEEE VTS the 14th Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2017.
 - 14) S. Harashina, Y. Kuge, M. Sawahashi, and K. Saito, "Fast MCS Selection Method Using Multiple MCS Mapping Functions for OFDM-MIMO Multiplexing," Proc. The 14th International Symposium on Wireless Communication Systems, ISWCS2017.
 - 15) A. Shimura, M. Sawahashi, and Y. Kshiyama, "Physical Cell ID Detection Probabilities Using Frequency Domain PVS Transmit Diversity for NB-IoT Radio Interface," Proc. European Wireless 2017, EW2017.
 - 16) N. Noguchi, M. Sawahashi, and S. Nagata, "Initial Cell Search Time Performance in Heterogeneous Networks with Same Frequency Spectrum," Proc. IEEE 84th Vehicular Technology Conference, VTC2016-Fall.
 - 17) B. Zheng, Y. Yamada, M. Sawahashi, and K. Saito, "Investigation on Soft-Symbol Estimation Methods for Turbo SIC in OFDM Using Faster-than-Nyquist Signaling," Proc. The 13th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2016.
 - 18) A. Shimura, N. Noguchi, M. Sawahashi, S. Nagata, and Y. Kshiyama, "Effect of Transmit Diversity on Cell Search Using Two-Step Frequency Offset Estimation in Heterogeneous Networks," Proc. The 13th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2016.
 - 19) N. Noguchi, M. Sawahashi, and S. Nagata, "Initial Cell Search Time Performance in Heterogeneous Networks with Same Frequency Spectrum," Proc. The 13th IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium, APWCS2016.

〔産業財産権〕

出願状況(計 5件)下記の他に4件出願

名称: ユーザ端末および無線基地局

発明者: 佐和橋衛, 岸山祥久, 坪内淳

権利者: NTTドコモ

種類: 特許

番号: 特願2018-158783

出願年: 2018年

国内外の別: 国内