

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760287

研究課題名(和文) 安定した通信品質を提供するSC/MCハイブリッド移動通信ネットワークの実験的実証

研究課題名(英文) Experimental Evaluation of Hybrid SC/MC Mobile Communication Network for Realizing High-Reliable Communication Quality

研究代表者

亀田 卓 (Kameda, Suguru)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号：10343039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：次世代移動通信システムの広域化・高スループット化のために、広域化に適したシングルキャリア(SC)と、高スループット化に適したマルチキャリア(MC)を組み合わせたSC/MCハイブリッド無線通信方式の高機能化と実験的実証を行う。SC/MCハイブリッド通信方式をマルチセル環境へ適用することを検討し、マルチセル環境下においても高速かつ広カバレッジな上り回線アクセス方式として適用可能であることを示す。さらに、スケジューリング手法として高精度位置情報とマップ情報を用いたネットワーク選択手法の検討を行う。最終的には、提案方式のハードウェア実装・評価による実験的検証を行い、有効性・実用性を明らかにする。

研究成果の概要(英文)：A hybrid single-carrier (SC) and multi-carrier (MC) system is proposed for next-generation mobile communication systems, where both high data rate and wide coverage system are attained by appropriately selecting SC or MC signal. The final target of the research project is experimental evaluation of hybrid SC/MC. At first, the scheduling method with terminal positioning information and map information for the hybrid SC/MC is proposed and evaluated by using computer simulation. For experimental evaluation of hybrid SC/MC system, a multimode frequency domain equalizer (FDE) is implemented on field-programmable gate array (FPGA) and evaluated bit error rate (BER) performance by using adaptive switching function.

研究分野：無線通信工学

キーワード：移動通信システム SC/MCハイブリッド 広帯域 セル選択

### 1. 研究開始当初の背景

携帯電話をはじめとする移動通信システムの需要の軸は、既に音声通話からデータ通信によるマルチメディアコンテンツへと急速に移行している。さらに東日本大震災での経験を踏まえ、大規模災害時にも安定した接続性を担保する携帯電話の実現が喫緊の課題である。そのため、次世代移動通信システムには、より一層の高スループット化とともに、真のユビキタス(いつでも・どこでも)を実現するための広域化(セル端でのスループット向上・通信品質の安定化)が必要不可欠である。

高スループット化を目指し、LTE (Long Term Evolution) / LTE-Advanced や WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) などの移動通信標準規格では、OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) に代表されるマルチキャリア (MC) 伝送が広く採用されつつある。しかし、MC 伝送は PAPR (peak-to-average power ratio) が大きいので、線形性を確保するためには、送信電力増幅器 (PA) などにバックオフが必要となる。その結果、同じ PA を用いた場合、バックオフ分だけ平均送信電力が小さいため、MC 伝送はシングルキャリア (SC) 伝送と比較して広域化が難しい。特に、アップリンク(端末⇒基地局)の場合、端末の送信電力や消費電力にも制限があるため、この課題が顕著になる。よって、アップリンクにおいて広域化や端末の低消費電力化を優先する場合には、SC 伝送が有効である。実際、LTE や LTE-Advanced でも、アップリンクでは SC 伝送が適用されている。

### 2. 研究の目的

次世代広帯域移動通信システムの広域化・高スループット化のために、申請者はこれまでに、広域化に適したシングルキャリア (SC) と、高スループット化に適したマルチキャリア (MC) を組み合わせた SC/MC ハイブリッド無線通信方式を提案している。

本研究開発では、この概念を発展させてシステムの実験的実証までを行う。SC/MC ハイブリッドシステムをマルチセル環境へ適用することを検討し、マルチセル環境下においても SC と MC をハイブリッド化させることによって、高速かつ広カバレッジな上り回線アクセス方式として適用可能であることを示す。さらに、SC・MC チャネル最適配置を可能とする周波数マッピング・スケジューリング手法として高精度位置情報とマップ情報を用いたネットワーク選択手法の検討を行う。最終的には、提案方式のハードウェア実装・評価による実験的検証を行い、有効性・実用性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) SC/MC ハイブリッド通信方式の次世代広帯域移動通信システムの広域化・高スループット化への寄与の検証: これまで広域モバイルブロードバンド通信方式 (MBWA: mobile broadband wireless access) を用いた仙台市街地における実証実験の結果を踏まえ、提案する SC/MC ハイブリッド通信方式が次世代広帯域移動通信システムの広域化・高スループット化にどの程度寄与できるかを評価する。

(2) SC/MC ハイブリッド通信方式のマルチセル環境への適用: SC/MC ハイブリッドシステムにマルチセル環境を適用し、干渉局端末が異なる伝送方式を用いるために生じるセル間干渉による劣化の違いや、マルチセル環境下においても SC/MC ハイブリッドシステムの目的となる基地局近傍での高スループット・セル端でのスループット補償が確保できるかを評価を行う。マルチセル環境において、計算機シミュレーションを用いて、スループット特性評価・スループット累積分布特性評価を行う。

(3) マップ情報を用いた高効率通信方式選択技術の検討: 複数の異種無線通信方式が存在する環境下において、端末の位置情報とマップ情報(信号品質マップ・トラヒックマップ)を活用して最適な通信方式を選択する方式について提案を行い、特性評価を計算機シミュレーションにより行う。

(4) SC/MC ハイブリッド通信方式を実現するためのマルチモード周波数領域等化 (FDE: frequency domain equalization) 回路などの要素回路ハードウェア実装と実験的検証: SC/MC ハイブリッドシステムの送受信器構成を FPGA (field-programmable gate array) に実装するための課題抽出を行う。設計したマルチモード FDE を FPGA ならびに ASIC (application specific integrated circuit) に実装し、特性評価を実測にて行う。

4. 研究成果

(1) SC/MC ハイブリッド通信方式の次世代広帯域移動通信システムの広域化・高スループット化への寄与の検証: 仙台市街地における MBWA 実証実験では、マルチキャリア方式である FLASH (fast low-latency access with seamless Handoff) OFDM 方式を用いた伝搬実験を行っている。アンテナ高の異なる 3 基地局を仙台市街地に設置し、そのエリア内を自動車や歩行により移動し、スループットなどの評価を行っている。本研究課題では、これらの評価結果を用いて SC/MC ハイブリッド通信方式の適用可能性の評価を行った。伝搬実験の実測結果から算出された各地点における所要 S/N 値に基づいて SC・MC それぞれの通信可能範囲と通信速度を求めた。その結果、提案方式を用いて、基地局からの距離や受信電力強度などに応じて変調方式を適応的に切り替えることで、

広域かつ高速通信を両立できる可能性があることが分かった。

(2) SC/MC ハイブリッド通信方式のマルチセル環境への適用: 提案方式はセル境界付近において SC を用いることで、スループットを維持可能とする方式である。しかし、マルチセル環境においてはセル間干渉に伴い、スループットが大幅に劣化する可能性がある。そこで、マルチセル環境における提案方式の評価を計算機シミュレーションで行った。その結果、SC/MC ハイブリッド通信方式が SC・MC 単体を用いる伝送方式と比較して、近距離で高スループット、遠距離でカバレッジを拡大できることを示した。スループットの累積分布の評価を行い、MC 伝送と比較して 10% スループットを 17.5 倍程度、SC 伝送と比較して 90% スループットを 1.2 倍程度向上できることを示した。

(3) マップ情報を用いた高効率通信方式選択技術の検討: 異種無線融合システムにおいては、端末が高速に最適なネットワークを選択することが重要である。そこで異種無線融合システムにおけるネットワーク選択手法として、GPS (Global Positioning System) に加え、準天頂衛星システム (QZSS: Quasi-Zenith Satellite System) の高精度測位信号を用いて作成されたマップ情報 (信号品質マップ・トラヒックマップ) を適用した最適ネットワーク選択手法を提案した。本提案方式は、以下の 2 ステップによりマップ情報の作成を行う。

① 各基地局に対する信号品質測定

各基地局に対して伝搬路変動の影響を除去した信号品質の平均値を算出するために、各端末が通信を行っていない際に瞬時測定値を測定する。

② 測定情報の集約・マップ作成

QZSS を用いた高精度位置情報とひも付けされた信号品質の瞬時測定値を周辺の基地局を介してサーバに送信する。サーバ側では各端末からの信号品質・位置情報を大量に収集し、基地局ごとに統計処理することで信号品質マップを作成する。さらにトラヒック負荷の情報を得るため、各基地局は自局への接続人数など混み具合を示す情報を算出し、自局を識別する情報とひも付けして定期的にサーバに送信する。サーバでは収集した情報から予測される各基地局のトラヒック負荷によって信号品質マップを重み付けすることで、動的なトラヒックの変化にも対応する信号品質マップを作成する。

通信時においては、各端末はマップ情報と端末の位置情報を用いて、その地点における最適な通信方式を選択することができる。計算機シミュレーションの結果、従来手法と比較して平均ユーザスループット値が 85.2% 程度改善し、予測スループット基準のマップ情

報による高効率ネットワーク負荷分散を実現できることを示した。

(4) SC/MC ハイブリッド通信方式を実現するためのマルチモード周波数領域等化 (FDE) 回路などの要素回路ハードウェア実装と実験的検証: SC/MC ハイブリッド通信方式に必要な不可欠となる技術の一つが FDE である。広帯域移動通信においては、無線チャネルは周波数選択性が強くなり伝送特性が大幅に劣化するが、FDE を用いることで SC 通信においても周波数ダイバシティ効果が得られるため、BER 特性を大幅に改善可能である。さらに、FDE 技術は伝搬路特性改善のみならず、FDE に含まれるチャネル推定の機能を用いた最適チャネル選択技術にも不可欠である。複数方式のパイロット信号を同時に受信し、チャネル特性を解析することで、より高品質通信可能な通信方式やチャネルを選択できる。本研究課題では、SC/MC ハイブリッド通信方式のためのマルチモード FDE 回路の FPGA ならびに ASIC 実装を行い、実測評価を行った。一例として MC モードで動作させた場合の BER 特性について、以下に示す。本評価では ZF (zero forcing) 規範を用いた。本評価の動作環境では、サンプリングレート 100 Msample/s 動作で、スループットは 12.5Mbit/s であった。ビット誤り率 (BER)  $10^{-3}$  において、実測値の  $E_b/N_0$  ペナルティ (計算機シミュレーション値基準) は 1 dB 以下と良好な結果が得られた。以上の結果から、実装したマルチモード FDE ASIC がほぼ設計通りに動作することを確認した。このマルチモード FDE 技術を応用することで SC/MC ハイブリッド通信方式が実現可能である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Measured downlink throughput performance of MBWA system in urban area," IEICE Trans. Commun., vol.E96-B, no.1, pp.329-334, Jan. 2013.  
DOI: 10.1587/transcom.E96.B.329 (査読有)
- ② 坪内 和夫, 亀田 卓, 末松 憲治, "ディペンダブルエア," 信学論, vol.J95-C, no.12, pp.460-469, Dec. 2012.  
[http://search.ieice.org/bin/pdf\\_link.php?category=C&lang=J&year=2012&fname=j95-c\\_12\\_460](http://search.ieice.org/bin/pdf_link.php?category=C&lang=J&year=2012&fname=j95-c_12_460) (査読有)

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① 窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 小熊 博, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法: 接続ユーザ数を考慮したスループット評価,” 信学技報 RCS2014-229, 2014 年 12 月 18 日~19 日, 伊勢市観光文化会館 (三重県・伊勢市). (査読無)
- ② 窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 小熊 博, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “Network selection scheme using positioning information for heterogeneous wireless system: throughput evaluation considering selection resource utilization,” 信学技報 SR2014-84, 2014 年 12 月 18 日~19 日, シンガポール (シンガポール). (査読無)
- ③ J. Kuboniwa, Y. Miyake, S. Kameda, A. Taira, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A novel cell selection scheme using positioning information for heterogeneous wireless system,” The 7th International WDN Workshop on Cooperative and Heterogeneous Cellular Networks (WDN-CN2014), 2014 年 9 月 2 日~4 日, ワシントン DC (アメリカ). (査読有)
- ④ 窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法の通信容量評価,” 信学技報 RCS2014-36, 2014 年 6 月 17 日~19 日, 沖縄県青年会館 (沖縄県・那覇市). (査読無)
- ⑤ 窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法: ITU-R 伝搬モデルによる評価,” 信学総大 B-17-42, 2014 年 3 月 18 日~21 日, 新潟大学 (新潟県・新潟市). (査読無)
- ⑥ 窪庭 純平, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法の提案,” 信学技報 SR2013-87, 2014 年 1 月 23 日~24 日, 東北大学 (宮城県・仙台市). (査読無)
- ⑦ Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, M. Iwata, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “ASIC implementation of multimode frequency domain equalizer for heterogeneous wireless system,” IEEE 24rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2013), pp.397-402, 2013 年 9 月 8 日~11 日, ロンドン (アメリカ). (査読有)
- ⑧ 三宅 裕士, 小熊 博, 飯塚 昇, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “シングルキャリア/マルチキャリアハイブリッド通信方式の検討: マルチセル環境下におけるアップリンクのスループット特性評価,” 信学ソ大 B-5-93, 2012 年 9 月 11 日~14 日, 富山大学 (富山県・富山市). (査読無)
- ⑨ Y. Miyake, F. Yamagata, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Hybrid single-carrier and multi-carrier system: Evaluation of throughput with inter-cell interference,” IEEE 23rd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2012), 2012 年 9 月 9 日~12 日, シドニー (オーストラリア). (査読有)
- ⑩ S. Kameda, Y. Miyake, K. Komatsu, M. Iwata, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “ASIC implementation of multimode frequency domain equalizer for Dependable Air,” The 27th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2012), D-T1-02, 2012 年 7 月 15 日~18 日, 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市). (査読有)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

亀田 卓 (KAMEDA, Suguru)

東北大学・電気通信研究所・准教授

研究者番号: 10343039