

5Gに向けた高度化マルチキャリアによる柔軟な多元接続の研究開発 (145007107)

Research and Development of Flexible Multiple Access with Enhanced Multicarrier for 5G

研究代表者

岩井 誠人 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

Hisato Iwai Advanced Telecommunications Research Institute International

研究分担者

杉山 敬三[†] 鈴木 信雄[†] 鈴木 利則[†] 吉岡 達哉[†] Roya E. Rezagah[†]
雨澤 泰治[†] 周東 雅之[†] 夜船 誠致[†]

Keizo Sugiyama[†] Nobuo Suzuki[†] Toshinori Suzuki[†] Tatsuya Yoshioka[†] Roya E. Rezagah[†]
Yasuharu Amezawa[†] Masayuki Suto[†] Masanori Yofune[†]

[†]株式会社国際電気通信基礎技術研究所

[†]Advanced Telecommunications Research Institute International

研究期間 平成 26 年度～平成 28 年度

概要

第 5 世代 (5G) の移动通信システムの実現に向けて、膨大な数の接続機器で発生する多様なトラフィックを限られた周波数資源で効率的に収容するため、高度化マルチキャリアをベースとした、以下の柔軟な周波数領域での多元接続を確立した。確立した方式を適用することで、既存の OFDM と比較して周波数利用効率が 30%向上することを確認した。

- Flexible Enhanced Multi-Carrier 伝送: 波形パラメータ (例: サブキャリア間隔) の異なるサブキャリアの並列伝送を実現し、QoS 要求の異なるトラフィックを高効率に収容できる。
- Hybrid Multi-Carrier 伝送: 同一システム帯域内で OFDM と高度化マルチキャリアの同時並列伝送を実現し、第 4 世代(4G)と 5G 端末の接続割合に応じた柔軟な周波数利用を可能とした。

1. まえがき

5G の実現に向けて、膨大な通信機器で発生する多様なトラフィックの効率的な収容のための新たな信号波形として、UF-OFDM (Universal Filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 伝送や GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) 伝送等の高度化マルチキャリア (Enhanced Multi-Carrier、Enh.MC) 伝送の議論が進められている。

Enh.MC 伝送の導入には、多様なトラフィックの効率的な収容や、4G との共存及び移行に適した技術が必要である。そこで、本研究開発では Enh.MC 伝送をベースに、周波数利用効率ならびに伝送方式としての利便性を更に高め、周波数軸上での柔軟な多元接続方式に関する技術の研究開発を行った。要素技術として、Hyb.MC (Hybrid Multi-Carrier)伝送と Flex.Enh.MC (Flexible Enhanced Multi-Carrier) 伝送方式を提案した。Hyb.MC 伝送は、Enh.MC 伝送と OFDM 伝送を同一システム帯域内で同時伝送する。Flex.Enh.MC 伝送は、収容するトラフィック種別に応じて信号波形パラメータの異なるマルチキャリア信号を同時送信する。

2. 研究開発内容及び成果

2. 1. 研究開発概要

本研究開発における周波数利用イメージを図 1 に示す。Hyb.MC 伝送技術を用いることで、同一周波数帯域を 4G 端末が対応する OFDM 伝送と 5G 端末が対応する Enh.MC 伝送の領域に分割することができる。これにより、各端末が混在する状況下で柔軟に双方のトラフィックを収容することで、4G から 5G へ円滑な移行を実現する。Flex.Enh.MC 伝送を用いることで、膨大な通信機器の多様なトラフィックに応じて、適切な信号波形パラメータを利用することが可能となり、効率的に収容することができる。さらに、これらの要素技術により Enh.MC 伝送が普及すれば、その低い帯域外漏洩電力の特性を生かすことで、

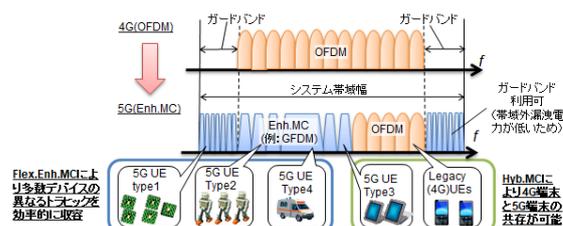


図 1 本研究開発における周波数利用イメージ

OFDM では利用できなかったガードバンドの活用が可能となり、周波数利用効率の向上に寄与できる。

2. 2. 課題 (1) Hyb. MC 伝送特有の課題

Hyb.MC 伝送で発生する課題として、OFDM と GFDM の相互干渉がある。これに対し、GFDM への窓関数適用とユーザ割当アルゴリズムを考案した。まず窓関数について、ブロック間の信号の不連続性を低減し帯域外輻射電力を抑圧する窓関数法を適用した。窓関数を導入した GFDM では、窓関数係数補正時に信号ブロックの両端で雑音協調が発生し GFDM の性能が劣化する。この影響を軽減するため、CP (Cyclic Prefix) を半分に分け、時間信号の先頭と CS (Cyclic Suffix) として末尾に分割して挿入する。これにより、雑音をより大きく強調する信号端を CP/CS として除去することができる。計算機シミュレーションにより、窓関数を適用した場合においても GFDM の性能が劣化しないことを確認した。

次にユーザ割当アルゴリズムについて、適切なユーザの選択及び伝送レートと送信電力を状況に応じて調整可能な、ユーザへの無線リソース割当アルゴリズムの基本形を提案した。システム帯域幅のうちガードバンドを除いた部分に OFDM あるいは GFDM ユーザ、ガードバンドに GFDM ユーザを割り当てる。割り当てられたユーザに対して、伝搬路の状態に応じて変調方式や符号化率を決定する。計算機シミュレーションにより、周波数利用効率を最

大 10%向上できることを確認した。

2. 3. 課題(2) Flex. Enh. MC 伝送特有の課題

異なる幅のサブキャリアを使用するユーザが混在すると、非同期の通信によりユーザ間干渉が発生し、通信性能が低下する。そこで、異なる幅のサブキャリアを使用するユーザが混在する場合の干渉低減手法を提案した。具体的には、まず、受信信号を用いて自信号のレプリカ信号を生成する。生成した自信号のレプリカ信号を受信信号から減算することで、他ユーザの信号推定値を得る。次に、他ユーザの信号推定値から他ユーザの変調パラメータ（例：オーバーサンプリングレート、ロールオフ率）を推定する。推定したパラメータをもとに他ユーザの信号レプリカを生成し、受信信号から減算することで、所望信号のみを得る。計算機シミュレーションにより、推定した他ユーザの情報を用いてユーザ間干渉を除去することで、サブキャリア幅の異なるユーザが混在できることを確認した。

2. 4. 課題(3) Hyb. MC 伝送・Flex. Enh. MC 伝送 共通の課題

膨大な接続機器で発生する多種多様なトラフィックを効率的に収容することを目的として、QoS を考慮した無線リソース制御アルゴリズムを考案した。本方式では、既存の PF (Proportional Fairness) メトリックを、パケットごとに設定された許容遅延量に基づいて補正する。これにより、ユーザ間で公平な割当を保証しつつ、運用シナリオに応じて許容遅延量の反映度合いを調整できる。

考案したアルゴリズムを用いた場合のスループット (Throughput, TP) を計算機シミュレーションにより評価した。総ユーザ数を 20 とし、OFDM ユーザと GFDM ユーザの割合を変化させた。図 2 の評価結果より、GFDM ユーザがいる場合は、OFDM ユーザのみと比較して TP が改善した。図 2 の結果をもとに算出した周波数利用効率を表 1 に示す。ここで、周波数利用効率は OFDM のみの TP を基準とした TP の改善量である。表 1 より、周波数利用効率 30% 向上を達成できた。

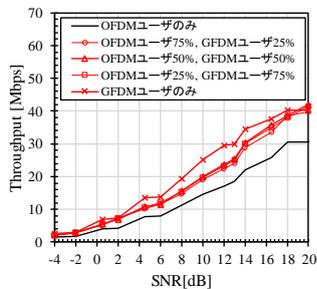


図 2 スループット特性

表 1 周波数利用効率

GFDM ユーザの割合	周波数利用効率
0%	100% (基準)
25%	137%
50%	141%
75%	141%
100%	163%

2. 5. 他の 5G 技術との併用

他の 5G 技術として、IDMA (Interleaved Division Multiple Access) や MUST (Multi-User Superposition Transmission) との併用方法を考案した。まず IDMA との併用について、IDMA は、送信機側でユーザごとに異なるパターンでインターリーブを行うことで、複数ユーザの同一周波数同時利用を可能にする。しかし IDMA は電力制御を行わないと 3 ユーザ以上の同時利用ができないため、電力制御が必須である。そこで、IDMA における電力制御手法を考案した。考案した制御方法を用いることで、3 ユーザ以上の同時利用が可能になることを確認した。

次に MUST との併用について、MUST は同一サブキャリアを複数ユーザで共有することで、周波数利用効率向上を図る。MUST を適用した Hyb. MC 伝送において、ユーザへの周波数リソース割り当て手法を考案した。考案したリソース割り当て手法では、パケットごとの許容遅延時間に基づいたサブキャリア幅の決定、PF に基づいたサブキャリ

ア割り当て、FTPC (Fractional Transmit Power Control) による送信電力割り当ての 3 つの処理を行う。計算機シミュレーションにより、MUST を適用した場合においても周波数利用効率を 30% 向上できた。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果を国際標準化へ入力するため、標準化動向の調査や入力を進めた。現在 3GPP では、様々な SI (Study Item) が設けられ、5G 技術の仕様策定に関する議論が活発に行われている。本研究開発に関連する SI として、「Study on Non-orthogonal Multiple Access for NR」がある。本 SI の Supporting Individual Members に加入し、平成 28 年 6 月に開催された RAN1-NR#2 へ寄書入力 1 件を完了した。引き続き、3GPP の標準化動向の調査および寄書入力を進めていく。

4. むすび

5G 移動通信システムの実現に向けて、膨大な数の接続機器で発生する多様なトラフィックを限られた周波数資源で効率的に収容するため、高度化マルチキャリアをベースとした多元接続を確立した。既存の OFDM と比較して、周波数利用効率を 30% 向上できることを確認した。

【誌上发表リスト】

- [1] Toshinori Suzuki, Takuya Sato, Tatsuya Yoshioka, “Analysis of the interference from GFDM to OFDM signals in same band”, IEICE Communications Express, vol.6 no.3 pp.126-131 (2017 年 1 月 16 日)
- [2] Masanori Yofune, Masayuki Suto, Yasuharu Amezawa, Tatsuya Yoshioka, Nobuo Suzuki, “Proportional fair scheduling method with QoS for the coexistence system of GFDM and OFDM”, IEICE Communications Express, vol.6 no.7 pp.454-459 (2017 年 7 月 1 日)
- [3] Roya E. Rezagah, Tatsuya Yoshioka, and Nobuo Suzuki, “Power Allocation for Uplink Non-orthogonal Multiple Access in 5G”, IEEE International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), pp.16-20, March 2017.

【申請特許リスト】

- [1] 吉岡 達哉、夜船 誠致、雨澤 泰治、周東 雅之、「割当装置、それを備えた送信機、コンピュータに実行させるためのプログラム、プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体」、日本、2017 年 2 月 28 日
- [2] 吉岡 達哉、鈴木 利則、「受信機、コンピュータに実行させるためのプログラムおよびそれを記録した記録媒体」、日本、2017 年 2 月 27 日
- [3] ローヤ レザガ、吉岡 達哉、鈴木 信雄、「電力割当装置、それを備えた端末装置、コンピュータに実行させるためのプログラムおよびプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体」、日本、2017 年 3 月 15 日

【受賞リスト】

- [1] 小水 康寛、連合大会奨励賞、「OFDM と GFDM 共存時の OFDM へのキャンセリングキャリア適用による干渉低減の評価」、2017 年 4 月 14 日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.atr.jp/expo2016/index.html>