

京都大学原田研究室が無線周波数資源を有効に活用する

第5世代移動通信システム用通信方式 UTW-OFDM を開発

<概要>

京都大学大学院情報学研究科の水谷圭一助教、原田博司教授らの研究グループは、2020年以降に導入が検討されている第5世代移動通信システム（5G）で利用可能な超高密度周波数配置が可能な通信方式 UTW-OFDM 方式の開発に成功しました。このシステムは計算量の少ない時間軸窓処理を用いて帯域外不要輻射を抑圧することにより、現在第4世代移動通信システム LTE 等で採用されている CP-OFDM 方式と比べ、同じチャネル幅で伝送した場合、チャネル外不要電波を約 30 dB (1000 分の 1) 以上削減することが可能です。本方式により移動通信に適した周波数(6GHz 以下)において今まで以上に高密度に周波数を利用可能となり、5G が目指す超多数の端末の同時接続、チャネルあたりの通信速度の向上が期待できます。

<背景>

現在、端末数の激増ならび超高速のデータから超多数の低速伝送のセンサーまで多様化する無線通信のトラフィックを収容するために、第5世代移動通信システム（5G）の研究開発が国際的に進められています。しかし、移動通信に適した周波数は現在逼迫しており、限りある周波数資源を有効利用するためには、現在利用可能な第4世代移動通信システム LTE とも後方互換性があり、さらに周波数の高密度配置が可能な通信方式の開発が急務となっています。

<今回の成果>

今回、無線周波数利用効率を改善するために、利用効率劣化の原因となる“割り当てチャネル帯域外へ漏れ出る不要輻射電力”を簡単な信号処理で抑圧できる新しい通信方式（UTW-OFDM 方式）、およびシステムを提案・開発しました。

従来は、時間軸窓処理と周波数フィルタ処理を用いて、この帯域外不要輻射を抑圧する手法が一般的でしたが、特に周波数フィルタ処理に係る計算量が大きくなる問題がありました。今回開発した UTW-OFDM 方式では、計算量が少

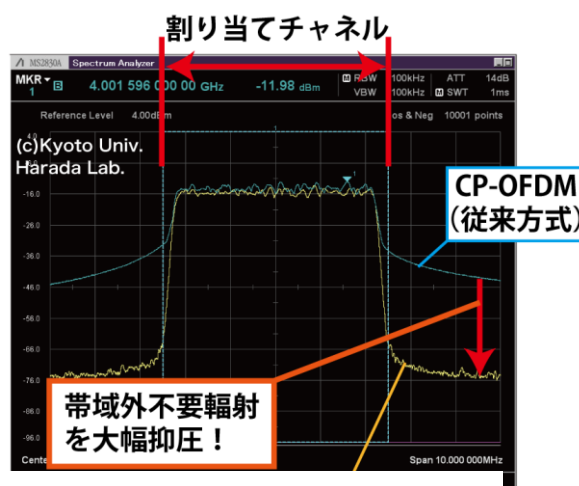


図1：割り当てチャネル帯域外へ漏れ出る不要輻射電力“を簡単な信号処理で抑圧

なく、超低速から超高速まで様々なアプリケーションや環境に柔軟に対応可能な時間軸窓処理のみを用いて帯域外不要輻射を抑圧します。また、現在運用中の携帯電話システム LTE にも簡単に導入可能です。

今回、本方式の実機による送信信号の特性評価、および LTE に導入した場合のビット誤り率の計算機評価を行った結果、LTE 等で用いられる CP-OFDM 方式と比べ、同じチャネル幅で伝送した場合、チャネル外不要電波を約 30 dB (1000 分の 1) 以上削減しつつ、誤り訂正符号と呼ばれる符号化技術と組み合わせることで LTE システムと同等の通信品質を実現することができることを確認しました。

<今後の展望>

本研究グループは、今後、今回開発した UTW-OFDM 方式を用いた無線アクセスシステムについてフィールド実験解析を行い、5G の研究開発に積極的に寄与していく予定です。なお、今回の成果は 3 月 2 日～4 日に開催される電子情報通信学会移動通信ワークショップにて発表されました。

<解説>

・ CP-OFDM 方式

CP-OFDM (Cyclic Prefix 直交周波数分割多重) 方式は、現行の無線 LAN システム (IEEE 802.11a/g/n/ac) や携帯電話システム (LTE) の下り回線などに使用されている無線方式です。互いに直交したサブキャリアに情報ビットの変調信号を割り当てて送信する手法であり、周波数方向に密に信号を配置できるため、帯域内の周波数利用効率が高いという利点があります。また、Cyclic Prefix を挿入することで、無線通信において非常に重要となる伝搬遅延の問題を解決することができます。

このように多くの利点を持つため、現在多くの無線通信システムで採用されている CP-OFDM ですが、5G システムの開発にあたり解決すべき問題があります。その一つに、自分の割り当てられたチャネル帯域外に輻射される電力 (帯域外輻射電力) が大きいという問題があります。

図 2 に示す通り、CP-OFDM 送信信号の各シンボル間に存在する信号の不連続点が、周波数軸上で不要な成分 (高い帯域外輻射電力) が発生します。高い帯域外輻射電力は、周波数資源の高密度で効率的な利用の妨げとなる (図 4 上) ため、抑圧される必要があります。

・提案 UTW-OFDM 方式

今回開発した UTW-OFDM (Universal Time-domain Windowed OFDM) 方式は、CP-OFDM 方式をベースにした通信方式で、問題となる各シンボル間の信号不連続点を、柔軟にパラメタ調整可能な時間軸窓を適用することで平滑化し、周波数軸上の不要成分を抑圧する手法です。図 3 に UTW-OFDM 方式の送信信号生成プロセスを示します。

この時間軸窓を用いた OFDM 信号の帯域外輻射電力抑圧はこれまでも一般的に用いられてきた手法ですが、時間軸窓長をあまり大きくすると、隣接シンボルへの干渉 (シンボル間干渉) 発生や、自身の信号成分が削り取られることによる影響 (キャリア間干渉) により、通信品質が劣化します。そのため適用される時間軸窓長は非常に短いものが一般的であり (例えば無線 LAN などでは時間軸窓長は高々両側 1 サンプル点分)、帯域外輻射電力抑圧効果も限定的でした。

しかしさらなる周波数有効利用が求められる現在、より大きな帯域外輻射電力抑圧効果が必要です。そこで今回提案した UTW-OFDM 方式では、CP 長を超えるような大きな長さの時間軸窓を適用することで、大幅な帯域外輻射電力抑圧効果を得ることができます。これにより図 4 下に例を示すように、システム全体の周波数利用効率の改善が期待できます。

ここで上述の通り、トレードオフとしてシンボル間干渉やキャリア間干渉が発生し、そのままでは通信品質が劣化しますが、本方式では畳み込みターボ符号などの強力なチャネル符号化技術と併用することで、図 5 に示す通り通信品質の劣化無しに大きな帯域外輻射電力抑圧効果を得ることができます。

また本方式では、この時間軸窓の形 (変化の仕方)、時間軸窓長などのパラメタを柔軟に可変可能であり、超高速なシステムや比較的低速なシステム、周波数帯の利用状況などに合わせて柔軟に対応することができます。したがって、目的や環境によって様々な異種無線システムや異なる周波数を統合的に利用する可能性が高い 5G システムに柔軟に対応することができます。

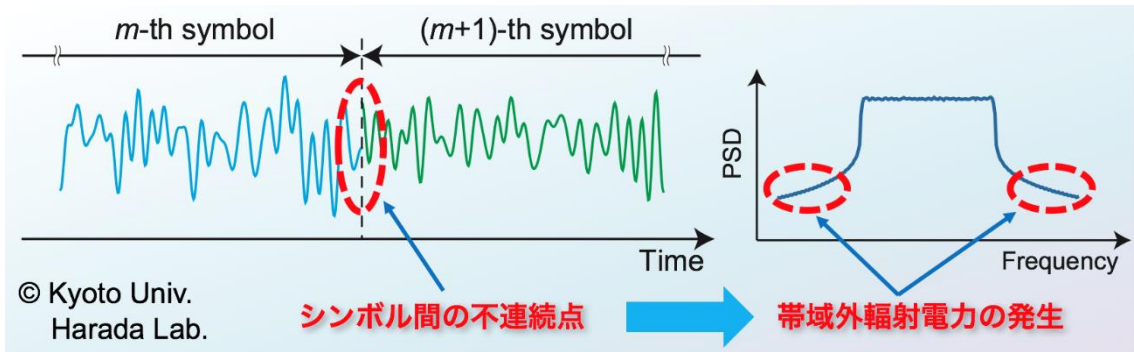


図 2 : CP-OFDM 送信信号の各シンボル間に存在する信号の不連続点が、周波数軸上で不要な成分（高い帯域外輻射電力）が発生

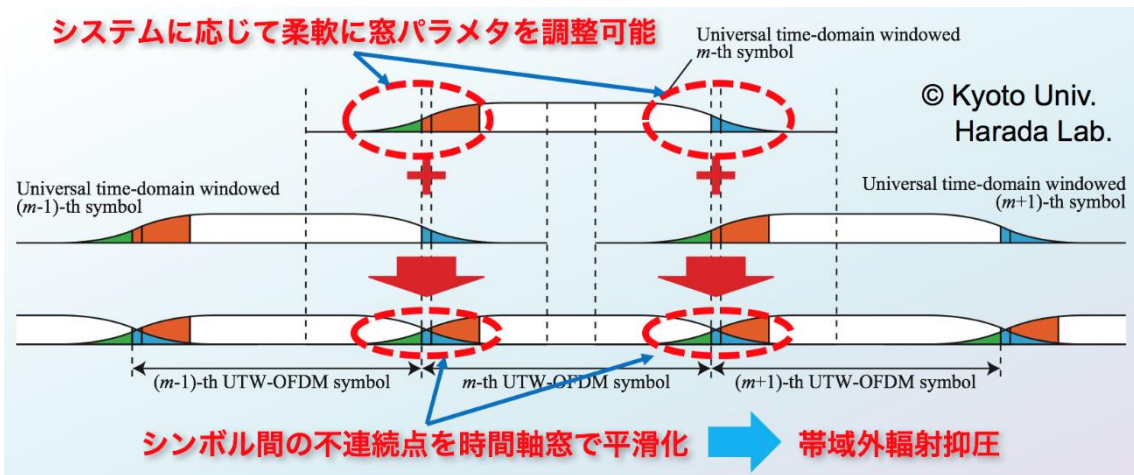


図 3 : UTW-OFDM 方式の送信信号生成プロセス

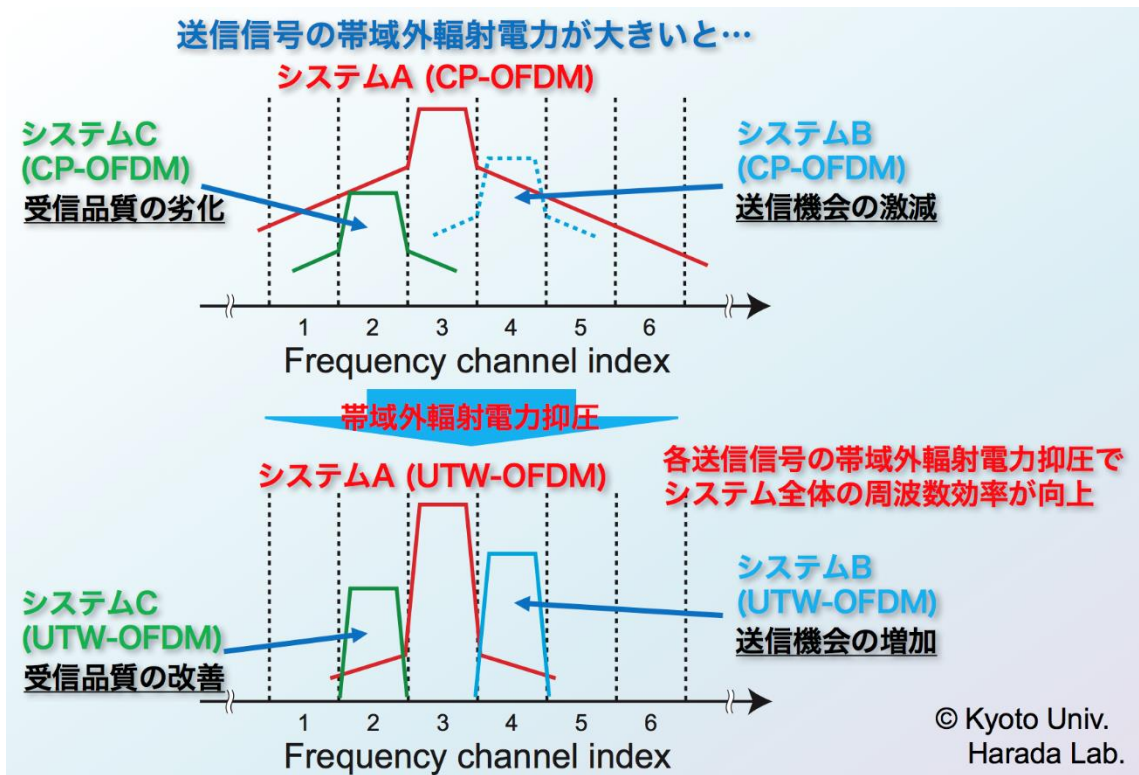


図 4 : CP 長を超えるような大きな長さの時間軸窓を適用することで、大幅な帯域外輻射電力抑圧効果を得ることが可能

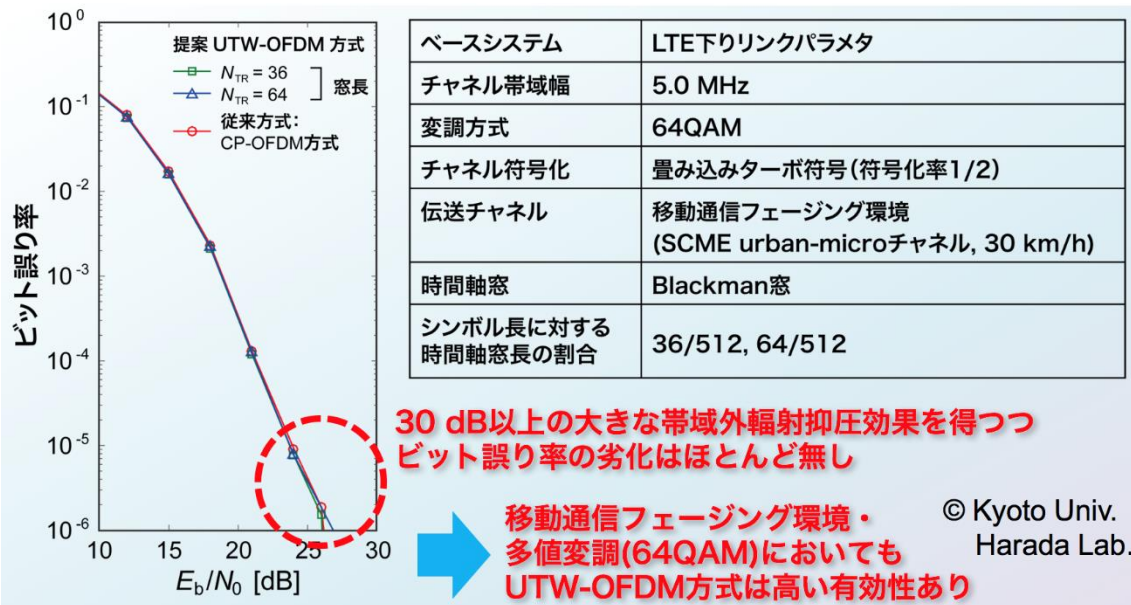


図 5 : 通信品質の劣化無しに大きな帯域外輻射電力抑圧効果を得ることが可能