

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18064

研究課題名(和文) ホワイトスペース帯無線LANシステムを高能率に実現する信号処理技術に関する研究

研究課題名(英文) A signal processing technology for TVWS-based wireless communication systems

研究代表者

水谷 圭一 (Mizutani, Keiichi)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：40638847

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)：ホワイトスペース帯無線通信システムに代表される、厳しい帯域外輻射抑圧が求められる無線通信システムを簡易に実現するための信号処理技術を提案し、その有効性を評価した。提案手法は、現在無線LANやLTE、LTE-Advancedなどで広く用いられている直交周波数分割多重(OFDM)方式など、離散フーリエ変換型マルチキャリア方式に適用可能であり、長大な時間軸窓の適用と強力な符号化方式を組み合わせることで、少ない計算量で帯域外輻射を効率的に抑圧することができる。

研究成果の概要(英文)：We proposed a signal processing technique to easily realize a wireless communication system which is required to suppress out-of-band emission strictly such as television white space radio communication systems and evaluated its effectiveness and feasibility. The proposed scheme is applicable to the discrete Fourier transform (DFT)-based multicarrier systems such as the orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)-based systems which are currently widely used in wireless LAN, LTE, LTE-Advanced, etc. In the proposed scheme, a very long windowing transmission duration is applied to the wave-shaping with powerful error correction coding scheme such as turbo coding to suppress the out-of-band emission effectively with low-complexity.

研究分野：無線通信工学

キーワード：OFDM 帯域外輻射抑圧

1. 研究開始当初の背景

近年の携帯電話や無線 LAN の普及は目覚ましく、一人が複数台のデバイスを所有する時代となっている。また、ホームエネルギー管理システム (HEMS) に代表されるスマートユーティリティネットワーク (SUN) 等、物と物との通信にも無線通信が活用され始め、今後の社会発展に供する無線通信の役割は増大の一途を辿っている。しかしこれは無線デバイスの数が今後爆発的に増加し、益々無線周波数資源が枯渇する問題に直面する事を示唆している[1]。従って、新たな無線周波数資源を開拓する事が急務である。この様な背景のもと、未使用周波数資源を有効に活用するホワイトスペース (WS) 技術[2]が世界的に注目を集めている。

一般的に無線周波数は特定の目的を持ったシステム (一次利用者) にそれぞれ割り当てられている。しかし割り当てられているものの、時間的もしくは地形的に実際には利用されていない周波数資源が存在する。この未使用周波数資源を WS と呼ぶ。特に一次利用者がテレビ放送事業者の場合は TVWS と呼ぶ。この WS を検出し、その他の目的を持った無線通信システム (二次利用者) が二次利用する技術を WS 技術と呼ぶ。本技術は上記周波数枯渇問題に対する極めて重要な解決策の一つであり、米国、英国、日本など、各国の規制当局において、その技術基準や法整備の検討、もしくは利用モデルの検討等が行われている[2-4]。

これらの状況を鑑みて IEEE 802 標準化委員会は、TVWS 帯における無線 LAN (TVWS-WLAN) の物理層および MAC 層に関する国際標準規格を IEEE 802.11af として策定、発効した[2]。これらの規格に基づいたプロトタイプハードウェア[5]もいくつか発表されており、実現に向けたフェーズに移行しつつあると言える。しかし国際標準規格で定められている事項は物理層および MAC 層におけるプロトコルや信号フォーマットが主であり、その実装・実現方法は実装者の裁量に任されている部分が多く、実用化に向けてはまだ技術的課題が多く残されているため、標準化が完了して半年以上が経つが未だに製品化が成されていない。

参考文献

- [1] 電波政策懇談会, “電波新産業創出戦略-電波政策懇談会報告書-,” 総務省, Jul. 2009.
 [2] H. Harada, “White Space Communications Systems: An Overview of Regulations, Standardization and Trial,” IEICE Trans. Commun., E97-B, No.02, pp.261-274, Feb.2014.
 [3] FCC, “Unlicensed operation in the TV broadcast bands,” FCC.12-36, Apr. 2012.
 [4] ETSI, “ETSI EN 301 598 V1.0.9,” Feb. 2014.
 [5] 日経 NETWORK, “TV の空き周波数使う新型無線 LAN 802.11af の実証実験に NICT が成功,” 2012 年 12 月号.

2. 研究の目的

実用化を考える際に重要となる点の一つは、高能率な送信信号生成技術および受信信号処理技術の確立である。2.4GHz 帯無線通信システム等に代表される ISM 帯の無線通信システムと違い、TVWS-WLAN システムにおいては、一次利用者の運用を保護するために、非常に厳しい送信スペクトラムマスクが要求される[3,4]。そこで本研究では、TVWS-WLAN を高能率に実現するための信号処理技術を確立する事を目的とする。

3. 研究の方法

① システムモデル・信号処理技術の提案

まず TVWS-WLAN システムの数学モデルを検討し、さらにそのモデルを具体的に実現するための信号処理技術の検討を行い、数値計算によってその有効性を評価する。

② 実信号による性能評価と実験実証

提案法を実システムに適用し、シグナルジェネレータやシグナルアナライザ、ソフトウェア無線開発プラットフォーム等をベースとして構築する評価システムを用いて、帯域制限性能評価、回路規模評価、および伝送実験による通信品質評価を行う。これにより、TVWS-WLAN システムを高能率に実現するための信号処理技術を確立する。

4. 研究成果

① ユニバーサル時間軸窓型直交周波数分割多重 (UTW-OFDM) 方式の提案

上記目的を実現するための信号処理方式として、ユニバーサル時間軸窓型直交周波数分割多重 (Universal Time-domain Windowed Orthogonal Frequency Division Multiplexing, UTW-OFDM) 方式を提案する。TVWS 帯システムにおける一番の課題は、一次利用者の運用を保護するために、非常に厳しい送信スペクトラムマスクが要求されることであり、いかに効率良く大幅に帯域外輻射 (Out-of-band Emission, OOB) を抑圧することができるかが鍵となる。IEEE 802.11af の物理層では Cyclic-prefix に基づく OFDM (CP-OFDM) 方式が採用されており、帯域内の周波数利用効率の向上に寄与しているものの、シンボル間の不連続性によって大きな OOB が発生する。このため、CP-OFDM 方式単独では TVWS システムに課せられる厳しいスペクトルマスクを満たすことができない。そこで LPF (Low-pass filter) を適用することでスペクトルマスクを満たす方が提案されているが、約 500 kHz 程度のガードバンドで OOB を 55.4 dB 以上抑圧する必要があるため、非常に大きなフィルタタップ数が要求される[6]。このフィルタタップ数は時間軸上でフィルタ係数を畳み込むための乗算器数であり、大きなフィルタタップ数は実装面積の増大や回路消費電力の増大に繋がるため、現実的ではない。そこで本研究では、乗算器

1 つで OOB 抑圧を実現する時間軸窓処理に着目し、通信環境や条件によって柔軟に窓関数やその窓遷移長が可変で、特に CP 長よりも長い窓遷移長を積極的に利用する UTW-OFDM 方式を提案する。伝搬遅延長に応じてシンボルオーバーラップの有無を選択し、伝搬遅延が短い時は図 1(b)に示すようにシンボルオーバーラップを行わない。また長遅延環境の場合には図 1(c)に示すように隣接シンボルをオーバーラップさせる。本報告書ではシンボルオーバーラップ有の場合における解析結果を示す。

まず、第 m サブキャリア複素変調信号ベクトル $\mathbf{x}_m \in \mathcal{C}^N$ に N_G サンプルのガードインターバル (Guard interval; GI) および、シンボル前に N_M サンプルの、シンボル後に $N_M + 1$ サンプルのオーバーラップマージン (Overlap margin; OM) の生成を考慮した拡大逆離散フーリエ変換行列 $\mathbf{F}_{GM}^{-1} \in \mathcal{C}^{N_{GM} \times N}$ を乗じることで GI および前後 OM を挿入した OFDM 信号を生成し、ユニバーサル時間軸窓関数行列 $\mathbf{W}^U = \text{diag}(\mathbf{w}^U) \in \mathcal{C}^{N_{GM} \times N_{GM}}$ を乗算することで、第 m 番目 UTW-OFDM シンボル $\mathbf{s}_m^U \in \mathcal{C}^{N_{GM}}$ を生成する。ここで $\text{diag}(\cdot)$ は対角行列化演算子、 $\mathbf{w}^U \in \mathcal{C}^{N_{GM}}$ はユニバーサル時間軸窓ベクトルである。

$$\mathbf{s}_m^U = \mathbf{W}^U \mathbf{F}_{GM}^{-1} \mathbf{x}_m, \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_m = [x_{(m,0)}, x_{(m,1)}, \dots, x_{(m,N-1)}]^T, \quad (2)$$

$$(\mathbf{F}_{GM}^{-1})_{(p,q)} = \exp[j2\pi q(p - N_G - N_M)/N], \quad (3)$$

$$\mathbf{w}^U = \begin{bmatrix} \mathbf{0}^{(N_M - N_{TR}/2) \times 1} \\ \mathbf{w}_{TR} \\ \mathbf{1}^{(N + N_G - N_{TR} + 1) \times 1} \\ \mathbf{w}_{TR}^I \\ \mathbf{0}^{(N_M - N_{TR}/2) \times 1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

ここで $N_{GM} = N + N_G + 2N_M + 1$, $0 \leq p < N_{GM}$ である。ただし、 $\mathbf{0}^{P \times Q}$ および $\mathbf{1}^{P \times Q}$ はそれぞれ P 行 Q 列の零行列と、要素がすべて 1 の行列である。また、 $\mathbf{w}_{TR} \in \mathcal{C}^{N_{TR}}$, $\mathbf{w}_{TR}^I \in \mathcal{C}^{N_{TR}}$, N_{TR} はそれぞれユニバーサル時間軸窓遷移ベクトル、逆遷移ベクトル、および窓遷移長であり、下記の通り定義する。

$$\mathbf{w}_{TR} = [w_0, w_1, \dots, w_{N_{TR}-2}, w_{N_{TR}-1}]^T, \quad (5)$$

$$\mathbf{w}_{TR}^I = [w_{N_{TR}-1}, w_{N_{TR}-2}, \dots, w_1, w_0]^T. \quad (6)$$

最後に、隣接する UTW-OFDM シンボル前後の OM 区間が重なるように結合し、UTW-OFDM 送信信号を生成する。

② TVWS-WLAN システムにおける UTW-OFDM の適用評価

(1) 窓関数の検討

本研究では、UTW-OFDM 方式に適用する時間軸窓関数として、式(7)に示す Raised-

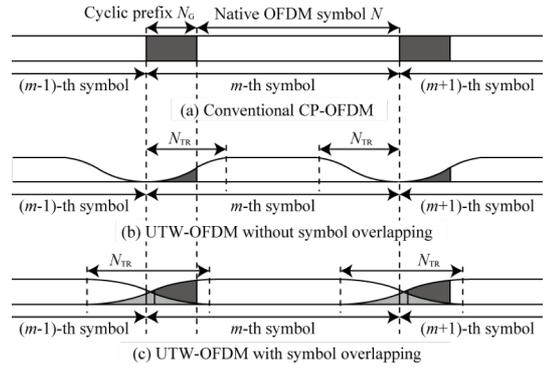


図 1 CP-OFDM 方式と UTW-OFDM 方式

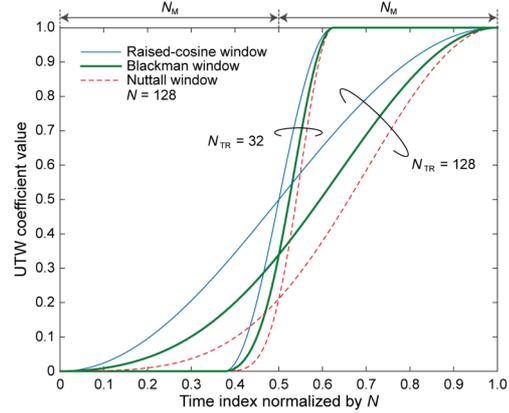


図 2 本稿で適用を検討する各種時間軸窓関数

cosine 窓、式(8)に示す Nuttall 窓、および式(9)に示す Blackman 窓について検討する。各時間軸窓の形状を図 2 に示す。

$$w_n = 0.5 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi n}{N_{TR}}\right), \quad (7)$$

$$w_n = 0.355768 - 0.487396 \cos\left(\frac{\pi n}{N_{TR}}\right) + 0.144232 \cos\left(\frac{2\pi n}{N_{TR}}\right) - 0.012604 \cos\left(\frac{3\pi n}{N_{TR}}\right), \quad (8)$$

$$w_n = 0.42 - 0.5 \cos\left(\frac{\pi n}{N_{TR}}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{2\pi n}{N_{TR}}\right). \quad (9)$$

(2) 帯域外輻射電力抑圧性能評価

式(7)-(9)に示す各時間軸窓関数による UTW-OFDM 方式を適用した IEEE 802.11af 送信信号の帯域外輻射電力抑圧性能を評価する。送信信号は表 1 に示す 6 MHz 帯域幅モードの TVHT_MODE_1 パラメタを使用し、変調符号化 (MCS) レベルは 3 (16QAM, $R=1/2$) とした。分解能帯域幅 (Resolution bandwidth; RBW) は 100 kHz とし、4 倍オーバーサンプリングにて評価を行った。全ての窓関数に共通して、窓遷移長を増加させるほどその帯域外輻射抑圧性能は向上する。図 3 に窓遷移長を変化させた時のチャネル帯域端 (Band-edge) における Relative PSD の

Max-hold 値を示す。同じ窓遷移長の場合、Raised-cosine 窓が一番帯域外輻射電力抑圧性能が高く、次いで Blackman 窓, Nuttall 窓の順となり、Raised-cosine 窓の場合と Blackman 窓の場合との差は約 3.5 dB, Raised-cosine 窓の場合と Nuttall 窓の場合との差は約 7.0 dB である。従来 OFDM 方式の Band-edge における Relative PSD が -24 [dBr/100 kHz] であるのに対して、窓遷移長が GI 長に相当する $N_{TR}/N = 32/128 = 0.25$ のとき Raised-cosine 窓適用時で -69 [dBr/100 kHz], Nuttall 窓適用時で -63 [dBr/100 kHz], Blackman 窓適用時で -67 [dBr/100 kHz] となり、それぞれ約 45, 39, 43 dB の改善が確認できる。さらに窓遷移長を延長し、 $N_{TR}/N = 64/128 = 0.5$, $N_{TR}/N = 128/128 = 1.0$ としたとき、Raised-cosine 窓適用時で -80 , -91 [dBr/100 kHz] (従来 OFDM 比 56, 67 dB 改善), Nuttall 窓適用時で -73 , -86 [dBr/100 kHz] (従来 OFDM 比 49, 62 dB 改善), Blackman 窓適用時で -77 , -89 [dBr/100 kHz] (従来 OFDM 比 53, 65 dB 改善) を達成する。しかし窓遷移長が大きい場合、隣接シンボルへ信号成分が漏れこむため、シンボル間干渉 (Inter-symbol interference; ISI) が発生する。また自シンボルの信号成分が窓遷移長に応じて削られるため、フーリエ変換対の直交性が崩れることによってキャリア間干渉 (Inter-carrier interference; ICI) が発生する。この ISI と ICI は受信品質を劣化させる要因となる。

(3) EVM 特性評価

前節で述べた通り、UTW-OFDM では窓遷移長を大きくすることで帯域外輻射電力を大きく抑圧できるが、隣接シンボルに漏れこむ信号電力が大きくなると、ISI および ICI が受信シンボルの品質に与える影響が大きくなると考えられる。本節では受信シンボルの品質評価指標として下記で定義する Error vector magnitude (EVM) 特性を用いる。

$$\gamma = \frac{\sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} [(u_k - \tilde{u}_k)^2 + (q_k - \tilde{q}_k)^2]}}{\max|\nu|}, \quad (8)$$

ここで、 I_k と Q_k は理想変調複素シンボルベクトル $\mathbf{v} \in \mathbb{C}^K$ の第 k 番目要素における同相成分および直交成分であり、 \tilde{I}_k と \tilde{Q}_k は受信変調複素シンボルベクトル $\tilde{\mathbf{v}} \in \mathbb{C}^K$ の第 k 番目要素における同相成分および直交成分である。図 4 に UTW-OFDM の EVM 特性を示す。評価にあたっては表 1 と同じ諸元を用い、送受信間は雑音付加やフェージング重畳を行わない理想チャネルとした。 $N_{TR}/N = 32/128 = 0.25$ のときは窓遷移長が GI 長以内であるため全ての変調方式において $\gamma = 0$ % である。窓遷移長を GI 長以上に延長すると、ISI および ICI によって EVM が徐々に劣化する。 $N_{TR}/N = 64/128 = 0.5$ としたとき、QPSK, 16QAM, 64QAM において、Raised-cosine 窓適用時でそれぞれ 4.3, 3.0, 2.3 [%], Nuttall 窓適用時

表 1 評価信号諸元

Signal format	IEEE 802.11af [7]
Operation mode	TVHT_MODE_1
Channel bandwidth	6.0 MHz
Sampling frequency	5.33 MHz
FFT size N	128
GI rate	1/4 (Long-GI)
No. data subcarriers / symbol	108
No. pilot subcarriers / symbol	6
No. null subcarriers / symbol	3
Occupied band	4.875 MHz
Guard band	0.5625 MHz on both edges
UTW	Raised-cosine window Nuttall window Blackman window
MCS	3 (16QAM, $R=1/2$)
Oversampling factor	4

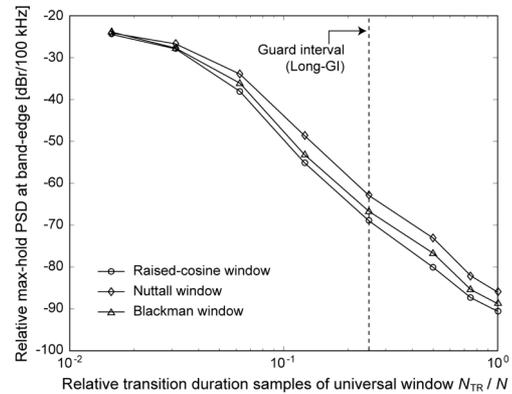


図 3 UTW-OFDM の帯域外輻射電力抑圧性能

でそれぞれ 6.8, 4.8, 3.7 [%], Blackman 窓適用時でそれぞれ 5.1, 3.6, 2.8 [%] である。また、 $N_{TR}/N = 128/128 = 1.0$ としたとき、QPSK, 16QAM, 64QAM において、Raised-cosine 窓適用時でそれぞれ 16, 12, 8.8 [%], Nuttall 窓適用時でそれぞれ 23, 17, 13 [%], Blackman 窓適用時でそれぞれ 18, 14, 10 [%] である。つまり UTW-OFDM 方式では窓長を拡大することにより帯域外輻射電力抑圧性能の改善と引き換えに EVM 特性を劣化させる。また、各窓関数による比較を行うと、Raised-cosine 窓, Blackman 窓, Nuttall 窓の順に EVM 特性が良好である。これは ISI に隣接シンボルからの信号漏れこみによって発生する ICI の影響よりも、自身の信号成分が削られることにより発生する ICI の影響の方が支配的であることを示唆している。UTW-OFDM 方式のシステムとしての実用性を定量的に評価するためには BER の評価が必要である。

(4) BER 特性評価

UTW-OFDM 方式のシステムとしての実用性を定量的に評価するために、窓長を変化さ

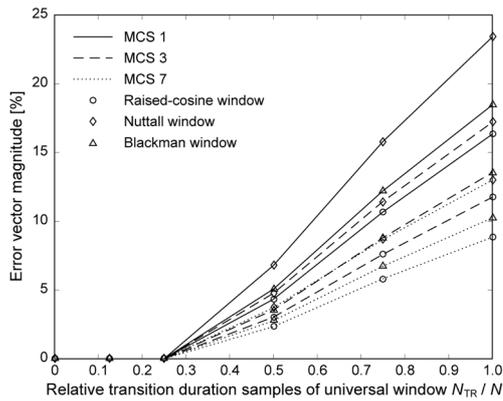


図4 各種時間軸窓関数による UTW-OFDM 方式に基づく IEEE 802.11af システムの EVM 特性

せた場合の BER を計算機シミュレーションによって評価する. 表 2 に BER 評価シミュレータ諸元を示す. 図 5 に窓遷移長 N_{TR} を変化した場合の AWGN 環境における $BER=10^{-6}$ を達成する E_b/N_0 と Band-edge における Relative PSD の Max-hold 値との関係を示す. いずれの変調符号化レベルであっても, 帯域外輻射電力を $-50\sim 70$ [dBr/100 kHz]程度まで抑圧する (従来 OFDM 比約 $30\sim 50$ dB 改善) ような窓遷移長を適用しても, $BER=10^{-6}$ を達成する E_b/N_0 をほとんど劣化させることはないことがわかる. 特に米国

表 2 BER 評価シミュレータ諸元

Base system	IEEE 802.11af
	TVHT_MODE_1 (see Table 1)
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Channel coding	Convolutional coding (CC)
Transport bit size	250 Octets
Coding rate R	MCS 1: 1/2 MCS 3: 1/2 MCS 7: 5/6
Decoding algorithm	Viterbi algorithm
UTW	Raised-cosine window Nuttall window Blackman window
Channel	AWGN

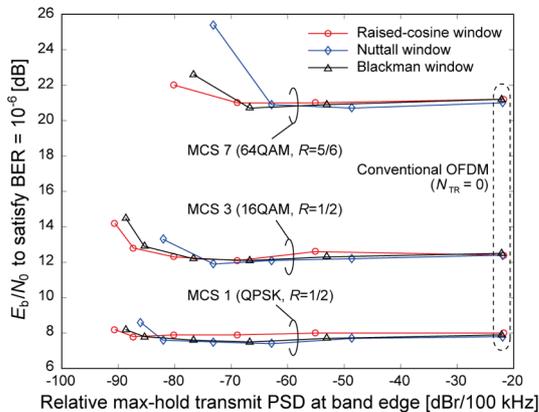


図5 N_{TR} を変化した場合の AWGN 環境における $BER=10^{-6}$ を達成する E_b/N_0 と Band-edge における Relative PSD の Max-hold 値との関係

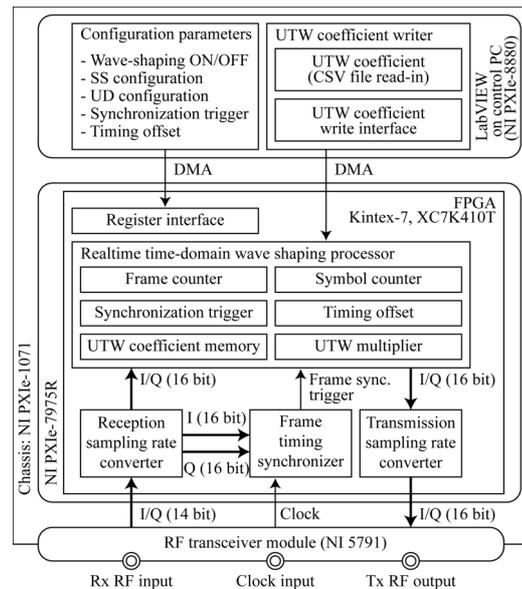


図6 開発 UTW-OFDM 変換信号処理装置

FCC のスペクトラムマスクで要求される -55.4 [dBr/100 kHz] 付近においては, Blackman 窓および Nuttall 窓が有用であることがわかるが, より大きな帯域外輻射抑圧レベルを要求された場合においても BER の劣化が穏やかな窓は Blackman 窓であることがわかる.

③ UTW-OFDM 方式の実システムによる評価

前節で提案した TVWS システムを実現するための信号処理技術である UTW-OFDM 方式についてソフトウェア無線機 (SDR) を用いた実システムによってその実現性について検討を行った. 図 6 に SDR 上で開発した UTW-OFDM 変換信号処理装置を示す. 本開発装置は市販の CP-OFDM システムの外部に接続して利用し, CP-OFDM システムの既存 RF 信号を取り込み, 一度 BB 信号にダウンコンバートしてから UTW-OFDM 化処理を行い, 再度元の RF にアップコンバートする. その際の処理遅延は約 $1\mu\text{s}$ でありほぼリアルタイムでの動作を実現している. どのような CP-OFDM システムにも適用可能であることを示すために, より厳しい処理遅延が必要とされる LTE 信号 (シンボル時間が 11af の約 $1/5$ 程度) に対して本開発装置を適用し, 遅延 $1\mu\text{s}$ 程度のリアルタイムで信号を UTW-OFDM 化し, OOB 電力をスループットの劣化なしに約 20dB 程度抑圧できることを示した.

参考文献

[6] S.Y.Chang, "Spectra and bandwidth overhead with and without filtering for TG4m OFDM," Doc.:IEEE802.15-12-0077-00-004m, Jul. 2012.

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 17 件)

- ① 水谷 圭二, 原田 博司, ユニバーサル時間軸窓型直交周波数分割多重方式, 電子情報通信学会短距離無線通信研究会,

- SRW2015-58、東京、2015年12月21日
- ② 水谷 圭一、原田 博司、UTW-OFDM方式ホワイトスペース帯無線LANシステム、電子情報通信学会スマート無線研究会、SR2015-112、東京、2016年3月4日
- ③ 水谷 圭一、原田 博司、UTW-OFDM方式LTE信号の特性評価、電子情報通信学会無線通信システム研究会、RCS2015-387、東京、2016年3月4日
- ④ 水谷 圭一、原田 博司、UTW-OFDM方式における窓関数に関する検討、電子情報通信学会2016年総合大会、B-17-22、福岡、2016年3月16日
- ⑤ Keiichi Mizutani, Hiroshi Harada, Universal Time-domain Windowed OFDM, IEEE VTC2016 Fall, Montreal, Canada, 2016年9月21日
- ⑥ 水谷 圭一、松村 武、原田 博司、[依頼講演]第5世代移動通信システムのための波形整形 OFDM方式、電子情報通信学会無線通信システム研究会、RCS2016-166、神奈川、2016年10月20日
- ⑦ 児玉 洋介、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、ユニバーサル時間軸窓シングルキャリア周波数領域等化方式、電子情報通信学会無線通信システム研究会、RCS2016-229、金沢、2016年12月22日
- ⑧ 泉 直樹、児玉 洋介、栗木 寛斗、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、マルチパス低遅延環境における UTW-SC-FDE方式の高効率化、電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会、B4-3、京都、2017年2月22日
- ⑨ 吉戸 章人、児玉 洋介、栗木 寛斗、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、マルチパス低遅延環境における UTW-OFDM方式の窓関数、電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会、B4-4、京都、2017年2月22日
- ⑩ 水谷 侑二、児玉 洋介、栗木 寛斗、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、長遅延伝搬環境に対応した改良型 UF-DFT 拡散 OFDM方式、電子情報通信学会関西支部学生会研究発表講演会、B1-4、京都、2017年2月22日
- ⑪ 吉戸 章人、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、マルチパス低遅延環境における高効率 UTW-OFDM方式、電子情報通信学会2017年総合大会、B-5-31、愛知、2017年3月22日
- ⑫ 水谷 圭一、吉戸 章人、栗木 寛斗、松村 武、原田 博司、5Gに向けた UTW-OFDM方式のLTEダウンリンクシステム実機評価系における実験的検討、電子情報通信学会スマート無線研究会、SR2017-22、東京、2017年5月26日
- ⑬ 吉戸 章人、児玉 洋介、栗木 寛斗、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、マルチパス低遅延環境運用を志向した UTW-OFDM方式、電子情報通信学会短距離無線通信研

究会、SRW2017-2、東京、2017年6月12日

- ⑭ 泉 直樹、児玉 洋介、栗木 寛斗、水谷 圭一、松村 武、原田 博司、マルチパス低遅延環境運用を志向した UTW-DFTs-OFDM方式、電子情報通信学会無線通信システム研究会、RCS2017-100、北海道、2017年7月19日
- ⑮ 水谷 圭一、松村 武、原田 博司、[招待講演]第5世代移動通信システムのための UTW-OFDM方式、電子情報通信学会短距離無線通信研究会、SRW2017-16、京都、2017年8月21日
- ⑯ Keiichi Mizutani, Akihito Yoshito, Takeshi Matsumura, Hiroshi Harada, Experimental Evaluation of Universal Time-domain Windowed OFDM-based LTE Downlink System by Real-time Wave-shaping, IEEE pimrc 2017, Montreal, Canada, 2017年10月12日
- ⑰ Akihito Yoshito, Yosuke Kodama, Hiroto Kuriki, Keiichi Mizutani, Takeshi Matsumura, Hiroshi Harada, A UTW-OFDM Without Symbol Overlapping Process for Small Cell Networks, WPMC 2017, Yogyakarta, Indonesia, 2017年12月18日

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：送信装置、送信方法および受信装置
 発明者：水谷 圭一、原田 博司
 権利者：国立大学法人京都大学
 種類：特許
 番号：特願 2016-002695
 出願年月日：2016年1月8日
 国内外の別：国内

[その他]

- ① 学会発表 1 において、電子情報通信学会短距離無線通信研究会研究奨励賞を受賞した。
- ② 学会発表 12 において、電子情報通信学会スマート無線研究会技術特別賞を受賞した。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水谷 圭一 (MIZUTANI, Keiichi)
 京都大学・大学院情報学研究科・助教
 研究者番号：40638847