

(301) 通信工学

# マルチバンド IoT システムにおける帯域幅制御帯域数に応じた 干渉電力低減効果

## Interference Power Reduction Effect According to the Number of Bandwidth Control Bands in Multi-Band IoT Systems

高松 直登\*      富里 繁      上原 一浩  
Naoto Takamatsu      Shigeru Tomisato      Kazuhiro Uehara  
岡山大学 大学院自然科学研究科

### 1 まえがき

無線通信では、IoT (Internet of Things) の急速な進展により、通信端末数が膨大になることが予想されている。このような IoT システムでは、各使用帯域は狭帯域となるが、多数のシステムが同じ周波数帯を共有することになる。このため、各システムから発生する帯域外輻射の蓄積が他システムへの大きな干渉となる。また、各システムの使用帯域を増大させるため、複数の周波数帯 (マルチバンド) を使用するマルチバンドシステムが検討されている[1]-[3]。このシステムでマルチバンドを同時に使用する場合には、送信機の非線形性により、さらに帯域外輻射が発生し、システム間干渉が増大する[4]。

このようなマルチバンドシステムで、使用する各バンドの帯域幅を狭くすることにより帯域外輻射を低減する帯域幅制御手法が検討されている[5][6]。これらの従来研究では、広帯域な複数のバンドを使用するシステムを想定して検討されてきた。本研究では、狭帯域で多数の周波数帯域を使用する IoT システムで、帯域幅制御を適用する帯域と帯域数を適応的に選択することで、他システムへの干渉を低減する手法を検討し、干渉電力低減効果を評価する。

### 2 システムモデル

図1に本研究のシステムモデルを示す。ここでは複数の IoT システムが同じ周波数帯を共用している。各システムは、周波数帯の利用状況に応じて複数の帯域を同時に使用している。これにより、各使用帯域が狭帯域でも使用可能な帯域幅を増大できるが、同時に使用する帯域の組み合わせにより相互変調歪による帯域外輻射が発生し、同じ周波数帯を利用するシステムへの干渉となる。

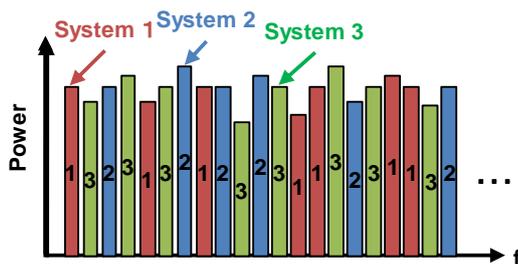


図1 システムモデル

### 3 帯域幅制御手法

#### 3.1 帯域幅制御

本研究ではマルチバンドを使用する IoT システムの帯域外輻射を低減するため、各使用帯域を狭帯域化する帯域幅制御を行う。図2に帯域幅制御における帯域使用方法を示す。この手法では、使用可能な帯域の一部のサブキャリアの送信電力を0として使用帯域を狭帯域化し、未使用帯域を生成する。この生成した未使用帯域に帯域外輻射を低減するための帯域外輻射電力低減用信号を生成する。

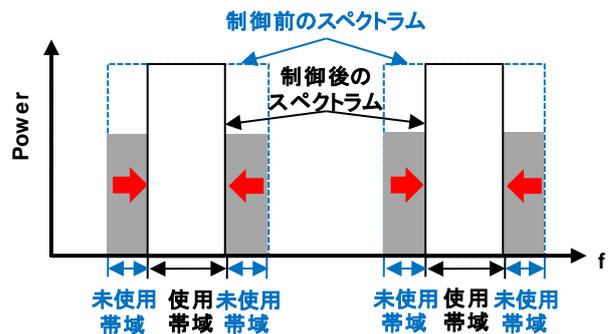


図2 帯域幅制御手法

帯域外輻射電力低減用信号をクリップとフィルタリング手法[7]を用いて生成する。図3にクリップ処理における信号波形の様子を示す。クリップ処理では、帯域幅制御により狭帯域化した OFDM 信号から、クリップレベルを超えるピーク成分を検出する。次に、検出したピーク成分に対して FFT を行うことで、信号帯域内および帯域外に生じるクリップ雑音のスペクトラムが得られる。

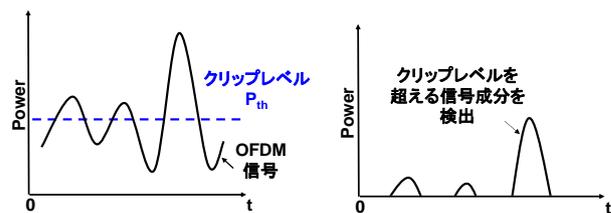


図3 クリップ処理

次にクリップ雑音のスペクトラムをフィルタリングすることで帯域外輻射電力低減用信号を生成する。このフィルタリング処理の様子を図4に示す。クリップ処理により発生するピーク成分によるクリップ雑音のスペクトラムにおいて、帯域外の成分と帯域幅制御により狭帯域化した使用帯域中の成分を0にする。このフィルタリング処理により、帯域幅制御により生成された未使用帯域に帯域外輻射電力低減用信号が生成される。

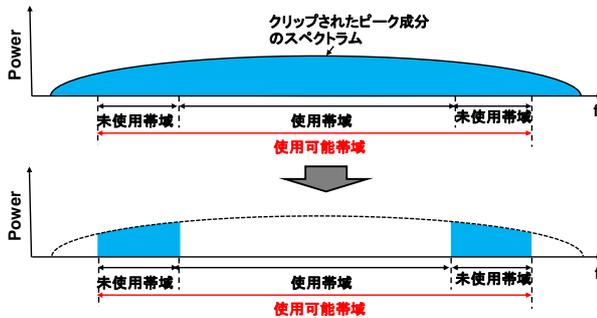


図4 フィルタリング処理

フィルタリングされたクリップ雑音成分のスペクトラムをIFFTした後に元の信号から減算する。これにより、元のOFDM信号と比較してピーク電力を低減できるため、帯域外輻射成分を低減できる。

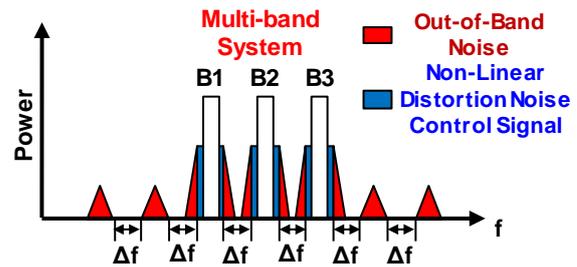
以上述べたクリップとフィルタリング処理により帯域外輻射を低減できるため、周波数を共用する他システムへの干渉を抑えることができる。ただし、フィルタリング処理によりピーク電力低減効果が低下するため、クリップ処理後と比較してピーク電力は大きくなる。このため、このクリップとフィルタリング処理を繰り返すことによりピーク電力低減効果を大きくし、帯域外輻射低減効果を増大させている。

### 3.2 適応帯域幅制御

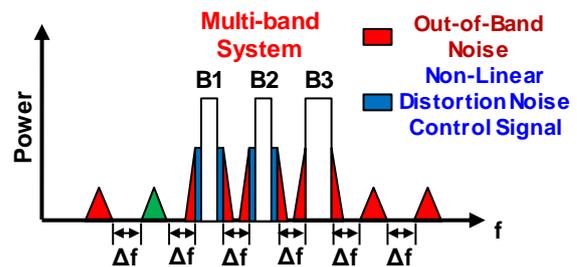
帯域の利用状況に応じて適応的に帯域幅を制御することにより、より一層効果的に帯域外輻射を低減できる[6]。図5に使用帯域数を3とした場合の適応帯域幅制御手法について示す。図に示されている帯域外輻射は、B1~B3で示された各使用帯域の組み合わせにより発生する3次相互変調歪による帯域外輻射を示している。

図5(a)では、全ての使用帯域に対して帯域幅制御を適用している。この場合、各帯域外輻射に対して同等な低減効果がある。次に、図5(b)~(d)では、帯域幅制御帯域数を2とし、その組み合わせを変更している。これにより各帯域外輻射における低減効果に差が生じ、帯域幅制御を適用した帯域の組み合わせによる3次相互変調歪が発生する帯域の帯域外輻射を大きく低減させることができる。図5(b)に示すように、B1とB2を帯域幅制御することにより、B1に隣接している帯域外輻射を大きく低減できる。同様に図5(c)と(d)においてもそれぞれの組み合わせに対応する帯域外輻射を大きく低減できることが分かる。

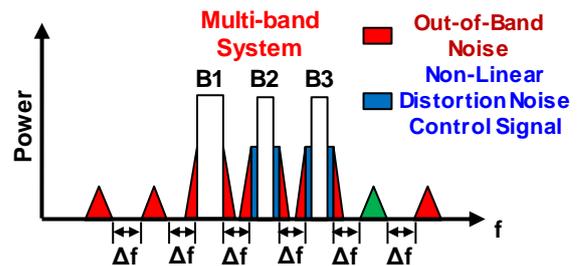
本研究では、使用帯域数を5とした場合のシステムに適応帯域幅制御を適用し、制御する帯域の組み合わせを変えることで、効果的に干渉を低減する手法を検討する。



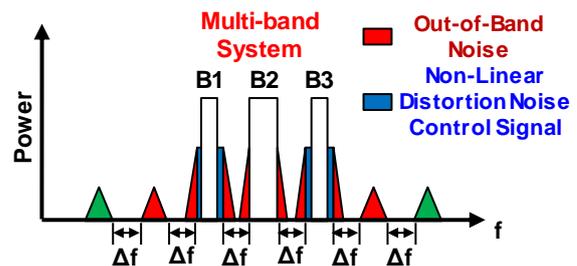
(a) 全ての帯域



(b) B1とB2



(c) B2とB3



(d) B1とB3

図5 適応帯域幅制御手法

## 4 干渉低減効果

### 4.1 シミュレーション条件

帯域幅制御を用いる場合の帯域外輻射電力低減効果を評価するため計算機シミュレーションを行った。表1にシミュレーション条件を示す。伝送方式をOFDM伝送とし、各サブキャリア信号の変調方式を64QAMとした。マルチバンドシステムにおける使用帯域数を5とし、FFTポイント

トを 4096 とした。各帯域のサブキャリア数を 64 とし、各使用帯域間のサブキャリア数も 64 とした。また、各帯域の中心周波数は FFT ポイントの番号で示している。送信機の電力増幅器の入力バックオフを 6dB とし、クリップ処理時のクリップレベルは 3dB とした。また、クリップとフィルタリング処理時の繰り返し回数は 5 とした。

表 1 シミュレーション条件

変調方式	64QAM
使用バンド数: $N_b$	5
FFT ポイント数: $N_c$	4096
サブキャリア数	64
各帯域の中心周波数: $f_c$	1824, 1952, 2208, 2336, 2464
非線形定数: $p$	3
入力バックオフ: $P_b$ (dB)	6
クリップレベル: $P_{th}$ (dB)	3
繰り返し処理回数: $N_i$	5

## 4.2 スペクトラム特性

使用する 5 帯域中の 2 帯域に帯域幅制御を適用した場合のスペクトラム特性を図 6 に示す。各使用帯域を B1~B5 とし、帯域外輻射電力を送信信号電力との比で評価した。ここでは、B1 と B2 の帯域使用率を 25% とし、全体の帯域使用率を 70% とした。図 6 から分かるように、B1 と B2 に帯域幅制御を適用することにより、B1 と B2 に隣接した 3 次相互変調歪が発生する帯域の帯域外輻射電力を効果的に低減でき、B1 に隣接する帯域では帯域外輻射を 12.9dB 低減できる。

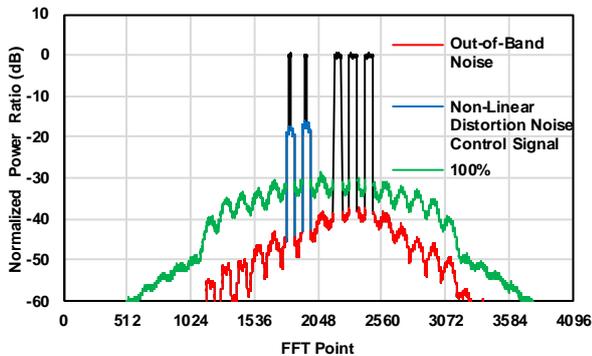


図 6 スペクトラム特性

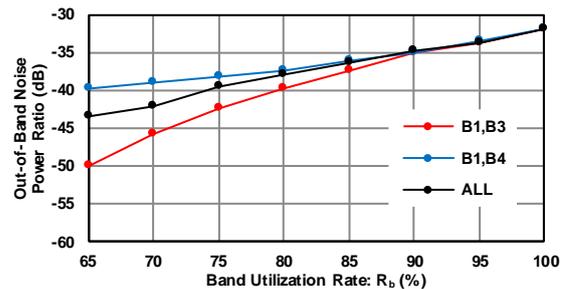
## 4.3 帯域外輻射電力低減効果

図 7 に、帯域幅制御帯域数を 2, 3, 及び 4 とし、帯域幅制御を適用する帯域を変更した場合の帯域外輻射電力低減効果を示す。ここでは、B1 に隣接する 3 次相互変調歪が発生する帯域において、システム全体の帯域使用率  $R_b$  に対する帯域外輻射電力を評価した。

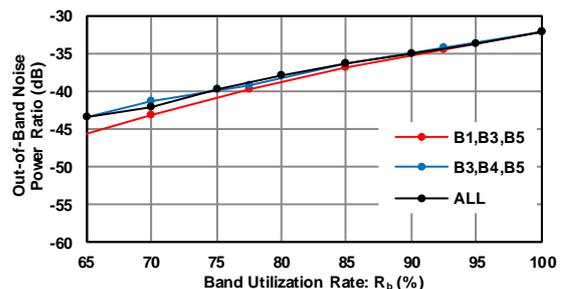
図 7 (a) では、帯域幅制御帯域数を 2 としている。帯域使用率 70% において、B1 と B3 に帯域幅制御を適用したとき、最も低減効果が大きくなり、13.8dB 低減できている。また、B1 と B4 を帯域幅制御したとき低減効果が最も小さくなり、帯域外輻射低減量は 7.0dB となる。また、図 7 (b)

では帯域幅制御帯域数を 3 としているが、このときの帯域外輻射低減効果は、帯域幅制御を適用する帯域の組み合わせにより変化し、最大で 11.1dB、最小で 9.3dB となる。さらに、図 7 (c) では帯域幅制御帯域数を 4 としているが、このときの帯域外輻射低減効果は、最大で 10.3dB、最小で 9.5dB となる。これらの結果から、帯域幅制御帯域数が少ない方が帯域外輻射低減効果の最大値が大きくなること分かる。また、帯域幅制御を適用する帯域の組み合わせにより帯域外輻射低減効果は変化し、2 帯域に適用した場合の低減量の最大値と最小値の差は 6.8dB となり、非常に大きくなる。このことから、帯域幅制御帯域数を少なくすることにより、同じ帯域使用率でも低減効果を増大できるが、その低減効果が局所的になることが分かる。一方、帯域幅制御帯域数を多くした場合、広い周波数範囲で帯域外輻射低減効果が得られるが、各帯域の低減効果は小さくなること分かる。

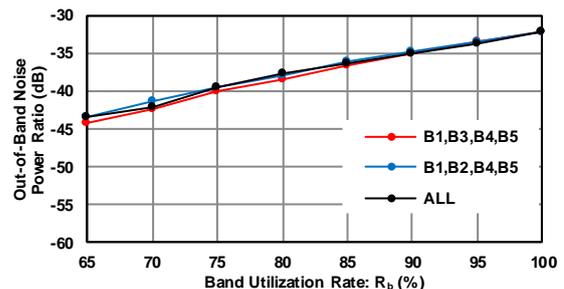
以上のことから、周波数共用時のシステム間干渉を低減するため使用帯域幅を制御する場合、帯域外輻射を低減する必要のある帯域数に応じて、帯域幅制御を適用する帯域数と帯域の組み合わせを適切に選択する必要があることが明らかとなった。



(a) 2 帯域



(b) 3 帯域



(c) 4 帯域

図 7 帯域幅制御帯域数による帯域外輻射電力低減効果

## 5 まとめ

マルチバンドを同時に使用する IoT システムにおいて、帯域幅制御を適用する帯域数と帯域の組み合わせを適応的に選択することで他システムへの干渉を低減する手法を検討し、この手法の干渉電力低減効果を評価した。評価結果から、帯域外輻射を低減する必要のある帯域に応じて、帯域幅制御を行う帯域と帯域数を選択することにより、帯域外輻射低減効果を増大できることを明らかにした。

## 参考文献

- [1] 三木信彦, 岩村幹生, 岸山祥久, ウメシユアニール, 石井啓之, “LTE-Advanced における広帯域化を実現する Carrier Aggregation,” NTTDoCoMo テクニカル・ジャーナル, vol.18, no.2, pp.12-21, July 2006.
- [2] 田谷昭仁, 田野哲, 山本高至, 守倉正博, 梅原大祐, 村田英一, 吉田進, “マルチバンド基地局協調型 MU-MIMO のダイバーシチ効果,” 2012 信学総大, B-5-34, 2012 年 3 月.
- [3] A. Fukuda, T. Furuta, H. Okazaki, S. Narahashi, and T. Nojima, “Low-loss matching network design for band-switchable multi-band power amplifier,” IEICE Trans. Electron., vol.E95-C, no.7, pp.1172-1181, July 2012.
- [4] 正木翔平, 富里繁, 田野哲, 秦正治, 古野辰男, 小田恭弘, “マルチバンド OFDM 伝送における繰り返レックリップとフィルタリング手法の効果,” 2014 信学ソ大, B-5-46, 2014 年 9 月..
- [5] 植田亮太郎, 富里繁, 秦正治, “マルチバンド方式の帯域外輻射電力を低減する使用帯域割当方法の検討,” 平 27 中国連大, no.9-6, Oct. 2015.
- [6] 上田恭平, 富里繁, 上原一浩, 清水聡, 鈴木義規, “周波数共用システムの帯域外雑音低減によるシステム間干渉制御,” 2019 信学総大, B-17-6, 2019 年 3 月.
- [7] X. Li and L. J. Cimini, “Effects of clipping and filtering on the performance of OFDM,” IEEE Commun. Lett., vol.2, no.5, pp.131-133, May 1998.