

スペクトル検出における

誤警報と検出見逃しのチャンネル利用率依存性

7308042 小川 俊喜

1. はじめに

携帯電話などの普及、また近年のタブレット端末といった通信機器の急速な発展に伴い、周波数資源の枯渇が問題となっている。この問題の解決策としてコグニティブ無線が注目されている。コグニティブ無線とは端末や基地局が無線環境を認識し、利用する通信システムや周波数を動的に切り替えることで、周波数の有効利用を可能にする技術である。この技術を実現するための手法の一つとして、ダイナミックスペクトルアクセスが提案されている。このダイナミックスペクトルアクセスとは時間的、空間的に空いている無線通信資源を探索し、通信を行う手法である。これにおいては様々な信号を同時に、かつ正確にスペクトル検出することが必要である。だが、スペクトル検出器がフロントエンドに持つ非線形性により、高調波や利得抑圧、相互変調波が生じ、誤警報(FA:False Alarm)と検出見逃し(MD:Misdetection)が発生し、正確な検出に影響を与える[1]。これに対し、スペクトル検出器の非線形性により発生する FA 率、MD 率を物理モデルを用いた計算機シミュレーションにより評価する手法を提案した[2]。本稿では、この評価法を用いて、チャンネル利用率を変化させた時の FA 率、MD 率を評価する。

2. 複数チャンネルのスペクトル検出の課題

コグニティブ無線実現のために、広帯域を正確にスペクトル検出することが必要となってくるが、入力信号がスペクトル検出器の飽和点を超えると高調波、利得抑圧、相互変調波が発生する。そして高調波、利得抑圧、相互変調波により、信号が存在していない周波数に存在しているとみなしてしまう FA と、信号が存在している周波数に存在していないとみなしてしまう MD が発生する。図1に FA,MD の発生例を示す。

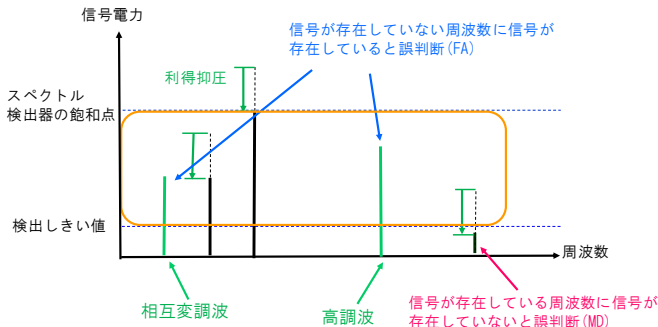


図1:FA, MD 発生例

FA は空き周波数の有効利用を妨げるため、周波数利用効率を下げることに伴い、MD は正規に周波数を利用しているユーザの通信への干渉につながるため、両者が小さくなる条件を検討することが重要である。

3. シミュレーション方法

スペクトル検出機のフロントエンドにおける非線形性を、Rapp モデル[3]を用いて表した。

Rapp モデル式

$$v_{out}(A) = v_{in} \frac{A}{[1 + \{(\frac{v_{in}A}{A_{sat}})^2\}^p]^{\frac{1}{2p}}} \quad (1)$$

A:線形利得 Asat:飽和利得 p:Rapp 係数

線形利得 A は 1 とし、Rapp 係数 p には 3 を用いる。

また、FA 率、MD 率は次のように定義する。

$$FA \text{ 率} = \frac{FA \text{ が発生したチャンネル数}}{\text{実際の空きチャンネル数}} \quad (2)$$

$$MD \text{ 率} = \frac{MD \text{ が発生したチャンネル数}}{\text{実際の使用チャンネル数}}$$

ただし、実際の空きチャンネル数が 0 の場合の FA 率は 0、実際の使用チャンネル数が 0 の場合の MD 率も 0 とする。

熱雑音を考慮し、検出しきい値は熱雑音レベルに 3dB を加えた値とする。3dB は FA 率、MD 率への熱雑音の影響を除去するためである[2]。

また、非線形の評価指標として、スペクトル検出しきい値電力を基準とした Rapp モデルの飽和電力との差 ΔP を用いる。図2に ΔP を図示する。本シミュレーションでは、 ΔP を 10 から 40 まで変化させる。

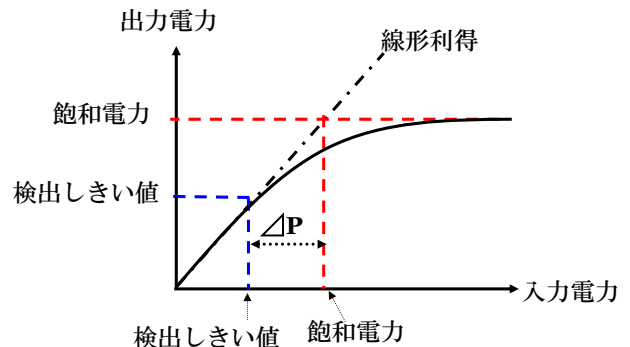


図2:検出器のダイナミックレンジ

図 3 にユーザ分布のモデル図を示す. ユーザは, 空き周波数帯を一時利用しようとするユーザ(SU:セカンダリユーザ)の周りに正規ユーザ(PU:プライマリユーザ)が一様に分布しているものとする. その範囲はSUが1Wの信号を熱雑音レベルで検出できる距離 r の 10 倍の長さの半径を持つ円の中とする. 全体に分布するプライマリユーザの数を増減させることで, 検出範囲内に入るプライマリユーザを変動させ, チャンネル利用率を変化させる.

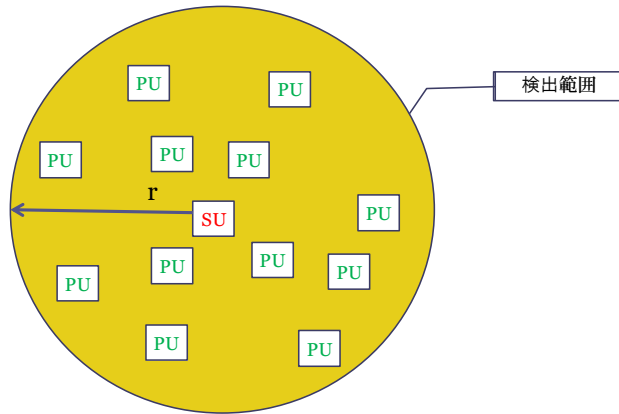


図 3:ユーザ分布図

4. シミュレーション結果

本研究のシミュレーション諸元を表1に示す.

表1:シミュレーション諸元

1チャンネル帯域幅	10MHz
変調方式	QPSK
観測チャンネル数	100ch
送信電力	1W(一定)
サンプリング周波数	2GHz
搬送波	中心周波数はランダム
ラップ係数	$p=3$
シンボル数(打ち切り数)	64(8)
シンボルレート	5.5Msymbol/s
距離減衰	4 乗則
観測時間	10 μ s
検出しきい値	-131dBW
試行回数	1000 回

チャンネル利用率を変化させた時の MD 率と FA 率の変化を, それぞれ図 4, 5 に示す. チャンネル利用率が高いほど MD 率, FA 率ともに高い値となっている. MD 率はチャンネル利用率が 0% 近くでは急激に増加し, 20% 付近を境に飽和していく. 一方, FA 率はチャンネル利用率増加に伴い, ほぼ一様に増加していくことがわかった.

チャンネル利用率が低い時 MD 率, FA 率がともに低くなるのは同時に入力される信号が少なくなるため, 非線形性の影響が小さいからである. 図 4 より, ΔP を大きくするほど MD 率が小さくなっていくことが見て取れ, チャンネル利用率の変化による利得抑圧の影響を受けないためには検出器

のダイナミックレンジは 40dB 以上必要となることがわかる. 図5は, 使用チャンネルが増えるほど高調波, 相互変調波の発生数が増加していくことを示している. これら二つのグラフより, 利得抑圧の影響が支配的な状態から, 高調波, 相互変調波による影響が支配的になる点が存在すると考えられる.

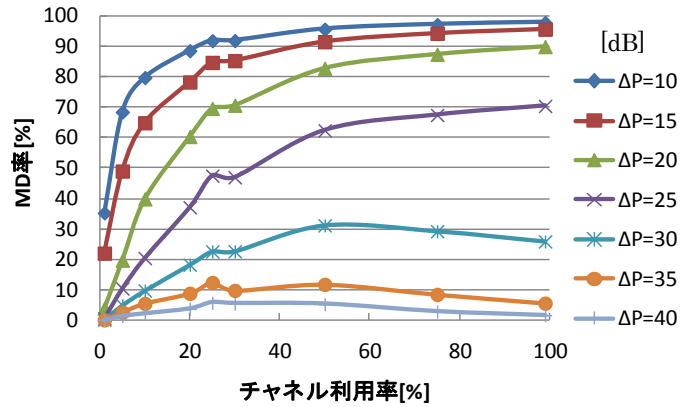


図 4:チャンネル利用率と MD 率の関係

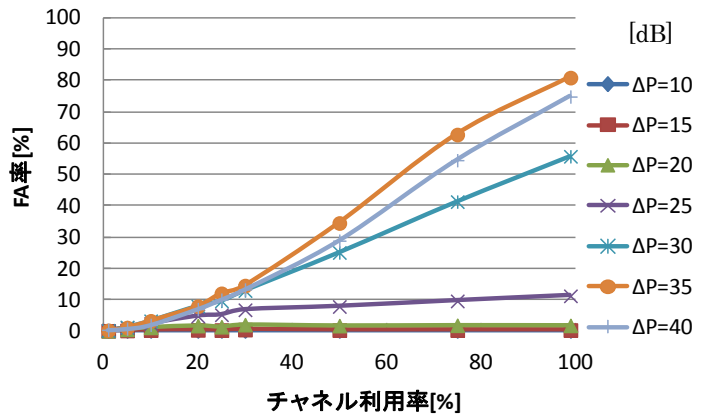


図 5:チャンネル利用率と FA 率の関係

5. 結論

チャンネル利用率を変動させた場合の FA 率, MD 率の変化を計算機シミュレーションにより定量的に評価し, 両者のチャンネル利用率依存性の違いを明らかにした. 今後の課題として, 量子化雑音の付与による影響の検討や, 非線形モデルの変更により検出の高速化などがあげられる.

参考文献:

- [1]野島 俊雄, 山尾 泰, "モバイル回路の無線回路技術", 電子情報通信学会, 2007.
- [2]松木 武他, 信学技報 SR 2009-83, 2010 年 1 月.
- [3]C.Rapp, "Effects of HPA-Nonlinearity on a 4-DPSK/OFDM-SIGNAL for a Digital Sound Broadcasting System". 2nd European Conf. on Satellite Communications, 1991.