

## A Study on Estimation Method of Communication Area using Cooperated Monitoring of Communication Quality in Cognitive Radio

Tatsuya MURAYAMA\*, Hideichi SASAOKA\* and Hisato IWAI\*

(Received April 9, 2015)

In the field of Cognitive Radio, to avoid influence to the communication quality of PU (Primary User) and to realize the communication of SU (Secondary User) simultaneously can be technical subjects. In these issues, the sensing technology where the PU signals are detected has been proposed, however, neither the communication area of PU nor the influence to communication quality of PU from SU cannot be estimated sufficiently. In this paper, the method of how to decide the communication area based on communication quality estimation which is a technique by using pseudo error is proposed and the numerical results based on simulation are discussed as well. According to the results, the effectiveness of the proposal is shown. Moreover, the influence to the communication quality of PU by SU is shown by using the relationship between the power and distance as well.

**Keywords** : cognitive radio, communication area estimation, pseudo bit error

**キーワード** : コグニティブ無線, 通信エリア推定, 擬似ビット誤り

### コグニティブ無線における通信品質の協調モニタリング を用いた通信エリア推定法の一検討

村山 達哉, 笹岡 秀一, 岩井 誠人

#### 1. はじめに

近年, 無線通信端末利用者が莫大に増加している. しかし, 移動通信に使用可能な周波数帯の大半は既に割り当てられており, 将来的に周波数の逼迫が懸念されている. この問題を解決する方法の一つとしてコグニティブ無線が考えられている. コグニティブ

無線とは, 周波数の利用権利を持つ既存無線システムが常に優先的であるという条件の下で, 新規参入システムが一時的に既存無線システムの周波数を2次的に利用して通信を行う無線方式であり, 周波数利用効率を高めるものとして, 近年注目されている. しかし, コグニティブ無線には, 実際に実現

---

\*Department of Electronics, Doshisha University, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321, Japan

Telephone: +81-774-65-6355, FAX: +81-774-65-6255, Email: hsasaoka@mail.doshisha.ac.jp

を可能にするために多くの新しい技術等を必要とする<sup>1,2)</sup>。

コグニティブ無線の実現を可能にするための重要な技術の一つとしてプライマリユーザ (PU: Primary User) からの送信信号をセカンダリユーザ (SU: Secondary User) が検出するスペクトルセンシング技術がある<sup>3)</sup>。スペクトルセンシング技術は、無線機が、スペクトルの時間的空間的利用状況を観測し、利用可能か利用不可能かを判断する技術であり、スペクトル利用の優先権を考慮した動的な周波数の共用を実現するための重要な技術である。そのセンシング方法には大きく分けて電力基準検出、周期定常性を用いたセンシング、マッチドフィルタを用いるセンシングがある。その中でも、最も汎用性が高いものとして電力基準検出が挙げられている。この方式は、マッチドフィルタを用いるセンシングと異なり、必要な送信信号の情報が不要で復調する必要がなく、計算量も少ない<sup>3-7)</sup>。しかし、スペクトルセンシングでは、PU の送信信号が検出されるのみで、SU が送信した場合に PU に与える影響までは評価できない。そのため、PU の通信に障害とならないためには十分にマージンを加えて、SU の利用可能領域を決める必要がある。このため、SU の送信可能領域を過小評価する可能性がある。これに対して、より正確に SU の送信可能領域を決めるには、PU における通信品質が基準を満たす範囲 (以下、PU の通信エリアとする) を知ること、通信エリア内の PU の端末に対して、SU の送信による通信品質の劣化が許容値以内となる SU のエリアを決めることが重要となる。

そこで本稿では、擬似ビット誤り推定手法を用いた通信品質の協調モニタリングによる PU の通信エリア推定を提案する<sup>8)</sup>。擬似ビット誤りによる通信品質推定手法は、既知の情報信号の送信を必要とせず、送信情報が任意の場合にも推定可能な方法である<sup>9)</sup>。また、PU の通信エリアに加え、SU が情報信号を送信する際に、優先権を有する PU が一定の通信品質を損なわない許容範囲をシミュレーションによって評価することによって提案方法の有意性を示す<sup>10)</sup>。

## 2. コグニティブ無線における通信エリア推定法

### 2.1. コグニティブ無線の概要と要素技術

コグニティブ無線とは、周囲の無線環境を認知し、ユーザの要求に応じて適応的に通信方式、変調方式、周波数、データレートなどの通信パラメータを自律的に設定し、無線機を再構成し、通信する無線システムである。コグニティブ無線システムには、周囲の無線環境の観察から無線通信の実行までをコグニティブサイクル (cognitive cycle) という概念で表している。コグニティブサイクルは環境の遷移を緊急性などによって複雑に場合分けして構成されている。このサイクルを簡易化し、大別すると、観察、計画、判断・適応、実行の4つの構成で成っており、この構成のサイクルによって機能の再構成を行い、周囲の無線環境に適応することが可能となる。次にコグニティブサイクルの概念図を示す。

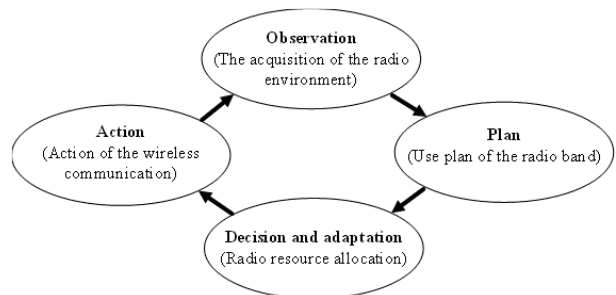


Fig. 1. Concept of cognitive cycle.

このような概念におけるコグニティブ無線には大きく分けて2つのシステム形態に分類される。1つはヘテロジニアス型コグニティブ無線といい、既存の無線システムが周囲の無線環境を認知し、複数の無線通信システムを環境に応じて使い分けることでネットワークを効率的に利用して通信を行うシステムである。もう1つはダイナミックスペクトルアクセス (DSA: Dynamic Spectrum Access) 型コグニティブ無線といい、既存無線システムとして割り当てられている周波数帯域をコグニティブ無線システムが2次的に利用する方法である。DSAでは、既存無線システムの利用状況を考慮に入れて、相互に干渉とならないように通信を行うシステム

である。本研究では、DSA におけるコグニティブ無線を想定して提案する。

このシステムは、ユーザが利用している無線方式や周波数の利用状況を認知し、利用できる他の通信システムに切り替えることで、潜在的に利用されていない周波数資源を見つけることや、周波数の利用効率を高め、通信トラフィックの混雑を軽減することができる方式であり、周波数の資源問題を解決する方法として期待されている。

DSA では、既存無線システムとコグニティブ無線システムが同一の周波数を共用することで周波数利用効率の改善を図っている。このような周波数共用における既存システムをプライマリシステム、コグニティブ無線システムをセカンダリシステムと呼ぶ。周波数共用システムでは周波数の利用権利を持つプライマリシステムが常に優先的であるため、セカンダリシステムは相互干渉を回避し、プライマリシステムの通信品質を保った上で、通信を行う必要がある。このとき、セカンダリシステムからプライマリシステムへの干渉を与干渉、プライマリシステムからセカンダリシステムへの干渉を被干渉と呼ぶ。次に与干渉と被干渉の関係を示す。なお、0 における  $PUT_x$ ,  $PUR_x$  はそれぞれプライマリシステムの送信局、受信局を表す。

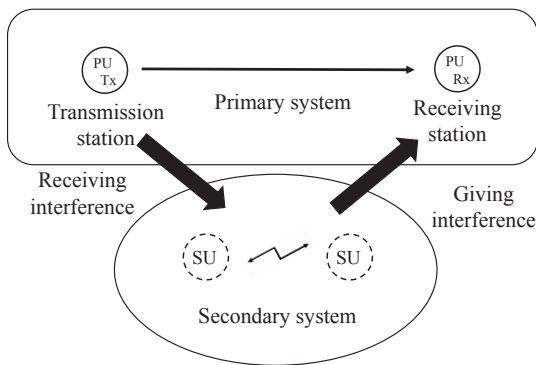


Fig. 2. Mutual interference in the frequency common use system.

DSA では、特にセカンダリシステムが無線環境に関する情報を集めて、プライマリシステムへの与干渉を避けることが重要となる。干渉を回避する方法としては、システム間の空間を活用する方法、異

なる周波数を利用する方法、異なる時間を利用する方法の3つが挙げられる。そこで、これらの利用の可否の検出が重要となる。

プライマリ信号の有無を判断することによってセカンダリシステムの送信の可否の判断が可能となるスペクトルセンシング技術がある。スペクトルセンシング技術では隠れ端末問題が生じないようにするために、プライマリ信号が雑音以下でのレベルであっても検出する必要があり、高性能な検出技術が必要となる。また、単独ノードのセンシングでは、無線通信特有の現象であるフェージングによる局所的な信号の落ち込みや、障害物などの影響により信号が検出できない場合がある。そのため複数端末によるセンシングを行い、情報共有することで信号の検出を可能にする協調センシング技術が必要となる。

スペクトルセンシング技術は、電力基準検出、周期定常性を用いたセンシング、マッチドフィルタを用いたセンシングに大きく分類できる。電力基準検出は検出するのに変調方式やシンボルレートなどの信号情報が不要で、検出における処理が少ないことが利点である。一方、周期定常性を用いたセンシング及びマッチドフィルタを用いたセンシングではプライマリシステムの送信信号の情報が多く必要となる。周期定常性を用いたセンシングはフェージングなどの影響に強く、また変調方式やシンボルレートの異なる信号の識別が可能で電力基準検出に比べて高精度なセンシングが可能となる。マッチドフィルタは最も高い検出精度が期待できる手法であるが、プライマリシステムの送信信号をセカンダリシステムが復調する必要があるため、より多くの送信信号に関する情報が必要となる。周囲の無線環境の変化に柔軟に対応するコグニティブにおいては、送信信号の情報を多く知り、検出を行う方法は現実的に難しい。そのため、より汎用性が高く、最低限の事前情報のみを必要とする電力基準によるスペクトルセンシングが適している。

しかし、電力基準検出では、プライマリシステムの送信信号が検出されるのみで、セカンダリシステムが送信した場合にプライマリシステムに与える

影響までは十分に評価できない。そのため、セカンダリシステムはプライマリシステムの通信が可能となる電力より十分に小さい電力の信号まで検出し、さらには十分に離れた場所を利用可能領域とする必要がある。つまり、十分な信号強度の減衰を確保しており、場合によっては、さらにマージンを加えて利用可能領域を決めている。このため、SUの送信可能領域を過小評価する可能性がある。これに対して、より正確にSUの送信可能領域を決めるには、PUの通信エリアを知ること、通信エリア内のPUの端末に対して、SUの送信による通信品質の劣化が許容値以内となるSUのエリアを決めることが重要となる。そのためには、通信品質の推定法が重要となる。

## 2.2. 通信品質推定法の検討

通信品質を求めるには本来、送信情報が既知である必要がある。しかしコグニティブ無線においては、送信信号は既知でない。そのため、SUが通信品質を推定する方法としては、PUの送信信号が任意であっても求められる方法が現実的である。PUの送信信号が任意であっても通信品質を推定できる方法として、受信電力からSNR (Signal to Noise Ratio) を求めてビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) を推定する方法、EVM (Error Vector Magnitude) を用いた方法が一般的に挙げられる<sup>11, 12)</sup>。しかし、受信電力から推定する方法では、干渉がある場合は干渉も送信電力と見なしてしまうため、SNRは本来よりも高く推定されてしまう。EVMを用いた方法は、測定した信号と理想信号の差を用いて通信品質を推定するものであり干渉を考慮した推定が可能であるが、ビット判定の閾値付近における確率分布が誤り率に密接に関係するため、高精度な評価が得難い。

そこで本研究では、既知信号を必要とせずに通信品質を推定でき、干渉の影響にも対応できる擬似ビット誤りによる通信品質推定法を用いる。

## 2.3. 擬似ビット誤りの原理と特性

擬似ビット誤りによる通信品質推定法とは、受信

側において誤り率特性がある程度劣化する要因を人為的に加え、この増加した誤り率 (擬似ビット誤り) を検出し、事前に求めておいた擬似誤りの発生率 (PBER: Pseudo Bit Error Rate) と実際の誤り率 (以下 Actual BER) との対応関係を用いて BER を推定 (以下 Estimated BER) する方法である。この方法では、既知信号の送信を必要とせず、ビット系列が不明な情報信号により実現可能である。

擬似ビット誤りの発生方法には雑音を付加する方法、検波位相を回転させる方法等、いくつかの方法があるが、本研究では判定軸をオフセットさせる方法を用いて評価する<sup>9)</sup>。

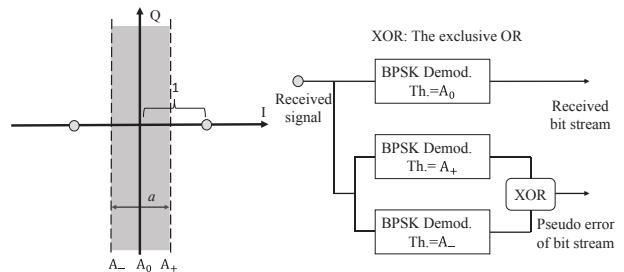


Fig. 3. Concept of pseudo error and example of the receiver constitution.

Fig. 3 は、BPSK 変調での判定軸をオフセットさせる方法における擬似誤り発生方法の概念図とそれを実現する受信機の構成例を示している。なお、Fig. 3 では信号振幅を1に正規化している。通常の実受信では2つの信号点の中央 ( $A_0$ ) を閾値 ( $Th.$ ) として受信ビット系列を判定する。それに対して、信号点方向に  $a/2$  と  $-a/2$  だけオフセットした閾値 ( $A_+$  と  $A_-$ ) を用いて判定する。これらのビットが異なった場合に擬似ビット誤りが発生したとする。すなわち、この方法によって発生した擬似誤りビットは、Fig. 3 の網掛けの領域に受信信号が存在する場合に相当する。受信ビット系列に誤りが発生するのは、雑音などの影響により、判定軸 ( $A_0$ ) を越えて本来の信号点とは逆の半平面に受信信号点が移動する場合である。この現象が発生する確率と、Fig. 3 の網掛け部分に受信信号点が存在する確率には一定の相関がある。これが擬似ビット誤りによる BER 推定の原理である。なお、ここでは BPSK 方式を対



象にその原理を説明したが、QPSK 方式など他の変調方式も適用可能であることが知られている<sup>9)</sup>。

擬似ビット誤りを用いた通信品質推定法では、Fig. 4 における干渉が存在しない場合に示すようなガウス (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 伝送路に対する QPSK 変調での Actual BER と PBER の特性を事前に求めておく。なお、Fig. 4 では、判定軸オフセット量  $a$  を 0.3 としている。次に送信情報が未知の場合に PBER を測定し、事前に求めた Actual BER と PBER の関係を用いて BER を推定し、この推定値を Estimated BER とする。

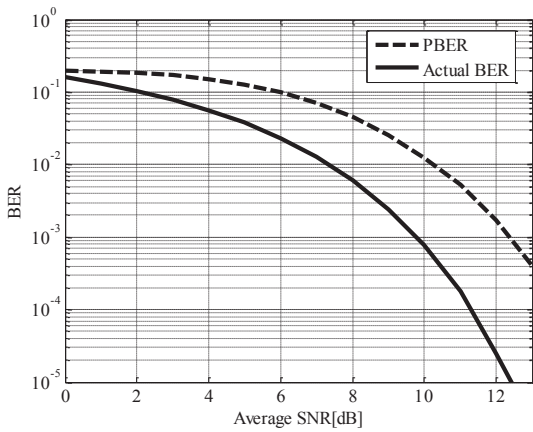


Fig. 4. Characteristic of BER and PBER (AWGN channel, QPSK,  $a=0.3$ ).

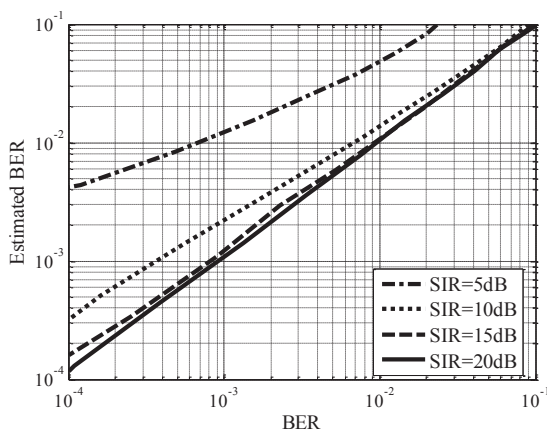


Fig. 5. Estimated characteristic in case of interference (AWGN channel, QPSK,  $a=0.3$ ).

干渉が存在する環境下においても、PBER を測定し、ガウス伝送路における干渉の存在しない場合の

PBER と Actual BER の関係から、Estimated BER を求める。干渉が存在する環境下での Actual BER と Estimated BER の関係を Fig. 5 に示す。SIR (Signal to Interference Ratio) が 10dB 以上の場合精度良く推定されおり、有効であるとわかる。

また、レイリーフェージング (Rayleigh fading) 伝送路においても同様のことが可能であり、擬似ビット誤りと Actual BER は Fig. 6 のようであり、この Actual BER と PBER の関係を事前に求める。

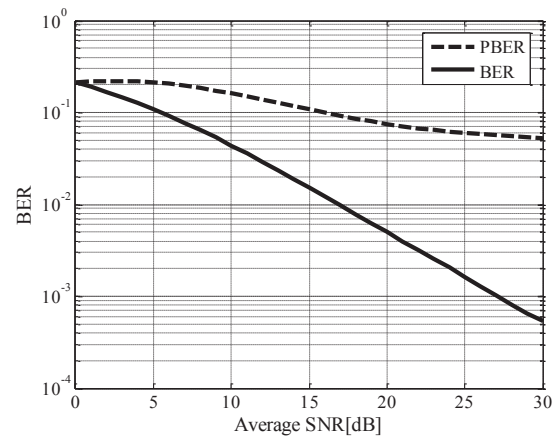


Fig. 6. Characteristic of BER and PBER (Rayleigh fading channel, QPSK,  $a=0.3$ ).

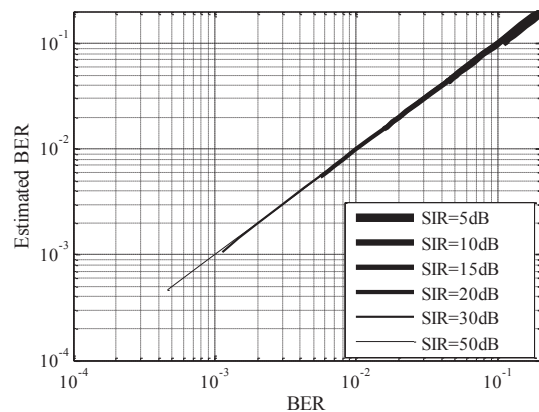


Fig. 7. Estimated characteristic in case of interference (Rayleigh fading channel, QPSK,  $a=0.3$ ).

Fig.6 より求めた Actual BER と PBER の関係は Fig.7 である。Fig.6 において、レイリーフェージング伝送路の場合、SNR に対する PBER の変化がガウス伝送路の場合に比べて小さい。また、干渉が存在する環境下での Actual BER と PBER の劣化も小

さい。そのため、Fig.7 での推定誤差はガウス伝送路の場合に比べて小さくなる。これらの結果より、レイリーフェージング伝送路での通信品質推定に対して擬似ビット誤りを用いた通信品質推定法は有効であることがわかる。

### 3. PUの通信エリア推定法と SUの送信電力と許容値の提案

#### 3.1. PUの通信エリア推定法の提案

本研究では以下のようなモデルを検討対象とする。PUは携帯電話のようなセル構成をもつ無線システムであるとする。コグニティブ無線におけるDSAにおいて、Fig. 8のようにPUの送信基地局(PUTX)とPUの受信局(PURX)、複数のSU(送信機: SUTX, 受信機: SURX) 端末、反対側のセルに位置する同一周波数を使用する干渉基地局となりうるPU(PUTX)が存在する環境を対象とする。また、SUの受信機はPUの通信エリア内と通信エリア外に多数配置されているとする。ここで、通信エリアの端をカバレッジ端と呼ぶこととする。

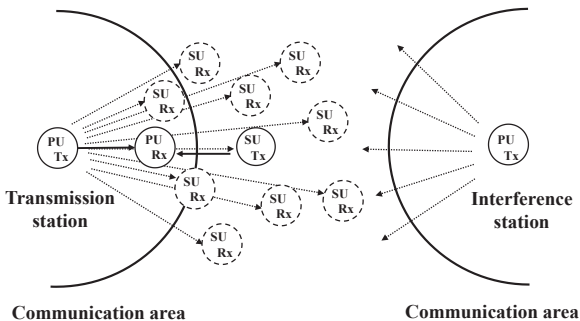


Fig. 8. Targeted system form.

SUはPUが送信する信号の通信品質を求め、PUの通信エリアを推定する。通信品質を求めるには本来、送信信号が既知である必要がある。コグニティブ無線においては、送信信号は既知でないため、通信エリアの推定方法としては、受信電力からSNR (Signal to Noise Ratio) を求めてビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) を推定する方法が簡単である。しかし、干渉がある場合は干渉も送信電力と見なしてしまうため、SNRは本来よりも高く推定されてしまう。そこで、既知信号を必要とせずに通信品質

を推定でき、干渉の影響にも対応できる擬似ビット誤りによる通信品質推定法を用いて通信エリアを推定する。これにより、カバレッジ端付近に存在する複数のSUから通信エリアを推定することが可能となる。本研究では、受信電力からSNR (Signal to Noise Ratio) を求めてビット誤り率 (BER: Bit Error Rate) を推定する方法と、送信信号が既知であるとしたときに求められる実際の誤り率から推定する場合を比較対象として用いる。

#### 3.2. SUがPUに与える影響に対する検討

干渉の存在する環境でもPUの通信品質が推定できれば、SUが送信した場合の影響を評価することもできる。PUの周波数が一時的に利用可能であるとSUが判断し、SUが情報信号を送信すると、受信側PUにも少なからず干渉を与えてしまう。そのため、PUの通信エリアに障害を与えない範囲で通信品質の劣化に許容値を定めることが必要である。しかし、PUからの電波をセンシングする方法ではPUにどの程度の影響を及ぼすかをSUからは判断できない。そこで、既知信号を必要とせずに通信品質を推定できる擬似ビット誤りによる通信品質推定法を用いれば、カバレッジ端付近に存在する受信側SUが受信側PUの通信品質をモニタリングすることが可能であるため、PUの通信品質の劣化に対する許容値以下となるようにSUの送信電力を制御することができる。本研究では許容値それぞれに対する距離と電力の関係を明らかにすることで提案方式の有効性を示す。

### 4. PUの通信エリア推定法と SUの送信電力と許容値の評価

#### 4.1. シミュレーションモデル

PUの送信信号をSUが受信することによって、PUの通信エリアを推定する。提案方式の有意性を示すため、シミュレーションにより評価する。Fig. 9にPUとSUの配置モデルを示す。Fig. 9において、相対距離は基地局から通信品質基準となる距離 $r_0$ で正規化した距離である。干渉信号は同一周波数が再利用される近接セルから送信されることを想定

する．3セル繰り返しの場合では相対距離は3である．この2つのPUTXの間にSURXとして受信点を，ここでは簡単化し，通信エリアの推定ができるように適当な間隔（相対距離に対して0.2~0.4）で格子状に多数配置する．シミュレーションにおいては，距離伝搬損失は自由空間伝搬環境（距離伝搬損失：2乗則）と陸上移動通信環境（距離伝搬損失：3.5乗則）の場合を想定する．伝送方式はQPSK変調のOFDM方式，伝送路は準静的なレイリーフェージングとする．このモデル下において，受信電力から推定したSNRを用いて求めたBER，擬似ビット誤り（ $\alpha=0.3$ ）を用いて推定したBER，比較のために，送信情報既知の前提の下で求めたActual BER，それぞれから推定される通信エリアを比較する．

また，Fig. 9において送信点から距離の異なる受信点でのSNRは異なるため，基準となるSNRを定義する距離をSNR基準距離と呼ぶことにする．ここでは，簡単のため $r_0$ をSNR基準距離とする．自由空間伝搬環境と陸上移動通信環境における距離伝搬損失はそれぞれ

$$L[\text{dB}] = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right) \quad (1)$$

$$L[\text{dB}] = 35 \log r + 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \quad (2)$$

となる．ここで， $r$ は送信点からの距離， $\lambda$ は波長である．これらの式をシミュレーションモデルに適用すると，SNRは距離伝搬損失が2乗則と3.5乗則の場合にそれぞれ

$$\text{SNR}[\text{dB}] = \text{SNR}_0[\text{dB}] - 20 \log\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (3)$$

$$\text{SNR}[\text{dB}] = \text{SNR}_0[\text{dB}] - 35 \log\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (4)$$

となる．ここで， $\text{SNR}_0$ は距離 $r_0$ での基準SNRである．また，所望信号と干渉信号の電力比は

$$\text{SIR}(\text{dB}) = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_i}\right) - 20 \log\left(\frac{r}{d}\right) \quad (5)$$

$$\text{SIR}(\text{dB}) = 10 \log\left(\frac{P_s}{P_i}\right) - 35 \log\left(\frac{r}{d}\right) \quad (6)$$

となる．ここで， $P_s$ は送信信号電力， $P_i$ は干渉信

号送信電力， $d$ は受信点と干渉送信点との距離である．また，送信信号電力と干渉信号送信電力の比は $\text{SIR}_0$ とする．

また，後述で示す4.3の評価では，2つのPUTXの間にSUTXを配置し，PUのカバレッジ端に存在するSURXを用いて，陸上移動通信環境におけるSUがPUに与える影響に対してSIRと相対距離の関係性から評価する．

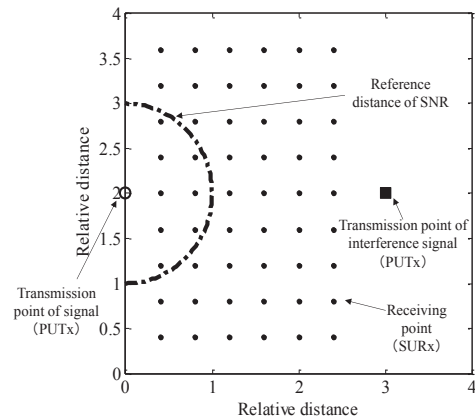


Fig. 9. Placement model of PU and SU.

#### 4. 2. 自由空間伝搬モデルでの通信エリア推定

3.1のモデルにおける通信エリア推定をSIR, SNRそれぞれを変化させて行う．なお，受信点間隔は0.4とし，通信可能とするBERは $\text{BER} \leq 0.01$ とする．

Fig. 10 ~ Fig. 12に信号送信電力( $P_s$ )と干渉信号送信電力( $P_i$ )の比 $\text{SIR}_0$ がそれぞれ10dB, 20dB, 30dB, 基準SNRが20dBの場合の通信エリア推定結果を示す．実線はActual BER, 破線はEstimated BER, 点線は受信電力から求めたBERを用いてそれぞれ通信エリア推定した結果である．また，・の印と×の印はActual BERにおける通信可能点・通信不可能点をそれぞれ表しており，通信エリアは・印と×印の中間点を取り，最小二乗的に最適近似する3次の多項式で近似した線を表したものである．

Fig. 10 ~ Fig. 12からわかるように，電力から求める場合では，干渉と信号の和の電力からBERを推定するため，SIRが小さいほど本来の通信エリアよりも大きくなってしまふ．一方，Estimated BERによって推定された通信エリアは干渉が存在して

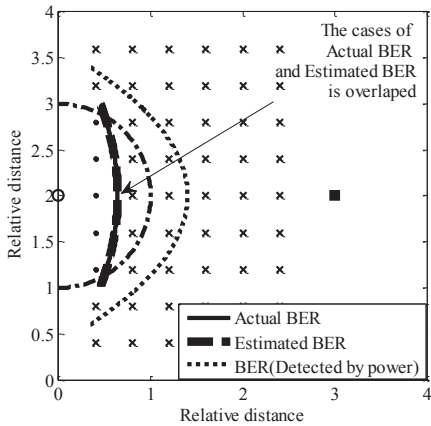


Fig. 10. Estimation result of communication area (SIR<sub>0</sub>=10dB).

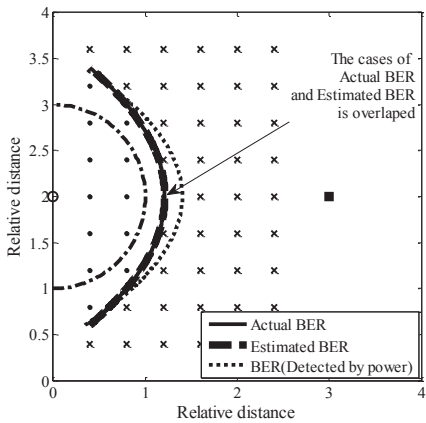


Fig. 11. Estimation result of communication area (SIR<sub>0</sub>=20dB).

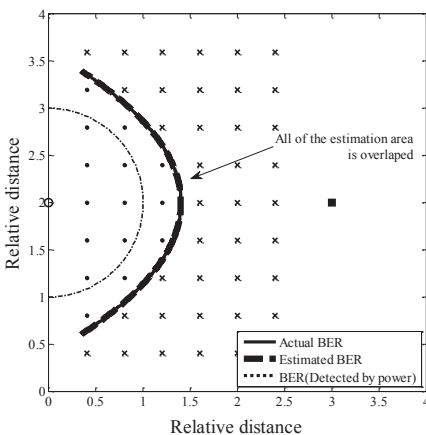


Fig. 12. Estimation result of communication area (SIR<sub>0</sub>=30dB).

いても Actual BER によって推定される通信エリアがほぼ一致することがわかる。

また、通信エリア推定の精度について推定誤りの割合の観点から評価する。

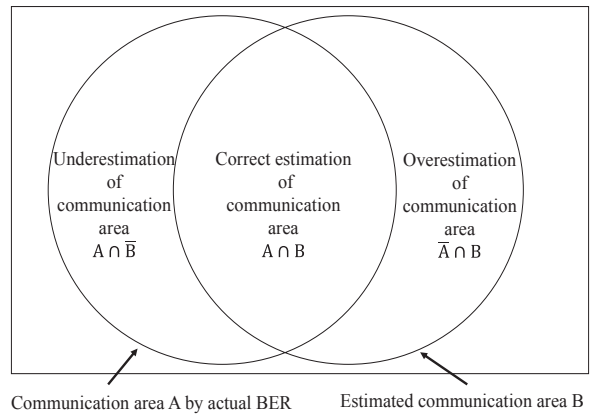


Fig. 13. Relationship between a real communication area and the estimated communication area.

Fig. 13. は通信エリア推定における実際の通信エリアと推定した通信エリアの関係を示したものである。A と B が重なり合う場所は正しく推定が行われた範囲である。A ∩ B-bar は実際よりも小さく通信エリアとして判断してしまった範囲である。コグニティブ無線における SU の観点から言えば、SU の許容送信電力を過小評価してしまうことになるが、PU に悪影響を及ぼすことにはならない。A ∩ B-bar は実際よりも小さく通信エリアとして判断してしまった範囲である。コグニティブ無線における SU の観点から言えば、PU に干渉を与えてしまう可能性が生じることになる。このA-bar ∩ B の割合(A-bar ∩ B)/(A ∪ B)を過大評価割合、A ∩ B-bar が起こる割合(A ∩ B-bar)/(A ∪ B)を過小評価割合とする。

Fig. 14 はこれらの割合を電力から推定する場合と Estimated BER の場合で評価した結果である。

Fig. 14 から、電力を用いた場合では基準 SNR がある一定の値から過大評価割合が著しく上がっていることがわかる。これは送信電力の増加に伴って通信エリアが拡大し干渉局に近づくため、干渉の影響も大きく受けてしまうためである。また、SIR<sub>0</sub> が小さいほど判定の誤りが生じる最小の基準 SNR は小さく、誤りの割合に対する最大値も大きくなっている。



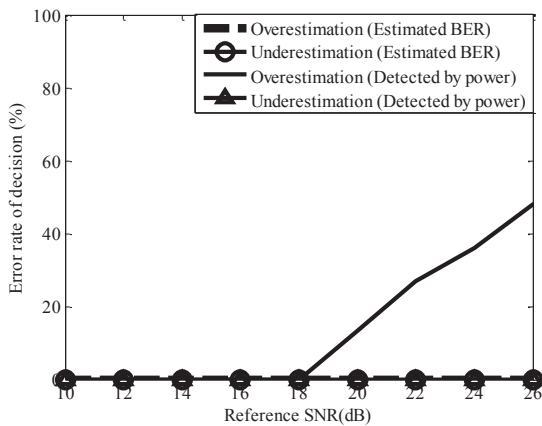


Fig. 14. Estimation accuracy of communication area (SIR=20dB).

一方, Estimated BER から求められる通信エリアは実際の通信エリアとの誤差は小さい. これらの結果より, 電力から求める場合では, 通信エリアが過大に評価されてしまうのに対して, Estimated BER から求める場合では精度が良く, SU の許容送信電力推定の特性向上が可能であることがわかる.

#### 4.3. SU の送信電力と許容値特性

陸上移動通信環境において, 送信基地局と干渉基地局の間に  $SUT_x$  を配置する. 送信基地局と干渉基地局の電力を等電力とし,  $SUT_x$  の電力と相対距離を変化する. SNR 基準距離を通信エリアのカバレッジ端としたとき,  $SUT_x$  が通信エリアに障害を与えない範囲での送信可能な電力と相対距離を, 通信可能とする BER に許容値を設けて,  $BER \leq P_0 + \Delta P$  として評価する. ここで  $P_0$  は許容値を与えないときの通信可能な BER の値であり,  $\Delta P_0$  は  $P_0$  に対する許容増加割合を与える値である. なお通信可能な範囲は  $BER \leq 0.01$  とし, この値に許容値を与えるものとする.

3.2 で述べたように SU が信号を送信すると少なからず PU に影響を与えてしまう. 本評価における条件下では, Fig. 15 のように PU の通信エリアが小さくなってしまふ. そこで許容値を設けると Fig. 16 のように通信エリアは保たれる. なお, Fig. 16 では例として 7 セル繰り返し相当の基地局間距離における許容増加割合を 50%とした場合を示して

いる.

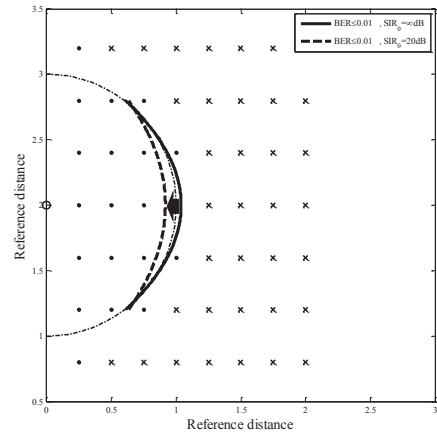


Fig. 15. Image of the influence that SU gives in the communication area of PU.

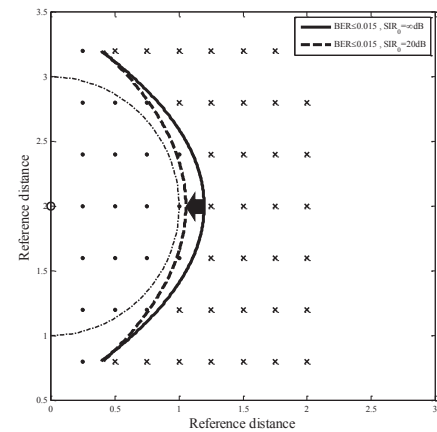


Fig. 16. Concept of the measures by the permission level.

このように SU が信号を送信する際には, 通信品質に対してある程度の許容を設ける必要があり, その許容値によって, SU が送信可能な電力の大きさも変化する. Fig. 17 に許容増加割合に対する通信可能な PU と SU の電力比と距離の関係を示す.

結果を Fig. 17 に示す. 縦軸は PU の通信品質に対する許容値を満たし, PU の通信エリアに障害を与えない範囲での PU の送信信号電力と SU が送信可能な最大送信電力との比である. 横軸は  $SUT_x$  の配置する相対距離である. また, 凡例はそれぞれ許容増加割合を示している. 相対距離が小さい場合には, 電力比が大きくなければ PU に影響を与えてし

まうことがわかるが、相対距離が大きい場合には、SUの送信電力をある程度大きくすることが可能であることがわかる。また、許容値を与えない場合、干渉基地局からの干渉に加え、SUからの干渉が影響するために、通信エリアを確保できないことがわかる。この結果から、擬似ビット誤りを用いれば、SUの与干渉を制御しながら通信を行うことも可能であるといえる。

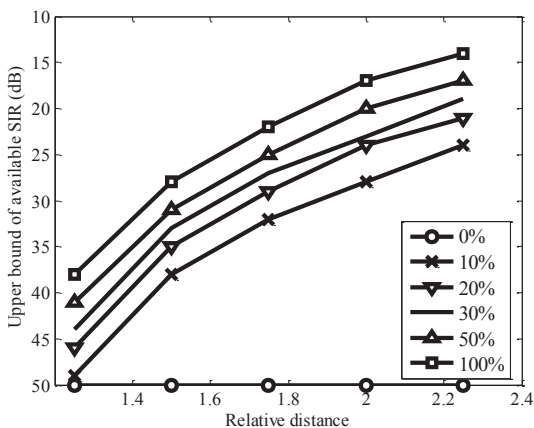


Fig. 17. Relationship between upper bound of available SIR and relative distance (Relative distance of the interference point is  $\sqrt{21}$ ).

## 5. 結論

本研究では、コグニティブ無線における擬似ビット誤りを用いた通信品質の協調モニタリングを提案し、シミュレーションにより、その有意性を評価した。

その結果、スペクトルセンシングでは十分に推定できないPUの通信エリアの推定が可能であることを示した。また、電力を用いてBERを推定する場合よりも精度が良く干渉の影響も十分に考慮できることを確認した。さらに、SUの送信電力と許容値特性から、擬似ビット誤りを用いた通信品質推定手法を用いれば、SUがPUに与える影響についても考慮することができ、PUに与える干渉を抑制し制御することが可能である。これらより、本研究の提案法を用いることでスペクトルセンシングでは推定できない課題を補うことができ、SUによる2次利用の特性向上を図ることができるといえる。

本研究ではSUを格子状に多数配置したが、これは現実的ではないため今後の課題である。また、SUの与干渉制御に対する特性や、SUが通信を行う際のSUの通信エリア推定も重要であり、今後の課題である。

## 参考文献

- 1) A. Ghasemi, "Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements, Challenges and Design Trade-offs," *IEEE Communications Magazine*, **46**, 32-39 (2008).
- 2) R. Chen, J. Park, and Y. T. Hou, "Toward Secure Distributed Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks," *IEEE Communications Magazine*, **46**, 50-55 (2008).
- 3) 三瓶政一, 阪口啓, 無線分散ネットワーク, ((社)電子情報通信学会, 2011), pp. 88-99.
- 4) H. Urkowitz, "Energy Detection of Unknown Deterministic Signals," *Proceedings of the IEEE*, **55**, 523-531 (1967).
- 5) A. Ghasemi and E.S. Sousa, "Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments," *Proc. DySPAN*, 131-136 (2005).
- 6) E. Visotsky, S. Kuffner, and R. Peterson, "On Collaborative Detection of TV Transmissions in Support of Dynamic Spectrum Sharing," *Proc. DySPAN*, 338-345 (2005).
- 7) S.Mishra, A. Sahai, and R. Brodersen, "Coperative Sensing among Cognitive Radios," *Proc. ICC*, **4**, 1658-1663 (2006).
- 8) 村山達哉, 岩井誠人, 笹岡秀一, "コグニティブ無線における擬似ビット誤り推定手法を用いた通信エリア推定法の一検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 294 (2014).
- 9) 岩井誠人, 渡邊貴志, 高井信人, 笹岡秀一, "擬似誤りに基づくビット誤り率の推定法," 電子情報通信学会, **A・P2006-15**, 35-40 (2006).
- 10) 村山達哉, 岩井誠人, 笹岡秀一, "コグニティブ無線における擬似ビット誤り推定手法を用いた通信エリア推定法の一検討," 電子情報通信学会, **SR2014-100**, 35-40 (2015).
- 11) B. Nebendahl, W. Freude, C. Koos, J. Leuthold, M. Huebner, R. Schmogrow, A. Josten, D. Hillerkuss, S. Koenig, M. Winter, J. Meiyer, and M. Dreschmann, "EVM as New Quality Metric for Optical Modulation Analysis," *Proc. Electronics, Communications and Photonics Conference*, (2013).

- 12) R. A. Shafik, Md. S. Rahman, and A. R. Islam, "On the Extended Relationships among EVM, BER and SNR as Performance Metrics," Proc. ICECE, 408-411 (2006).