

協力学pekトルセンシングを用いたコグニティブ無線システムの 開発と屋外伝送実験

村田 英一^{†a)} 大野 卓人[†] 山本 高至[†] 吉田 進[†]

Development and Field Experiments of Cognitive Radio System with Cooperative Spectrum Sensing

Hidekazu MURATA^{†a)}, Takuto OHNO[†], Koji YAMAMOTO[†], and Susumu YOSHIDA[†]

あらまし コグニティブ無線において帯域共有を行う際には、他システムへの与干渉を避けるために他システムの存在を正確に認知することが重要である。そのシステムが発する信号をセンシングすることが基本的な手段となるが、無線伝搬路におけるマルチパスフェージング及びシャドーイングに起因して信号が大きく減衰するため、高い信頼性で存在を認知することは容易ではない。そこで複数の無線局間においてセンシング情報を共有し、空間ダイバーシチ効果を得ることで信頼性を向上する協力学pekトルセンシングが盛んに検討されている。しかしこれまで、屋外での伝送実験結果は報告されていない。本論文は、他システムからの信号電力情報を共有することで協力学pekトルセンシングを行うコグニティブ無線システムの構成と屋外伝送実験結果について述べている。伝送実験の結果から、協力学pekトルセンシングによって信頼性の高い送信可否判断が可能となり、要求されるセンシング感度も緩和可能であることが示されている。

キーワード コグニティブ無線、帯域共有、協力学pekトルセンシング、フィールド実験

1. ま え が き

無線関連サービスにとって周波数帯域の確保が最も重要な課題である。無線システムごとに専用の周波数帯域が確保されることが基本であるため、新無線システムの導入には長い時間を要する [1]。また、需要が減少しつつある無線システムが保持している帯域の機動的な再利用も現状では難しい。

周波数帯域の高効率な利用を実現するために、異なる無線システム間において周波数帯域を共有する技術が活発に研究されている。これはコグニティブ無線 [2], [3] と呼ばれる、環境を認知しその状況に適應する高度な無線システムの具体的な応用例である。多くの研究では、優先度の高い無線システムが保持している周波数帯域を優先度の低い無線システムが状況を判断しながら利用する形態が想定されている。利用する

時間、場所、送信電力等を適切に調整することによって、優先度の高いシステムへ有害な干渉を与えることなく優先度の低いシステムがその周波数帯域を利用することができる。機動的な帯域利用により旧無線システムの廃止を待たずに新無線システムの導入が可能になるのみならず、実際の利用状況、伝搬環境に応じた帯域の効率的な利用も可能となる。

高優先度システムの改修を必要とせずに低優先度システムを導入できることが望ましいが、この場合はその帯域の使用状況を低優先度システム側のみで正確に判断できる必要がある。しかし、無線伝搬路ではシャドーイングやマルチパスフェージングの影響により受信信号強度が大きく変動するため、高優先度システムからの信号を単に傍受するだけでは信頼性の高い判断が難しい。信頼性が低い場合、高優先度システムの存在判断を誤り過大な干渉を与えてしまうことを防ぐために自システムの送信を厳しく制限する必要が生じ、帯域の利用効率が低下する。

このように、自システムの送信が高優先度システムに過剰な干渉を与えるか否かを高い信頼性で判断する

[†] 京都大学大学院情報学研究所, 京都市

Graduate School of Informatics, Kyoto University, Yoshidahommachi, Sakyo-ku, Kyoto-shi, 606-8501 Japan

a) E-mail: murata@i.kyoto-u.ac.jp

ためにスペクトルセンシング技術が活発に研究されている．無線伝搬路特有のシャドーイングやマルチパスフェージング対策としては，周囲の無線局とセンシング情報を共有しそれに基づいて送信可否を決定する協カスペクトルセンシング [4], [5] が有効であると考えられる．これまでに，無線局間協力の効果やそのセンシング手法について多くの研究がある [6] ~ [9] ．

コグニティブ無線の開発例 [10], [11] は多く，協カスペクトルセンシング機能を備えるものも試作されている [12], [13] ．協カスペクトルセンシングを行うコグニティブ無線の特性は，高優先度システムからの電波伝搬とスペクトルセンサの配置の関係，センサからのセンシング結果を収集する無線通信の伝送特性，そして高優先度システムへの与干渉特性の三つの面で実際の伝搬環境に依存する．このため，伝搬環境をモデル化して計算機シミュレーションを行うアプローチ [14] と平行して，実伝搬環境における特性把握を行う必要がある．これまで屋外での伝送実験結果は報告されておらず，屋内における実験例においてもセンシング結果を有線通信で収集するにとどまっている [12] ．本論文では，実伝搬環境における特性把握に用いるプラットフォームとして開発した協カスペクトルセンシング機能を備えたコグニティブ無線システムについて述べ，その動作検証として実施した屋外伝送実験結果を示す．

2. 実験モデル

本研究では，既存システム（高優先度システム）と既存システムへの干渉を回避しつつ同じ帯域を利用するシステム（低優先度システム）で構成されるコグニティブ無線システムを想定し，図 1 に示すように複数の無線局を二つのグループに分類する．グループ A は保護されるべき既存システムであり，周波数帯域の利用に関する優先権をもつ．グループ A は送信局 A-TX と受信局 A-RX から構成され，他システムの存在にかかわらず通信を行う．グループ B は低優先度システムであり，A-TX からの信号強度等に基づき周波数の空間的再利用を試みる．グループ B は送信局 B-TX，受信局 B-RX 及びセンシング専用局 B-SS から構成される．ここで本研究ではスペクトルセンシングを用いた他システム検出に着目するため，無線局は位置情報等を持たず，異なるグループ間において被干渉情報等の通信も行わないとする．

グループ B の各無線局では，電力検出 [15] によって A-TX からの信号のセンシングを行う．B-TX にお

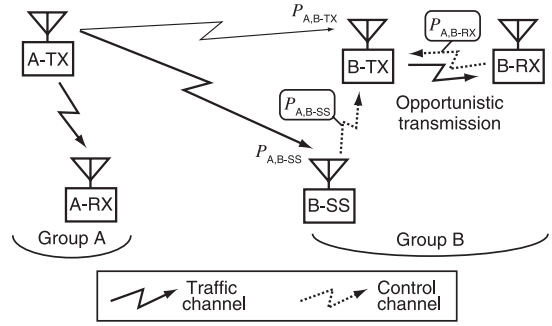


図 1 実験モデル

Fig. 1 Field experiment model.

る A-TX からの受信信号電力 $P_{A,B-TX}$ は次式となる．

$$P_{A,B-TX} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |h_{A,B-TX}[n]x[n] + w_{B-TX}[n]|^2 \quad (1)$$

ここで， $x[n]$ は A-TX の信号， $w_{B-TX}[n]$ は B-TX における雑音， $h_{A,B-TX}[n]$ は A-TX，B-TX 間のチャンネル係数， N は平均化回数を表している．本研究ではこの $P_{A,B-TX}$ に基づいて A-RX での受信特性を劣化させてしまう干渉を与えるか否かの判断を行う．無線伝搬路ではチャンネル係数 $h_{A,B-TX}[n]$ が大きく変動するため $P_{A,B-TX}$ の変動も大きい．このため信頼性の高い判断が困難であり，A-RX への与干渉を確実に避けるために B-TX の送信を強く抑制する必要がある．これは B-TX において高感度なセンシングを行うことになるが，雑音などによって生じる誤警報を増加させ，B-TX の送信機会損失が大きくなる．

A-TX からの信号をより確実に検出するため，グループ B の無線局間においてセンシング結果を共有する協カスペクトルセンシングを行う．このセンシング結果の共有には共通帯域とは別の周波数帯域を用いる．各局における判定 d_{sta} は次のように表される．

$$d_{sta} = \begin{cases} 1 & P_{A,sta} > T_{\text{detect}} \\ 0 & P_{A,sta} < T_{\text{detect}} \end{cases} \quad (2)$$

T_{detect} は検出しきい値， $P_{A,sta}$ はグループ B の各局 $sta \in \{B-TX, B-RX, B-SS\}$ における A-TX の受信電力である．この d_{sta} を用いて最終的判断 D を次式で決定する OR ルールを用いる [16] ．

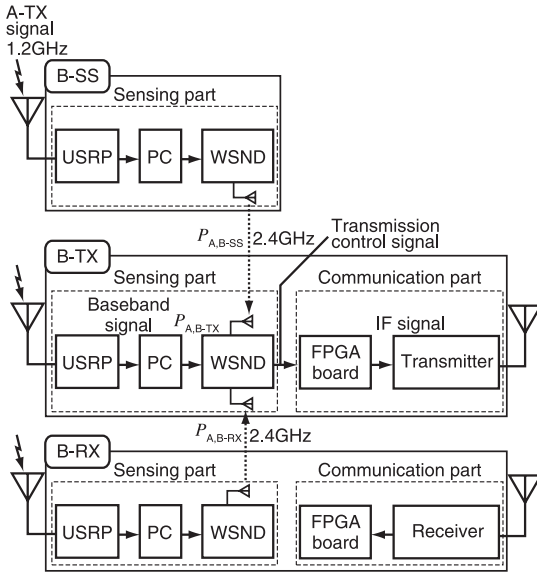


図 2 グループ B 無線局の構成
Fig. 2 Block diagram of radio stations in group B.

表 1 USRP の仕様

Table 1 Major specifications of USRP.

ADC	12 bit, 64 MSa/s
DAC	14 bit, 128 MSa/s
FPGA	Altera Cyclone EP1C12
Frequency range	1150 to 1450 MHz

3.1 スペクトルセンシング部

3.1.1 USRP

ソフトウェア無線用の簡易な無線装置である USRP はマザーボードとドータボードからなり、RF-ベースバンド間の周波数変換や A-D・D-A 変換等を行う。公開されている仕様を表 1 に示す。複雑な信号処理は USB を介して接続された PC において GNU Radio として知られる信号処理ライブラリを利用して行う。

この USRP と PC を用いてスペクトルセンシング部を構成する。今回は A-D 変換器のサンプリング周波数を 500 kHz, FFT サイズを 512 ポイントとし、雑音の影響を軽減するため平均化を行う。本実験での単独スペクトルセンシングでは、協力スペクトルセンシングに必要な情報共有時間をセンシングに利用する。今回の USRP と PC の処理能力ではこの時間内に 32 回の平均化が行われている。このとき、全体のサンプル数 L は 16384 回である。このスペクトルセンシング部の動作の一例を図 3 に示す。縦軸は GNU Radio での計算値であり、この図に示すように電力が既知である 1.299 GHz の信号を入力して GNU radio での計算値と電力値との対応表を作成した。図 4 に SNR に対するスペクトルセンサの検出確率と検出理論値を示す。このとき雑音電力は -115.6 dBm であった。この特性は誤警報確率が図中に示す値となるように検出しきい値を設定して取得している。このスペクトルセンシング部はソフトウェアで実現されているため柔軟性が高く、周期定常性などを利用したセンシング方法 [17] への拡張が容易である。

3.1.2 WSND

WSND は IEEE 802.15.4 準拠の無線チップや電池、CPU 等を有するプログラム可能な装置である。本研究ではこの装置を用いて、 $P_{A,sta}$ の収集及び式 (3) に基づく送信開始判断を行う。WSND は PC から USB を介して $P_{A,sta}$ が送られると 2.4 GHz 帯の ISM 帯を用いて他の WSND に $P_{A,sta}$ を送信する。所定の期間内に集まったすべての $P_{A,sta}$ より送信開始判断を行い、送信制御信号を通信部へ伝える。

$$D = \begin{cases} 1 & d_{B-TX} + d_{B-RX} + d_{B-SS} > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで $D = 0$ は B-TX の送信を、 $D = 1$ は B-TX の送信待機を表している。 $P_{A,sta}$ がいずれも検出しきい値 T_{detect} を超えない場合に B-TX は送信を開始する。 $P_{A,sta}$ のうち一つでも検出しきい値 T_{detect} を上回った場合、B-TX は送信待機する。

3. 実験装置

図 2 にグループ B 無線局の構成を示す。B-TX と B-RX はいずれも通信部とスペクトルセンシング部で構成されている。この通信部は共有帯域での通信を行う部分であり FPGA と無線装置から構成される。センシング部は A-TX からの信号のセンシング及びその結果の収集を行う部分であり、USRP (Universal Software Radio Peripheral), USRP からのデジタルベースバンド信号を処理する PC, そして WSND (Wireless Sensor Network Device) からなる。これら二つの要素で構成されている B-TX 及び B-RX に対し、B-SS はセンシング専用局であるためセンシング部のみで構成されている。グループ A はセンシングを行わないため通信部のみで構成される。

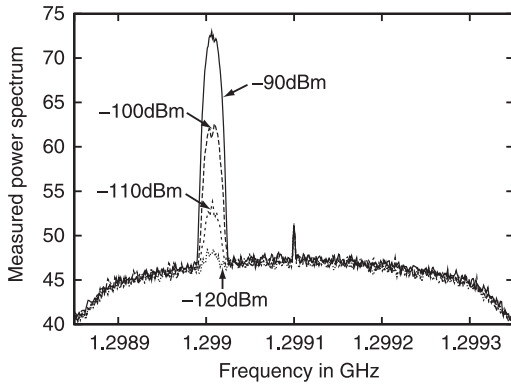


図 3 USRP と GNU Radio を用いて観測した電力スペクトル
Fig. 3 Measured power spectrum by USRP and GNU radio.

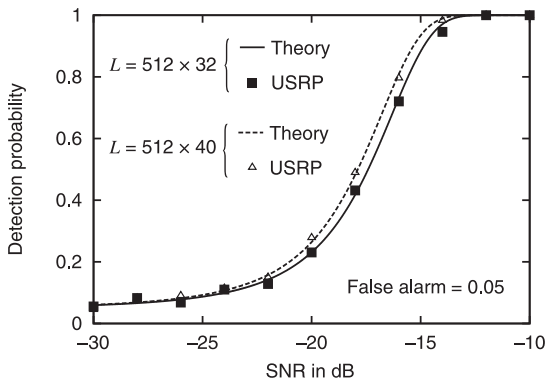


図 4 スペクトルセンサの検出確率と理論値
Fig. 4 Detection probability of spectrum sensor.

3.2 通信部

通信部は 1.2 GHz 帯の電波を用いてパケット伝送を行う。送信部及び受信部の構成を図 5 に示す。FPGA ボードでは A-D・D-A 変換、IF-ベースバンド間の変換及びベースバンド信号処理を行う。無線機は RF-IF 間の周波数変換及び増幅を行う。送信部では送信パケット数を計測しており、受信部では CRC (Cyclic Redundancy Check) を用いた誤り検出を行い受信成功パケット数が出力される。屋外伝送実験ではこれらを実験指標とする。

通信部における送信信号の構成を図 6 に示す。通信部では一度に 32 パケットを連続して送信する。このパケット群を以下ではフレームと呼ぶ。グループ A においてはこのフレームを連続的に送信するが、グループ B ではセンシングを行う間に送信を行うと自らの信号電力が大きく、A-TX の信号を検出できない。その

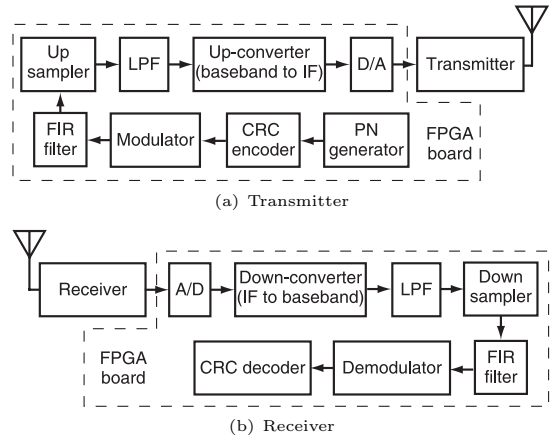


図 5 通信部の構成
Fig. 5 Block diagram of communication part.

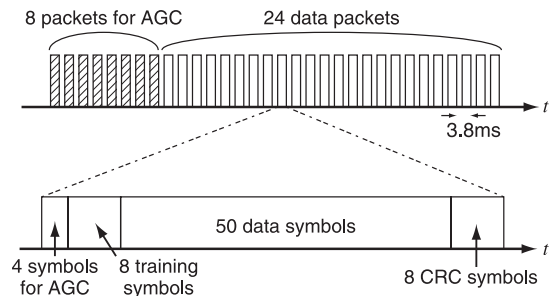


図 6 送信信号の構成
Fig. 6 Structure of transmit signal.

ため、センシングを行う間は送信を行うことができず B-TX は間欠的な送信となる。無信号区間においては無線機の AGC (Automatic Gain Control) 利得は最大となる。このため、急に大きな電力の信号が到来すると受信信号の先頭数パケットでは入力飽和し受信信号にひずみが生じる。そのためフレーム先頭部分の 8 パケットは無線機の AGC 利得安定化に用いた。

各パケット間にも約 0.4 ms の無信号区間が存在する。そのため、各パケットの先頭には 4 シンボルの AGC 利得安定化のためのシンボルを配置している。トレーニング系列は伝搬路推定に用いている。また A-TX 信号と B-TX 信号の識別にも用いている。

4. 伝送実験

4.1 実験の諸元

実験の諸元を表 2、無線局配置を図 7 に示す。実験は本学工学部 3 号館周辺にて行った。図 7 に示すよ

表 2 伝送実験の諸元

Table 2 Major parameters of field experiments.

Antenna	Omni directional
Carrier frequency	1.299 GHz
Transmission power of A-TX	8.6 dBm
Transmission power of B-TX	5.5 dBm
Antenna height of A-TX and A-RX	13.5 m
Antenna height of B-TX and B-RX	0.8 m
Antenna height of B-SS	0.6 m
FPGA	Stratix EP1S25F780C5
Intermediate frequency	10.85 MHz
Modulation	$\pi/4$ shift QPSK
FIR filter	Root roll-off Nyquist (Roll-off factor $\alpha = 0.7$)
Symbol rate	21.1914 ksymbols/sec
Packet length	66 symbols
Error detection	CRC-16

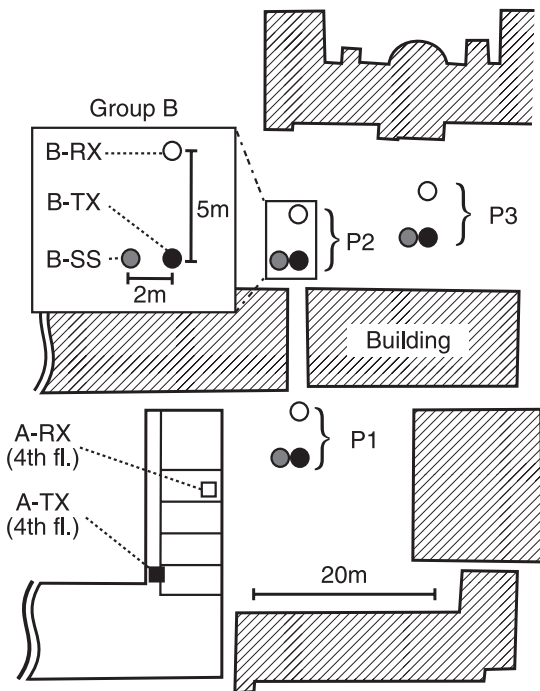


図 7 無線局配置

Fig. 7 Locations of radio stations.

うに、グループ A 無線局は建物の 4 階に設置し、グループ B 無線局は屋外に設置した。今回の測定ではグループ B の配置 3 箇所（図中 P1 ~ P3）について測定を行った。図 8 に実験フィールドを、図 9 に B-TX の外観を示す。

今回の試作において WSND は図 10 に示す四つのプロセスを繰り返し行う。最初の 2 秒間はスペクトルセンシング部が A-TX からの信号のセンシングを行



図 8 実験フィールド

Fig. 8 Experimental field.

う。次の 0.49 秒間では WSND がセンシング部や他の WSND から $P_{A,sta}$ を収集する。このとき、単独スペクトルセンシングを用いる場合は $P_{A,sta}$ の共有を行わず、この時間も $P_{A,B-TX}$ の平均化を行う。次の 0.19 秒間において WSND が FPGA の送信タイミングを捕そくした上で、最後の 0.45 秒間にそれらすべての $P_{A,sta}$ に基づき送信開始判断を行い、B-TX の送信可能周期に合わせたタイミングで通信部に送信可否信号を送る。図 11 は実験システムの動作例である。A-TX は 121 ms ごとに 24 パケットを送信している。その $P_{A,sta}$ がすべてしきい値を下回る場合のみ B-TX は送信を開始する。

4.2 実験結果

図 12, 図 13, 図 14 に、それぞれ配置 1, 2, 3 における B-TX の送信開始確率と A-RX のパケット受信成功割合を示す。これらは観測時間 3 分間における送受信パケット数である。協力スペクトルセンシング (CS) の比較対象として、 $P_{A,B-TX}$ のみを用いる単独スペクトルセンシング (IS) についても測定を行った。単独スペクトルセンシングに対しては $-115 \text{ dBm} \sim -110 \text{ dBm}$ 、協力スペクトルセンシングに対しては

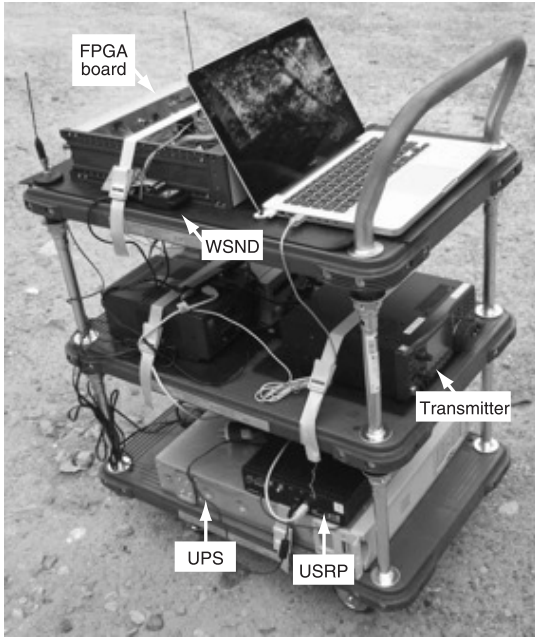


図 9 無線局 B-TX
Fig. 9 Radio station B-TX.

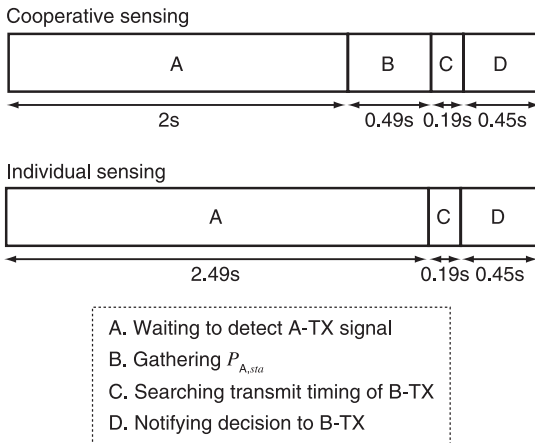


図 10 WSND の動作
Fig. 10 Operation of WSND.

-108 dBm ~ -105 dBm の検出しきい値 T_{detect} について 1 dB 刻みで測定を行った。

図 12 の $T_{detect} = \infty$ が示すように、配置 1 においては B-TX が送信を開始すると A-RX への与干渉が生じる。同図よりすべてのセンシング方式が A-TX からの信号を検出し B-TX の送信を完全に抑制することで A-RX への与干渉を回避できていることが分かる。配置 2 においても、B-TX の送信確率の増大に伴って

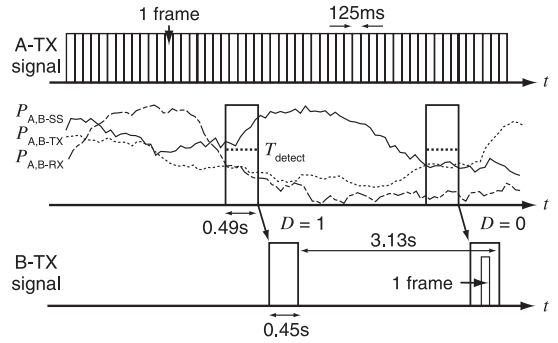


図 11 協カスペクトルセンシングと伝送
Fig. 11 Illustration of cooperative spectrum sensing and transmission.

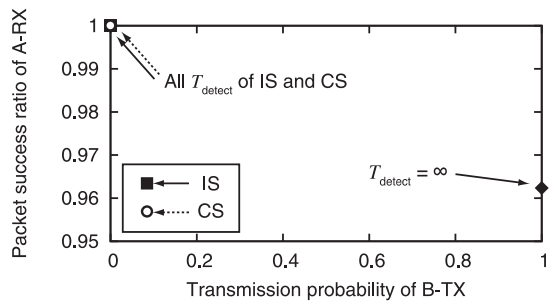


図 12 配置 1 における B-TX の送信開始確率と A-RX のパケット受信成功割合
Fig. 12 Packet success ratio of A-RX vs. transmission probability of B-TX at position P1.

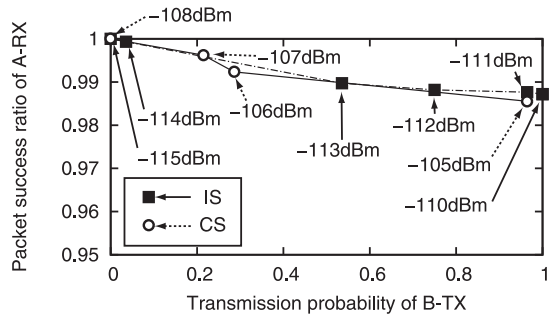


図 13 配置 2 における B-TX の送信開始確率と A-RX のパケット受信成功割合
Fig. 13 Packet success ratio of A-RX vs. transmission probability of B-TX at position P2.

A-RX でのパケット受信成功割合が減少していることから B-TX から A-RX への与干渉が生じることが分かる。単独センシングでは T_{detect} を -115 dBm にまで低くしなければ送信を抑制できていない。一方で協カセンシングでは T_{detect} を -108 dBm に設定することで送信を抑制し干渉を回避できている。これは複数

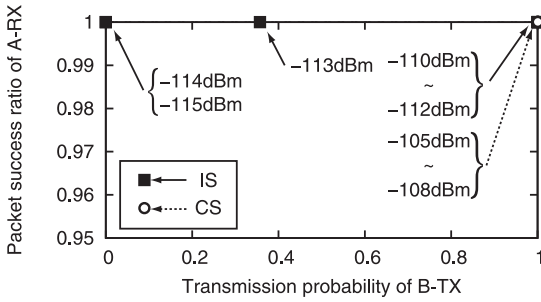


図 14 配置 3 における B-TX の送信開始確率と A-RX のパケット受信成功割合
 Fig. 14 Packet success ratio of A-RX vs. transmission probability of B-TX at position P2.

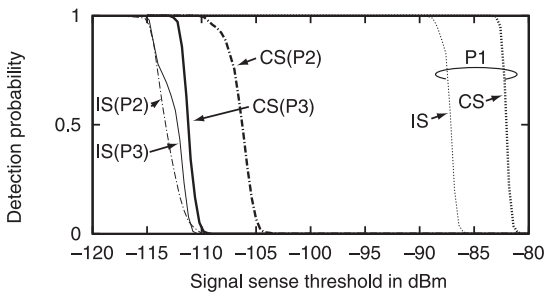


図 15 検出しきい値 T_{detect} に対する検出確率
 Fig. 15 Detection probability vs. signal sense threshold T_{detect} .

の無線局でのセンシング結果を用いることで判定しきい値を緩和できることを示している。

配置 1 及び 2 とは異なり、配置 3 においては B-TX の送信開始確率によらず A-RX での受信が成功しており、A-RX への干渉が生じないことが分かる。しかし配置 2 において A-TX からの信号を検出できた単独センシング ($T_{\text{detect}} = -115 \text{ dBm}$) は、配置 3 においても A-TX を検出してしまうため送信を開始できないことが分かる。一方、 $T_{\text{detect}} = -108 \text{ dBm}$ の協力センシングでは配置 2 において送信を完全に抑制しながら、配置 3 において送信機会を獲得できている。

図 15 はしきい値と検出確率を各配置について示している。同一の検出確率を与えるしきい値を見ると、協力センシングではどの配置においてもしきい値を高く設定できることが分かる。これにより雑音の影響を避けることができるため、誤警報による送信機会損失が抑えることができている。

図 16, 図 17, 図 18 は各局においてセンシングされた電力の累積分布を示す。B-TX, B-RX についての図 16, 図 17 では配置 2 での電力が小さいが、図 18

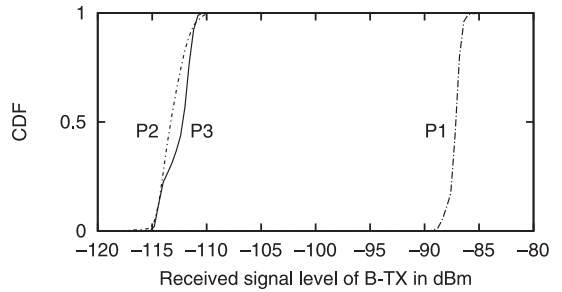


図 16 B-TX におけるセンシング結果の累積分布
 Fig. 16 Cumulative distribution function of sensing results at B-TX.

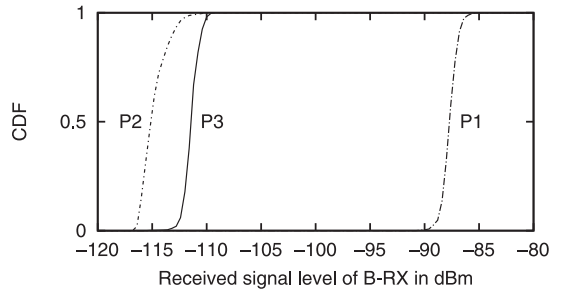


図 17 B-RX におけるセンシング結果の累積分布
 Fig. 17 Cumulative distribution function of sensing results at B-RX.

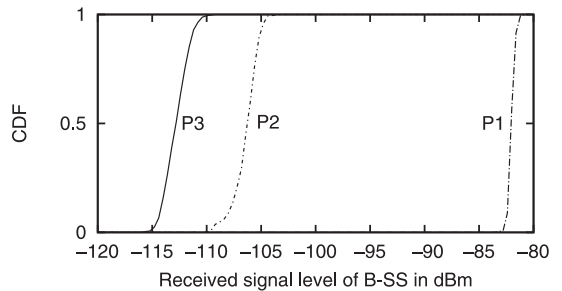


図 18 B-SS におけるセンシング結果の分布累積
 Fig. 18 Cumulative distribution function of sensing results at B-SS.

の B-SS での電力では配置 2 において大きな電力が得られている。これが、協力センシングの特性が優れたものとなった理由である。

5. む す び

コグニティブ無線では周波数帯域の利用状況を高い信頼性で把握することが重要であり、協力スペクトルセンシングは一つの有効な手段である。本研究では、実環境における協力スペクトルセンシングを用いた帯

域共有システムの特性把握を目的として実験システムを構築し、屋外において伝送実験を行った。測定結果から、無線局間においてセンシング情報の共有を行うことの有効性が示された。高い信頼性で利用状況の判断が可能となるため、空間的な周波数再利用がよりの確に可能となり、周波数利用効率の改善につながる。

開発したシステムは特にスペクトルセンシング部の柔軟性が高く、高度なセンシングアルゴリズムの実装が可能である。今後、周期定常性によるセンシングや各種判定方法の実装を行い、それらの実環境における有効性を評価する予定である。

文 献

- [1] W.D. Horne and R.M. Taylor, "New waves for new systems," *IEEE Spectr.*, vol.32, no.10, pp.72–77, Oct. 1995.
- [2] J. Mitola III and G.Q. Maguire, Jr., "Cognitive radio: Making software radios more personal," *IEEE Pers. Commun. Mag.*, vol.6, no.4, pp.13–18, Aug. 1999.
- [3] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol.23, no.2, pp.201–220, Feb. 2005.
- [4] A. Ghasemi and E.S. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environments," *Proc. IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN2005)*, pp.131–136, Nov. 2005.
- [5] E. Visotsky, S. Kuffner, and R. Peterson, "On collaborative detection of TV transmissions in support of dynamic spectrum sharing," *Proc. IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN2005)*, pp.338–345, Nov. 2005.
- [6] Y. Yu, H. Murata, K. Yamamoto, and S. Yoshida, "Interference information based power control for cognitive radio with multi-hop cooperative sensing," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E91-B, no.1, pp.70–76, Jan. 2008.
- [7] H. Uchiyama, K. Umebayashi, Y. Kamiya, Y. Suzuki, T. Fujii, F. Ono, and K. Sakaguchi, "Study on cooperative sensing in cognitive radio based ad-hoc network," *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC2007)*, pp.1–5, Sept. 2007.
- [8] 中村建斗, 大槻知明, "コグニティブ無線におけるシャドウイング環境に適した受信値重み付け協調センシング," *信学技報*, WBS, pp.179–184, March 2009.
- [9] 高梨慎人, 山里敬也, 片山正昭, "協調センシングシステムにおけるノードからの情報欠落の影響評価と特性改善手法," *信学技報*, SR, pp.75–80, May 2009.
- [10] A. Tkachenko, D. Cabric, and R.W. Brodersen, "Cognitive radio experiments using reconfigurable BEE2," *Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (ACSSC2006)*, pp.2041–2045, Oct. 2006.
- [11] 小田桐紳也, 小笠原勇気, 吉澤真吾, 宮永喜一, "OFDM方式コグニティブ無線のハードウェア設計に関する考察," *信学技報*, SIP, pp.89–94, Sept. 2008.
- [12] D. Cabric, "Addressing the feasibility of cognitive radios," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol.25, no.6, pp.85–93, Nov. 2008.
- [13] M. Matsui, K. Akabane, H. Shiba, and K. Uehara, "Prototype of a cognitive radio system with cooperative sensing and interference alerting," *International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom2008)*, pp.1–6, July 2008.
- [14] M. Wellens, J. Riihijarvi, M. Gordziel, and P. Mahonen, "Spatial statistics of spectrum usage: From measurements to spectrum models," *Proc. IEEE Int. Conf. on Commun.(ICC2009)*, pp.1–6, June 2009.
- [15] D. Cabric, S.M. Mishra, A. Sahai, and R.W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," *Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, vol.1, pp.772–776, Nov. 2004.
- [16] E. Hossain, D. Niyato, and Z. Han, *Dynamic spectrum access and management in cognitive radio networks*, Cambridge University Press, New York, 2009.
- [17] V. Turunen, M. Kosunen, A. Huttunen, S. Kallioinen, P. Ikonen, A. Paerssinen, and J. Ryynaenen, "Implementation of cyclostationary feature detector for cognitive radio," *International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom2009)*, pp.1–6, June 2009.

(平成 21 年 11 月 5 日受付, 22 年 2 月 19 日再受付)



村田 英一 (正員)

平 3 京大・工・電子卒・平 5 同大学院修士課程了・平 5~14 同大助手・平 14 より東工大助教授, 平 18 京大大学院情報学・助教授・平 19 同准教授, 現在に至る。工博。ワイヤレスネットワーク, 無線伝送方式の研究に従事。平 9 本会学術奨励賞, 平 12 エリクソンヤングサイエンティストアワード, 平 16 本会功労感謝状, 平 18 電気通信普及財団テレコムシステム技術賞, 平 18 科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞, 平 20 本会通ソ活動功労賞受賞。



大野 卓人 (学生員)

平 20 京大・工・電気電子卒。現在，同
大大学院情報学研究科修士課程在学中。コ
グニティブ無線の研究に従事。



山本 高至 (正員)

平 14 京大・工・電気電子卒。平 16 同
大大学院修士課程了。同年日本学術振興会
特別研究員。平 17 同大大学院博士後期課
程了。同年同大大学院情報学・助手。平 19
同助教，現在に至る。平 20~21 スウェー
デン王立工科大学客員研究員。京都大学博
士(情報学)。ゲーム理論，スペクトル共用，マルチホップネッ
トワークの研究に従事。平 18 エリクソンヤングサイエンティ
ストアワード，平 19・21 本会通ソ活動功労賞，平 20 本会学術
奨励賞受賞。



吉田 進 (正員：フェロー)

昭 46 京大・工・電子卒。昭 48 同大
大学院修士課程了。同年同大・工・助手，昭
54 同助教，平 4 同教授，平 10 同大大学
院情報学・教授，現在に至る。工博。この
間，伝送符号，デジタル移動通信，アド
ホックネットワークなどの研究に従事。昭
53 本会学術奨励賞，昭 63・平 18 電気通信普及財団テレコム
システム技術賞，平 4 本会業績賞，平 19 エリクソン・テレコ
ミュニケーション・アワード受賞。