

## 明 細 書

発明の名称：無線通信装置およびセンシング方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、コグニティブ無線システムにおける無線通信技術に関し、特に、セカンダリユーザがプライマリユーザによる通信を検出するためのセンシング技術に関する。

### 背景技術

[0002] 近年、未使用の周波数を検出して利用するコグニティブ無線システムの研究・開発が進められている。周波数の二次利用を行うためには、プライマリユーザに対して干渉を与えないことが必要である。そのためには、スペクトルセンシングを行って、プライマリユーザによる通信を検出したら即座に周波数の二次利用を中止することが求められる。

[0003] 車載無線機など高速で移動する無線通信装置がコグニティブ無線を実施する場合には、使用可能な周波数は、時間的にも空間的に随時変化する。したがって、確実にプライマリユーザを保護するためには、常にセンシングを行うことが望ましい。

[0004] セカンダリユーザによる通信が行われている場合には、遠近問題によりプライマリユーザの通信を検出できないという問題がある。そこで、図4に示すように全てのセカンダリユーザが通信を行わない送信停止期間（Quiet Period: QP）を設け、その期間にセンシングを行う方法が提案されている。この方法では、送信停止期間にしかプライマリユーザの出現を検出できないという問題と、送信停止期間の存在によりセカンダリユーザとしての通信スループットが低下するという問題がある。

[0005] セカンダリユーザとしての通信と、プライマリユーザの検出を同時に行う手法も提案されている。非特許文献1では、プライマリユーザの一部の信号を既知情報として保持し、セカンダリユーザの通信中にプライマリ信号の既知情報を受信したら、二次利用を中止する。この方法は、プライマリ信号を

既知情報として事前に知っている必要があるため適用範囲が限られるという問題がある。また、センシング用のアンテナにおける自ノードからの送信信号による遠近問題を解消することは考慮されていない。

## 先行技術文献

### 非特許文献

- [0006] 非特許文献1：山田貴之 他，”コグニティブ無線における既知信号を利用した通信中に到来するプライマリ信号検出方法”，信学技報 SR2008-18，pp. 1-5 (2008-7)。

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 本発明は、セカンダリユーザとして通信を行いつつ、プライマリユーザの通信を検出可能なセンシング技術を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

- [0008] 上記目的を達成するために本発明では、アナログ領域とデジタル領域の2つの領域で、自己信号抑制処理を行う。すなわち、アナログ領域での抑制として、自己信号を打ち消す逆位相信号を送信する。さらに、デジタル領域での抑制として、デジタル信号処理を用いる。これらの抑制処理を組み合わせることにより、セカンダリユーザとしての通信中にプライマリユーザによる通信を検出可能とする。
- [0009] より具体的には、本発明の無線通信装置は、プライマリユーザによる通信をセンシングするためのセンシングアンテナと、第1の送信アンテナと、第2の送信アンテナと、前記第1の送信アンテナから送信する送信信号を生成する第1の送信手段と、前記第2の送信アンテナから送信する送信信号であって、前記第1の送信アンテナからの送信信号を前記センシングアンテナにおいて打ち消す送信信号を生成する第2の送信手段と、前記センシングアンテナの受信信号から、前記第1の送信アンテナからの送信信号を抑制するデジタル信号処理手段と、前記デジタル信号処理手段によって処理された前記

センシングアンテナの受信信号に基づいて、プライマリユーザによる通信を検出するセンシング手段と、を備える。

[0010] 第2のアンテナから送信される打ち消し信号によるアナログ領域の抑制処理だけでは自己信号による影響を完全に除去することはできないが、少なくともセンシングアンテナにおけるダイナミックレンジの問題を解消できる程度には自己信号を抑制できる。さらに、デジタル信号処理による自己信号抑制処理を施すことで、プライマリユーザの通信を検出可能となる。したがって、第1の送信アンテナを用いた無線通信を行いながら、センシングアンテナを用いたプライマリユーザのセンシングを同時に行うことが可能となる。また、通信を行いながらセンシングが可能となるので、通信のスループットを落とすことなく、常時のセンシングが可能となる。

[0011] 本発明において、第1の送信アンテナとセンシングアンテナとの間の距離は、第2の送信アンテナとセンシングアンテナとの距離よりも大きくすること好ましい。さらに、第1の送信アンテナとセンシングアンテナを、これらの2つのアンテナ間の通信が見通し外通信となる位置関係に設置することが好ましい。また、第2の送信アンテナに、センシングアンテナを向いた指向性を持たせることも好ましい。

[0012] 第1の送信アンテナとセンシングアンテナとの距離を大きくしたり見通し外通信としたりすることで、アンテナ間距離減衰による影響で、センシングアンテナに到達する自己信号強度を小さくすることができる。そして、第2の送信アンテナがセンシングアンテナと近いので、自己信号打ち消し用の無線信号の送信強度を小さくすることができる。これにより、第1の送信アンテナから送信される信号の指向性に与える影響を小さくでき、セカンダリユーザとしての通信に与える悪影響を抑えることができる。また、第2の送信アンテナに指向性を持たせることにより、第1の送信アンテナの指向性に与える悪影響をより小さくすることができる。

[0013] 本発明におけるデジタル信号処理手段は、逐次最小二乗アルゴリズムを用いた最小二乗平均誤差推定により、前記第1の送信アンテナからの送信信号

を抑制する、ことが好ましい。これにより演算量が減るので、乏しい演算資源しか持たない無線通信装置でもリアルタイムのセンシングが可能となる。

[0014] なお、本発明は、上記手段の少なくとも一部を有する無線通信装置として捉えることができる。また、本発明は、上記処理の少なくとも一部を含む無線通信方法またはセンシング方法および、当該方法をコンピュータにおいて実行するためのコンピュータプログラムとして捉えることもできる。上記手段および処理の各々は可能な限り互いに組み合わせて本発明を構成することができる。

### 発明の効果

[0015] 本発明によれば、セカンダリユーザとして通信を行いつつ、プライマリユーザの通信を検出できる。

### 図面の簡単な説明

[0016] [図1]本実施形態にかかる無線通信装置の機能構成を示す図である。  
[図2]キャンセル用信号を用いたセカンダリ信号の抑制処理を説明する図である。  
[図3]チャネル推定によるセカンダリ信号の抑制処理を説明する図である。  
[図4]従来技術にかかるセンシング手法を説明する図である。

### 発明を実施するための形態

[0017] 以下に図面を参照して、この発明の好適な実施の形態を例示的に詳しく説明する。

[0018] <概要>

本発明の実施形態にかかるシステムは、周波数利用のライセンスを得たユーザ（プライマリユーザ）に割り当てられた周波数のうち、プライマリユーザによって使用されていない周波数を利用して通信を行うコグニティブ無線通信システムである。なお、プライマリユーザに割り当てられているが実際には利用されていない周波数のことをホワイトスペースという。本実施形態では、このようなホワイトスペースを用いて通信を行うことで、周波数の利用効率を向上させる。

- [0019] 本明細書では、プライマリユーザによる通信およびセカンダリユーザによる通信のことを、それぞれ、プライマリ通信およびセカンダリ通信と表記する。また、プライマリ通信およびセカンダリ通信における無線信号のことを、それぞれ、プライマリ信号およびセカンダリ信号と表記する。
- [0020] 本実施形態にかかるコグニティブ無線システムを構成するノード（無線通信装置）は、移動可能な無線通信装置である。特に、本実施形態では、車両に搭載された無線通信装置から構成されるコグニティブ無線システムについて説明する。以下では説明の簡略化のために車載通信装置と車両とを区別せずに説明し、例えば、車載通信装置同士が通信することを車両同士が通信するなど記載する。
- [0021] 本実施形態では、車載通信装置がホワイトスペースを利用してセカンダリユーザとして無線通信を行う際に、同時にプライマリユーザによる通信を検出するためのセンシングを行う。これにより、プライマリユーザが通信を開始した場合には、セカンダリユーザとしての通信を即座に中断して、プライマリユーザに対して干渉を与えることを避ける。
- [0022] 本実施形態における無線通信装置は、図1に示すように、3つのアンテナ11, 21, 31を用いて通信を行う。セカンダリ通信用アンテナ11はセカンダリ通信用のアンテナであり、センシング用アンテナ31はプライマリ通信を検出するためのアンテナである。すなわち、セカンダリ通信用アンテナ11を用いて、セカンダリ通信を行うとともに、センシング用アンテナ31を用いてプライマリ通信を検出する。ホワイトスペースを用いた通信の最中にプライマリユーザが出現した場合に、その周波数の利用をやめてプライマリユーザへの干渉を与えないようにするためである。
- [0023] 無線通信装置がセカンダリ通信を行っている場合には、センシング用アンテナ31には、セカンダリ通信の送信信号とプライマリ送信信号が重畳した信号が到来する。センシング用アンテナ31は、プライマリユーザと比較してセカンダリ通信用アンテナ11の近くに配置されているため、センシング用アンテナ31で受信する信号はセカンダリ信号の電力成分が非常に大きく

なる。受信した信号を増幅した場合に、飽和現象による信号増幅の頭打ちが発生して、プライマリ信号を識別できない可能性がある。特に、それほど性能の低いハードウェアを用いた受信器では、プライマリ信号を識別できない。

[0024] セカンダリ通信用アンテナ 1 1 とセンシング用アンテナ 3 1 との間の距離を、数メートル程度離すことで、距離減衰の影響により、センシング用アンテナ 3 1 における自己信号の電力成分を小さくすることが期待できる。これらアンテナ間の距離は、普通自動車であれば 2 メートル程度から 5 メートル程度の距離を置くことが可能である。より大型の車両であれば、アンテナ間距離を長くすることもできる。また、これら 2 つのアンテナ間の通信が見通し外通信となるような位置関係にアンテナを設置すれば、自己信号による影響をより抑圧することができる。

[0025] しかしながら、アンテナ間の距離減衰のみでは、自己信号の影響をなくすることは現実的に不可能である。そこで、アナログ領域とデジタル領域の 2 つの領域で自己信号による影響を軽減するための処理を施す。それにより、セカンダリ通信を行っている最中であっても、自己信号の影響を受けることなくプライマリユーザの検出が可能となる。

[0026] アナログ領域での自己信号抑圧処理としては、図 2 に示すように、キャンセル用アンテナ 2 1 を設け、センシング用アンテナ 3 1 の設置点において自己信号がキャンセルされるようなキャンセル用信号をキャンセル用アンテナ 2 1 から送信する。キャンセル用信号は、センシング用アンテナ 3 1 の設置点において、セカンダリ通信用アンテナ 1 1 から送信される信号と同じ振幅で位相が逆の信号である。このようにすれば、センシング用アンテナ 3 1 における自己信号の影響を軽減することができる。

[0027] キャンセル用アンテナ 2 1 とセンシング用アンテナ 3 1 との間の距離は、セカンダリ通信用アンテナ 1 1 とセンシング用アンテナ 3 1 との間の距離よりも短くすることが好ましい。例えば、キャンセル用アンテナ 2 1 とセンシング用アンテナ 3 1 との間の距離は、数センチメートルから数十センチメー

トルとすることができる。これにより、キャンセル用アンテナ 2 1 から送信するキャンセル用信号の送信強度を低くすることができ、セカンダリ通信用アンテナ 1 1 から送信されるセカンダリ送信信号の指向性を大きく損ねることがない。

[0028] キャンセル用アンテナ 2 1 は、センシング用アンテナ 3 1 の方向を向いた指向性を持たせることも好ましい。このようにすることで、セカンダリ送信信号の指向性に対する悪影響をより一層低減することができる。

[0029] キャンセル用信号を用いて、自己信号による影響を完全に除去することは困難である。そこで、センシング用アンテナ 3 1 から受信した信号に対して、デジタル信号処理を施すことで、自己信号による影響をさらに抑圧する。具体的には、最小二乗平均誤差 (Minimum Mean Square Error: MMSE) 推定により自己信号の推定を行って、重畳信号から自己信号を抑制する。この際、過去の蓄積情報を元に、逐次最小二乗 (Recursive Least Squares: RLS) アルゴリズムを用いることで、逐次処理によりリアルタイムで自己信号を抑制することができる。

[0030] このように、アナログ領域とデジタル領域の 2 つの領域で自己信号抑制処理をすることで、セカンダリ通信を行っている最中にも、センシング用アンテナ 3 1 から受信される信号に基づいてプライマリユーザの検出が行える。

[0031] <装置構成>

図 1 は、本実施形態における無線通信装置 1 の構成を示す図である。無線通信装置 1 は、セカンダリ通信用アンテナ 1 1、セカンダリ送信機 1 2、キャンセル用アンテナ 2 1、キャンセル用送信機 2 2、センシング用アンテナ 3 1、センシング用増幅器 3 2、デジタルキャンセル回路 3 3、プライマリ通信検出器 3 4 を備える。なお、セカンダリ通信用アンテナ 1 1 が第 1 の送信アンテナ、セカンダリ送信機 1 2 が第 1 の送信手段、キャンセル用アンテナ 2 1 が第 2 の送信アンテナ、キャンセル用送信機 2 2 が第 2 の送信手段、センシング用アンテナ 3 1 がセンシングアンテナ、デジタルキャンセル回路 3 3 がデジタル信号処理手段、プライマリ通信検出器 3 4 がセンシング手段

にそれぞれ対応する。

[0032] セカンダリ通信用アンテナ 11 は、セカンダリ通信を行うためのアンテナである。セカンダリ通信用アンテナ 11 を用いて、無線通信装置 1 からセカンダリ通信用の無線信号を送信すると共に、他の無線通信装置からのセカンダリ通信用の無線信号を受信する。セカンダリ通信用アンテナ 11 は、センシング用アンテナ 31 から比較的遠い距離、例えば 2 メートル程度の距離の設置することが好ましい。また、セカンダリ通信用アンテナ 11 とセンシング用アンテナ 31 との間の通信が見通し外通信となるように、これらのアンテナを設置することも好ましい。

[0033] セカンダリ送信機 12 は、情報源から入力される情報に基づいて、セカンダリ通信用アンテナ 11 から送信するセカンダリ通信用の送信信号を生成する機能部である。セカンダリ送信機 12 は、情報源から入力される情報に基づいて生成した送信信号を、キャンセル用送信機 22 およびデジタルキャンセル回路 33 にも出力する。なお、ここでは送信のみに着目しているが、実際にはセカンダリ通信用アンテナ 11 を介して送受信を行うためには、送受信の機能が必要となる。

[0034] キャンセル用アンテナ 21 は、セカンダリ通信用アンテナ 11 から送信される信号が、センシング用アンテナ 31 においてキャンセルされるような信号（キャンセル信号）を送信するためのアンテナである。キャンセル用アンテナ 21 は、センシング用アンテナ 31 と近い距離、例えば 10 センチメートル程度に設置することが好ましい。また、キャンセル用アンテナ 21 は、センシング用アンテナ 31 に向いた指向性を有するようにすることも好ましい。

[0035] キャンセル用送信機 22 は、セカンダリ送信機 12 が生成するセカンダリ通信用の送信信号に基づいて、キャンセル用アンテナ 21 から送信するキャンセル用信号を生成する機能部である。キャンセル用信号は、センシング用アンテナ 31 の設置点において、セカンダリ通信用アンテナ 11 から送信されたセカンダリ信号を打ち消すような無線信号である。3つのアンテナの位

置関係が既知であるので、キャンセル用送信機 2 2 は、セカンダリ送信機 1 2 から得られる送信信号に基づいて、キャンセル用信号を生成することができる。キャンセルの精度を向上させるためには、センシング用アンテナ 3 1 から得られる信号に基づいて、キャンセル信号を生成することも好ましい。

[0036] センシング用アンテナ 3 1 は、プライマリユーザによる通信を検出するためのアンテナである。センシング用増幅器 3 2 は、センシング用アンテナ 3 1 によって受信された無線信号を増幅する機能部である。デジタルキャンセル回路 3 3（デジタル信号処理手段）は、自己信号の推定を行い、センシング用アンテナ 3 1 から受信された信号から自己信号を抑制する処理を施す。キャンセル用信号を用いることで、センシング用アンテナ 3 1 におけるセカンダリ通信の信号（自己信号）は軽減されているものの、その影響を完全になくすことは困難である。そこで、セカンダリ送信機 1 2 から送信信号を取得し、セカンダリ通信用アンテナ 1 1 とセンシング用アンテナ 1 3 との間のチャネル推定を行って自己信号を求め、センシング用アンテナ 3 1 の受信信号から自己信号を除去する。

[0037] 図 3（A）に示すように、センシング用アンテナ 3 1 に到来する重畳信号  $r$  は、次のように表せる。

[数1]

$$\begin{aligned} r &= r_s + r_p + w \\ &= h_s S_s + h_p S_p + w \end{aligned}$$

ここで、 $r_s$  はセカンダリ到来信号（キャンセル済み）、 $r_p$  はプライマリ到来信号、 $S_s$  はセカンダリ送信信号、 $S_p$  はプライマリ送信信号、 $h_s$  はセカンダリ通信用アンテナ 1 1 との間のチャネル係数、 $h_p$  はプライマリユーザとの間のチャネル係数、 $w$  は雑音である。

[0038] プライマリ通信をセンシングするためには、プライマリ到来信号  $r_p$  を正確に検出する必要がある。プライマリ到来信号を強調するためには不要成分であるセカンダリ到来信号  $r_s$  を除去する必要がある。そのために、デジタルキャンセル回路 3 3 では、セカンダリ送信信号に基づいてチャネルを通った信号を

模擬した信号（ $\doteq h_s S_s$ ）を生成して、受信信号から減算する。

[0039] セカンダリ送信信号の推定を行うために、図3（B）に示すような線型システムでモデル化する。ここで入力 $S_s$ はセカンダリ信号であり、出力 $R_s$ はセンシング受信信号であり、伝搬路はセカンダリ通信用アンテナ11とセンシング用アンテナ31の間の自由空間であり、雑音は信号の減衰やフェージング変動である。

[0040] 入出力関係をMMSE規範で書き改めると次のようになる。

[数2]

$$\begin{aligned} R_{s,t} &= z_t^T \theta_t + w_t \\ z_t^T &= [-R_{s,t-1}, \dots, -R_{s,t-n}, S_{s,t-1}, \dots, S_{s,t-n}] \\ \theta_t &= [a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n] \end{aligned}$$

[0041] ここで、 $z_t$ はプライマリ通信が存在しない状態でのセンシング情報と自己信号情報であり、これらの過去情報はデジタルキャンセル回路33内に保持する。

[0042] システムのパラメータを推定するためには、現在の状態と過去から推定した状態の差が最も小さくなるように重み係数 $\theta$ を設計する必要があるが、このままでは計算量が膨大となるため実時間の処理には不向きである。

[0043] そこで、逐次最小二乗アルゴリズムを用いることで、次に示す逐次計算可能な式によってセンシング用アンテナ31に到来する自己信号（セカンダリ到来信号）を推定できる。ここで、 $\rho$ は忘却係数である。

[数3]

$$\begin{aligned} R_{s,N+1} &= h'_{s,N+1} S_{s,N+1} = z_N^T \hat{\theta}_N \\ \hat{\theta}_N &= \hat{\theta}_{N-1} + L_N \varepsilon_N \\ \varepsilon_N &= R_{s,N} - z_N^T \hat{\theta}_{N-1} \\ L_N &= \frac{P_{N-1} Z_N}{\rho_N + z_N^T P_{N-1} z_N} \\ P_N &= \frac{1}{\rho_N} \left[ P_{N-1} - \frac{P_{N-1} Z_N z_N^T P_{N-1}}{\rho_N + z_N^T P_{N-1} z_N} \right] \end{aligned}$$

[0044] このようにしてセンシング用アンテナ31に到来するセカンダリ通信信号

を推定できるので、センシング用アンテナ 31 において受信する信号から推定された信号を除去することで、自己信号の影響を抑制できる。これにより、デジタルキャンセル回路 33 から出力される信号には、プライマリ信号（存在する場合）と雑音のみが含まれるようになる。

[0045] プライマリ通信検出器 34（センシング手段）は、デジタルキャンセル回路 33 から出力される信号に基づいて、プライマリ信号の有無を検出する機能部である。検出アルゴリズムは、例えば、エネルギー検出法を用いることができる。プライマリ通信が既知である場合には、整合フィルタ法や特徴検出法などによってプライマリ通信を検出することもできる。

[0046] 本実施形態において、セカンダリ通信用アンテナ 11 からのセカンダリ通信は、送信停止期間を特に設けることなく常時実施される。セカンダリ通信を常時行っている、自己信号抑制処理によりプライマリ通信の検出は可能である。したがって、本実施形態においては、セカンダリ通信とプライマリ検出とを同時かつ常時行う。プライマリ通信が検出された場合には、セカンダリ送信機 12 は現在の周波数を用いた無線通信を即座に中止する。

[0047] <本実施形態の作用・効果>

本実施形態によれば、アナログ領域とデジタル領域の 2 つの自己信号抑制処理を組み合わせることで、センシング用アンテナにおける自己信号の影響をほぼ完全に除去できる。したがって、セカンダリ通信用アンテナ 11 からセカンダリ信号を送信している場合であっても、センシング用アンテナ 31 を用いてプライマリ通信の検出が可能である。すなわち、図 4 の従来技術に示すような、プライマリ通信検出のための送信停止期間を設けることなくプライマリ通信の検出が可能となる。したがって、セカンダリ通信のスループットの低下を抑制できる。また、プライマリ検出を常時行えるようになるので、プライマリユーザの検出を即座に行えるようになる。

[0048] <変形例>

上記の実施形態の説明では、車両に搭載された無線通信装置により構成されるコグニティブ無線システムを例に挙げた。しかしながら、本発明は、車

載の無線通信装置以外の任意の移動可能な無線通信装置によって構成することができる。移動可能な無線通信装置とは、車両や飛行機、船舶などに備え付けられた無線通信装置や、車両や飛行機、船舶などに持ち込まれそれらの移動に伴って移動する無線通信装置や、人間が持ち運び可能な無線通信装置などが該当する。

[0049] 上記の実施形態の説明では、デジタルキャンセル回路 33 およびプライマリ通信検出器 34 を A S I C 等の専用のハードウェア回路（集積回路）によって実現することを想定している。しかしながら、これらの機能部は C P U（Central Processing Unit）や M P U（Micro Processing Unit）や F G P A（Field-Programmable Gate Array）とプログラムの組合せによってソフトウェア的に実現してもよい。また、これらの両方を組み合わせて上記機能部を実現してもよい。

### 符号の説明

- [0050]
- 1 1 セカンダリ通信用アンテナ
  - 1 2 セカンダリ送信機
  - 2 1 キャンセル用アンテナ
  - 2 2 キャンセル用送信機
  - 3 1 センシング用アンテナ
  - 3 3 デジタルキャンセル回路
  - 3 4 プライマリ通信検出器

## 請求の範囲

- [請求項1]        プライマリユーザによる通信をセンシングするためのセンシングアンテナと、  
                  第1の送信アンテナと、  
                  第2の送信アンテナと、  
                  前記第1の送信アンテナから送信する送信信号を生成する第1の送信手段と、  
                  前記第2の送信アンテナから送信する送信信号であって、前記第1の送信アンテナからの送信信号を前記センシングアンテナにおいて打ち消す送信信号を生成する第2の送信手段と、  
                  前記センシングアンテナの受信信号から、前記第1の送信アンテナからの送信信号を抑制するデジタル信号処理手段と、  
                  前記デジタル信号処理手段によって処理された前記センシングアンテナの受信信号に基づいて、プライマリユーザによる通信を検出するセンシング手段と、  
                  を備える無線通信装置。
- [請求項2]        前記第1の送信アンテナを用いた送信と、前記センシングアンテナを用いたセンシングとを同時に行う、  
                  請求項1に記載の無線通信装置。
- [請求項3]        前記第1の送信アンテナと前記センシングアンテナとの間の距離は、前記第2の送信アンテナと前記センシングアンテナとの間の距離よりも大きい、  
                  請求項1または2に記載の無線通信装置。
- [請求項4]        前記第1の送信アンテナと前記センシングアンテナとは、これら2つのアンテナ間の通信が見通し外通信となる位置関係に設置されている、  
                  請求項1～3のいずれかに記載の無線通信装置。
- [請求項5]        前記デジタル信号処理手段は、逐次最小二乗アルゴリズムを用いた

最小二乗平均誤差推定により、前記第 1 の送信アンテナからの送信信号を抑制する、

請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の無線通信装置。

〔請求項 6〕

セカンダリユーザとしての無線通信を行いながら、プライマリユーザによる通信を検出するための無線通信装置におけるセンシング方法であって、

センシングアンテナを用いて無線信号を受信するステップと、

第 1 の送信アンテナから送信信号を送信するステップと、

前記第 1 の送信アンテナからの送信信号を前記センシングアンテナにおいて打ち消す信号を第 2 の送信アンテナから送信するステップと、

前記センシングアンテナからの受信信号から、前記第 1 の送信アンテナからの送信信号を抑制するステップと、

前記第 1 の送信アンテナからの送信信号が抑制された受信信号に基づいて、プライマリユーザによる通信を検出するステップと、

を含むセンシング方法。

〔請求項 7〕

前記第 1 の送信アンテナを用いた送信と、前記センシングアンテナを用いたセンシングとを同時に行う、

請求項 6 に記載のセンシング方法。

〔請求項 8〕

前記センシングアンテナからの受信信号から、前記第 1 の送信アンテナからの送信信号を抑制するステップでは、逐次最小二乗アルゴリズムを用いた最小二乗平均誤差推定により、前記第 1 の送信アンテナからの送信信号を抑制する、

請求項 6 または 7 に記載のセンシング方法。