

■4群 (モバイル・無線) - 6編 (コグニティブ無線)

1章 概要

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 1-1 背景
- 1-2 定義
- 1-3 ソフトウェア無線との関係
- 1-4 研究開発項目

■4群-6編-1章

1-1 背景

(執筆著：原田博司) [2019年2月 受領]

携帯電話システム、無線 LAN システムの高度化を検討するうえで非常に大きな問題は、ブロードバンド化に伴う周波数不足の問題である。現状では、移動通信に適した周波数、例えば VHF/UHF 帯から 6 GHz 帯までにおいて、今後標準化されていく数百 MHz 以上のブロードバンドワイヤレス通信システムなどを収容していくのに十分な周波数帯域があるとは言えない。この周波数帯域を確保するためには主に 4 つの方法が考えられる¹⁾。

- ① 既存システムに対し周波数の再割り当てを行い、空いた周波数帯を用いてブロードバンド化を行う方法
- ② 既存のシステムに割り当てられた周波数帯に干渉を与えない低い送信電力で重畳伝送して、ブロードバンド化を行う方法
- ③ 既存システムに干渉を与えない周波数帯、既存システムが用いていない周波数帯をセンシング技術により見つけ出し、その見つけ出した周波数帯で新たに通信をすることによりブロードバンド化を行う方法
- ④ 既存システムをセンシング技術により複数見つけ出し、束ねて伝送することによりブロードバンド化を行う方法

このうち図 1・1(a)に示す①は通常の電波行政で行われている方法であるが、周波数の移行を行うのは時間、費用などがかかる問題がある。また、図 1・1(a)に示す②は、UWB (Ultra Wide Band) 通信でその考え方は実現されたが、送信電力が低いため長距離の伝送は困難である。

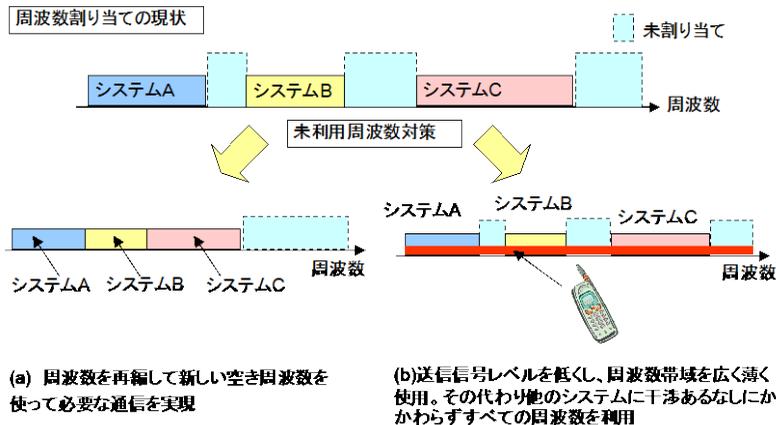


図 1・1 周波数帯域を確保する方法の例

一方、③、④は、図 1・2 の (a)、(b) に示され、既存システムに対して周波数移行を求めておらず非常に効率的であるが、実現するためには、無線機自身が既存システムに干渉を与えない周波数帯、既存システムが用いていない周波数帯もしくは既存システムの存在を観測し、その状況に合わせてユーザが所望の伝送容量を伝送可能な周波数帯を選び出し、情報伝送を行う必要

性がある。この技術がコグニティブ無線技術である。ここでコグニティブ (Cognitive) は認識する、認知するという意味である。また、観測はセンシングと呼ばれることがある。

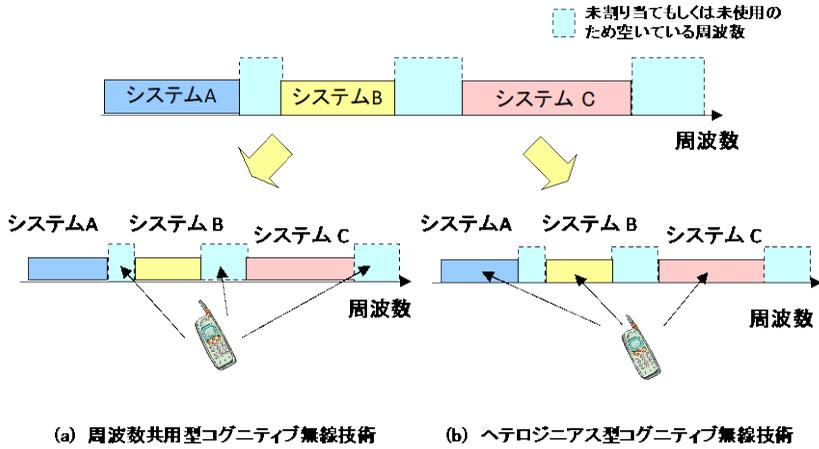


図1・2 コグニティブ無線技術

■4群-6編-1章

1-2 定義

(執筆者：原田博司) [2019年2月 受領]

1-2-1 定義

コグニティブ無線は1999年 J. Mitla 氏によって提案された技術である^{2),3)}。J. Mitla 氏のコグニティブ無線は「無線機外の世界 (Outside World) で観測されるすべての通信に用いることができるパラメータを用いて、その観測結果を学習、状況判断し、ユーザの要求に応じて、自動的に通信パラメータを変更する完全に再構成可能な無線機」を活用する技術であった。この無線技術は観測 (Observe)、状況判断 (Orient)、計画 (Plan)、学習 (Learn)、意思決定 (Decide)、行動 (Act) からなるコグニションサイクル (Cognition Cycle) をベースにしたコグニティブ機能を持つ。この機能を Radio Knowledge Representation Language (RKRL) と呼ぶ言語を用いて記述したソフトウェアを無線機の中に搭載し、無線機に知能を持たせ、更にこの知能による判断結果により無線機の機能を変更するというものである。図 2・1 にこのコグニションサイクルを原著論文を参考に書き直し示している。

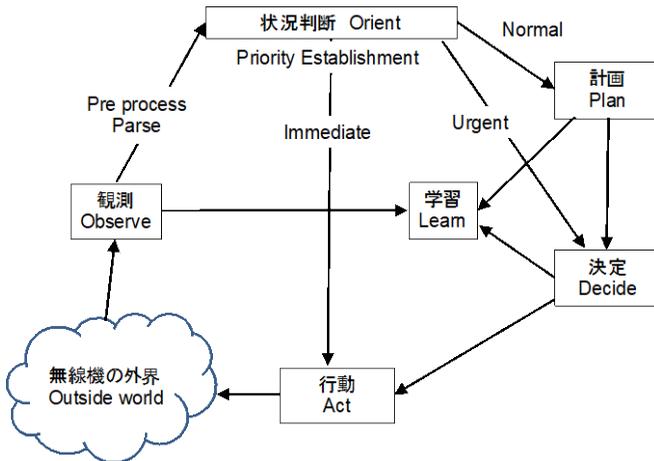


図 2・1 コグニションサイクル

このコグニティブサイクルでは、無線機外の世界で観測した情報をもとに、状況判断を行い、3つの方向性に分類を行う。(1) 即座 (Immediate) に無線パラメータ変更などの行動を行うもの、(2) 判断 (Decision) の課程を経て、速やか (Urgent) に行動を行うもの、(3) 対応方針をいくつか計画し、判断により方針を決定し行動を行うもの (これを Normal と呼ぶ)。ここで、計画した方針、判断によって決定した方針などは、必要に応じて学習される場合がある。

このコグニティブ無線技術が提案された後、様々な言葉の定義の議論が行われた。ITU-R では、コグニティブ無線技術を用いたシステムをコグニティブ無線システムと呼び、システムの観点で定義を行った⁴⁾。その定義は、(1) 電波の利用状況、地理環境の情報、各国の法規性、オ

ペレータなどが持つ通信運用のための方針に代表される各種ポリシー、及び現状のコグニティブ無線システム内の状況などの情報を取得する機能 (Obtaining Knowledge) と、(2) それを所定の目的を達成するために運用パラメータ及びプロトコルを決定し、ダイナミックにかつ自律的に調整する機能 (Decision and Adjustment)、(3) 得られた結果から学習を行う機能 (Learning) という3つの機能から成るシステムというものであった。

このコグニティブ無線システムが定義され、様々な研究開発が行われたが、その研究開発の多くは周波数帯域確保が目的であり、センシングされるパラメータは主に周波数スペクトラムだけが考慮したものが多く、そのセンシング結果に基づき図1・2(a)に示すように既存システム(これを一次利用者と呼ぶ)に干渉を与えない周波数を観測し、その周波数を用いて新たな利用者(これを二次利用者と呼ぶ)が通信利用を行う利用法が多かった。

また、新たな見方として既存システムに干渉を与えない周波数帯を見つけることができれば、既存システム自身も見つけることができるという考えも出てきたため、図1・2(b)に示す既存システムを複数選択し、束ねて伝送することによりブロードバンド化を図ることもコグニティブ無線技術の一つであると認識されはじめた。これは既存システムのマルチモード運用もしくはヘテロジニアス運用である。そして、図1・2(a)の利用方法を周波数共用型コグニティブ無線、図1・2(b)の利用方法をヘテロジニアス型(マルチモード型)コグニティブ無線と呼ばれるようになった⁵⁾。

また、上記のヘテロジニアス型も含めるとコグニティブ無線システムの定義も変更が必要になり「無線機が周囲の電波利用環境をセンシングし、その状況に応じて無線機が適宜学習などを取り入れつつ、ネットワーク側の協力を得ながらシステム内、システム外問わず複数の周波数帯域、タイムスロット、などの無線リソースならびに通信方式を適宜使い分け、ユーザの所望の通信容量を所望の通信品質で周波数の有効利用を図りつつ伝送を行う無線通信技術」と言われるようになった。

1-2-2 周波数共用型コグニティブ無線

周波数共用型コグニティブ無線技術は、無線機が、他システムに割り振られていないもしくは干渉を与えない空き周波数帯、もしくは各システムに割り振られているが利用されていない周波数帯や時間スロットなどの無線リソースをセンシングし、その空き周波数帯/時間を使って利用者の必要とするリソースを確保し、通信を行う技術である。この周波数共用型コグニティブ無線技術は、基地局、端末に導入することができる⁵⁾。

基地局に導入した場合は、基地局自らが、各システムに割り振られていない周波数帯、もしくは各システムに割り振られているが利用されていない周波数を見つけ出し、その周波数を用いて、その基地局が独自の通信システムを実現させる(図2・2(a))。

一方、端末に導入した場合は、端末自らが、各システムに割り振られていない周波数帯、もしくは各システムに割り振られているが利用されていない周波数を見つけ出し、次に、その周波数帯を用いて端末間でアドホック通信を行う(図2・2(b))。

1-2-3 ヘテロジニアス型(マルチモード型)コグニティブ無線

ヘテロジニアス型コグニティブ無線技術においては、無線機が既存の無線通信システムをセンシングし、利用できることが分かれば、必要とする帯域幅を既存システムで確保し、通信を

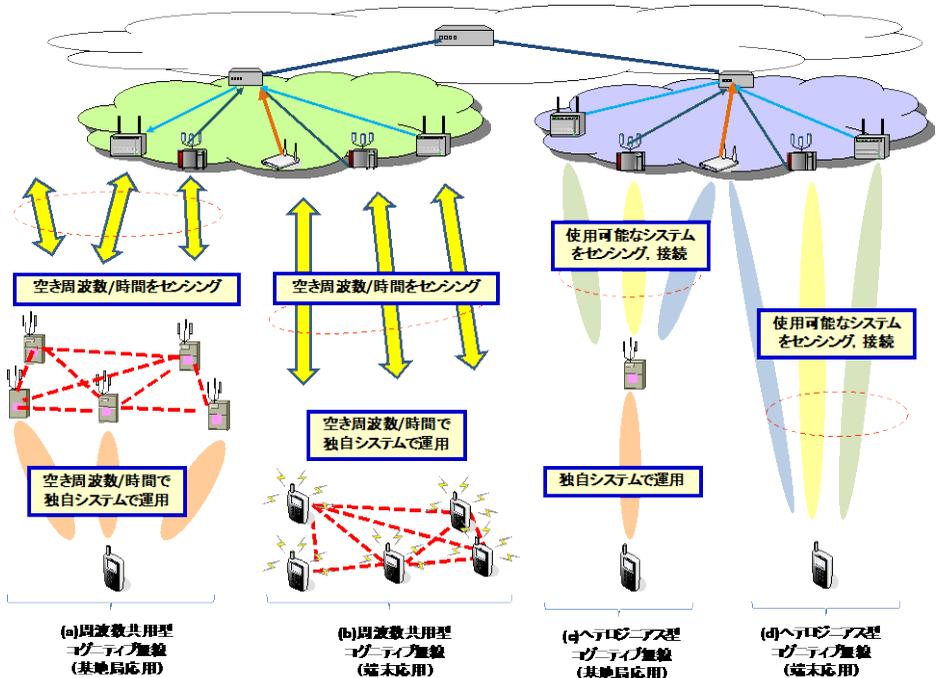


図 2・2 コグニティブ無線技術の基地局，端末応用

行う技術である。マルチモード型コグニティブ無線と呼ばれる場合もある。この技術は、端末と基地局に導入することができる⁹⁾。

端末に導入した場合は、端末自らが、各システムに割り振られている周波数をセンシングし、使用可能な通信システムを一つもしくは複数見つけ出し、利用者の要望に合わせて必要数の無線通信システムを用いて通信を行う (図 2・2(c))。

一方、基地局に導入した場合は、前提として、基地局が、複数の既存無線システムと無線 LAN のようなシステムとブリッジする無線ルータの機能があるものであるとする。そして電波の利用環境に応じて、複数の既存無線システムから適切な通信システムを選択し、そのシステムを介してインターネット接続を行う。更に、利用者側には無線 LAN のシステムを提供し、利用者からは、可搬型の無線 LAN 基地局として見えるようにするものである (図 2・2(d))。

1-2-4 ホワイトスペース無線通信システム

特定の電波利用のために割り当てられているにも関わらず、未使用である周波数をホワイトスペースと呼ぶ。ホワイトスペース無線通信システムは、周波数共用型コグニティブ無線技術を利用した一つのシステムである、このシステムは、他の利用者に干渉を与えず、また自分が他の利用者に干渉を与えない周波数帯を自由に利用できるため、周波数を無駄遣いすることなく、またほかに干渉を与えることなく、新システムの構築ができる。

ホワイトスペース無線通信システムの動作の一例を図 2・3 に示す⁷⁾。この技術は、基本的には既存の事業者が、既存システムに干渉を与えない通信エリア、周波数を特定し、そのエリアにおいて、他のユーザに二次利用を許可するものである。例えば、現状でマクロセルとして利用されている通信エリアにおいても、地理的に干渉を与えない場所においては、ピコセル、フェムトセルを同一周波数で構築し、同一システム、異システム問わずもう少しブロードバンドの通信を行う。図 2・3 においては、一次利用者が利用している周波数帯を 3 つの二次利用者（二次利用無線ネットワーク）が利用することを想定している。そのうち、二次利用者 B1 と B2 は同種の無線アクセス方式を、A と B1、及び A と B2 はそれぞれ異なる無線アクセス方式を用いる。

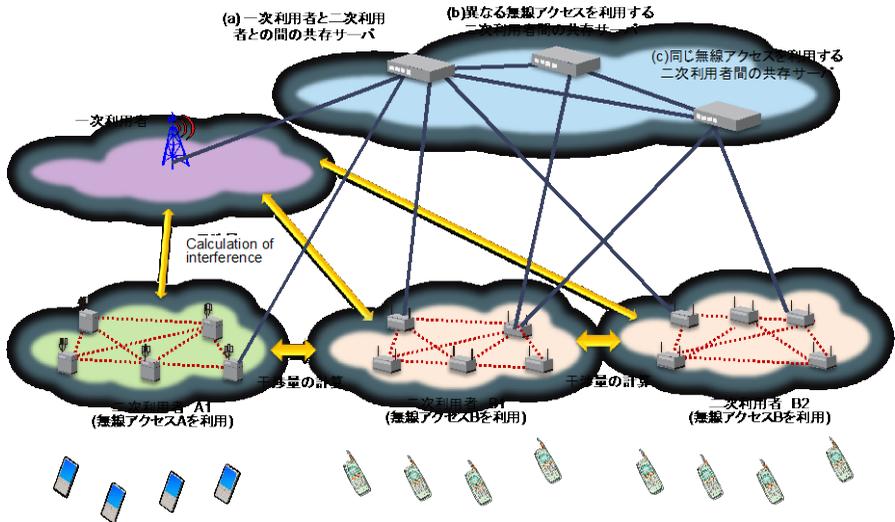


図 2・3 ホワイトスペース無線通信システムの動作の一例

まず、すべての二次利用者は、(a)一次利用者と二次利用者間の共有電波監理/共有サーバ(以下サーバ(a)とする)にアクセスする。このサーバは主に規制当局もしくは規制当局から認可されたものが運営している。サーバ内にはデータベースがあり、一次利用者の位置、無線局の情報(出力に代表される無線パラメータ)、アンテナに関する情報(高さ、利得、方向など)の情報が格納されている。このサーバに対し、二次利用者は自身の無線局の情報、位置、アンテナの情報などを入力する。

次に、このサーバ(a)は、この一次利用者の情報と二次利用者の情報をもとに、一次利用者の位置、無線機、アンテナから想定される通信/放送エリアから二次利用者の通信エリアに対する干渉量、及び二次利用者の位置、無線機、アンテナから想定される通信エリア(電波の送出エリア)から、一次利用者の通信/放送エリアに対する干渉量を計算し、この干渉量がともにあらかじめ設定された値以下であれば二次利用者の通信を許可する。この干渉量の計算は、二次利用者が一次利用者に与える干渉(与干渉)だけでなく一次利用者が二次利用者に与える干渉(被干渉)も計算される。

この手順により、一次利用者と二次利用者との間の干渉は許容値以下になるが、二次利用者間は干渉を引き起こす可能性がある。そこで、更に同図(b),(c)で記載した2種類の二次利用者間電波監理/共存サーバを用いて二次利用者間で干渉が起きないように周波数の監理を行う。(b)と(c)の違いは、(b)は異種アクセス方式を用いた二次利用者間の電波監理/共存を検討するサーバであり、(c)は同種アクセス方式を用いた二次利用者間の電波監理/共存を検討するサーバである。(c)は必要に応じて設置され、すべての二次利用者が(c)を介さず直接(b)に接続されることもある。

(b)及び(c)の基本動作はほぼ同じである。各サーバは、二次利用者から、自身の位置、無線機の情報、アンテナに関する情報を得、これをもとに、各二次利用者の通信エリアを算出する。そして、二次利用者間の干渉量を計算し、この干渉量がともにあらかじめ設定された値以下であれば二次利用者の通信を許可し、設定された値以上であれば、干渉を減らすための方策(周波数の変更、出力の低減など)をそれぞれの利用者に必要に応じて提案する(単に共存不可という場合もある)。

このホワイトスペース無線通信システムの利用モデル(Usage Model: UM)は表2・1に示すように主に7つに分類される¹⁾⁹⁾。

- ① 地域/メトロポリタン系ブロードバンドシステム (Rural/Metropolitan Area connectivity)
- ② ユーティリティグリッドネットワーク (Utility Grid Network)
- ③ 物流系ユーザ用ネットワーク (Logistic Network)
- ④ 移動体ネットワーク (Mobile Connectivity)
- ⑤ 高速移動体ネットワーク (High Speed Vehicle Broadband Access)
- ⑥ オフィス/家庭ネットワーク (Office/Home network)
- ⑦ 公共安心安全ユーザ用ネットワーク (Emergency and Public safety)

表2・1 ホワイトスペース無線通信システムの利用モデル

UM	内容	通信速度	通信エリア	モビリティ
UM1	地域/メトロポリタン系ブロードバンドシステム	数 Mbps以上	数10km	固定, 180km/h以下
UM2	ユーティリティグリッドネットワーク	数 kbps以上	数km	固定
UM3	物流系ユーザ用ネットワーク	数 Mbps以上	数10km	固定, 180km/h以下
UM4	移動体ネットワーク	数 10Mbps以上	数km	180km/h以下
UM5	高速移動体ネットワーク	数 10Mbps以上	数km	180km/h以上
UM6	オフィス/家庭ネットワーク	数 100Mbps以上	数10m	Fixed, ~180km/h
UM7	公共安心安全ユーザ用ネットワーク	数 Mbps以上	数10km	Fixed, ~180km/h

また、同表には各利用モデルで想定するデータ速度、範囲、データ誤り率、移動特性も示している。①は基幹系の固定無線通信としてこのホワイトスペース通信を用いる形態である。②はセンサネットワーク、電気、ガスメータに対するデータ収集、制御を行う形態である。③は物流系などのシステムに対して、基幹網と移動網にホワイトスペース通信を利用する場合であ

トワーク上には、CNM (Cognitive Network Manager) という周波数割り当てなど無線リソースの割り当て、ネットワークの再構築などを管理する機能が具備されたサーバを設置する。このサーバは、集中制御でも分散制御でもよい。まず、無線機器は、自身のCTMにより電波の利用環境をセンシングする。そして、その結果をネットワーク状のCNMが搭載されたサーバに伝送する。各サーバ内のCNMでは、各無線機から集められた情報をもとに状況判断、整理し、ユーザの位置に応じて利用すべき適切な周波数や通信システムのポリシーを学習により決定する。そして、無線機側のCTMに対してそのポリシーを伝える。無線機側のCTMは最終的にこの送信された情報をもとに利用する無線パラメータを決定し無線通信を行う。クラウドネットワークを用いることにより、システム全体で干渉が把握、回避でき、ネットワーク全体で周波数、時間利用効率の高い通信を実現することができる。

■4群-6編-1章

1-3 ソフトウェア無線との関係

(執筆者：原田博司) [2019年2月 受領]

コグニティブ無線技術自身は、観測、状況判断、計画、学習、意思決定の機能、いわゆる知能を無線機に持たせて電波の利用環境に応じて適切な通信を行う無線機である。したがって、この知能の部分がソフトウェアを無線機に搭載できればよく、基本的には、コグニティブ無線技術を実現する無線機は、対応する周波数帯に対応した無線機を複数ならべることにより実現することもできる。

また、無線の高周波部分をデジタル信号処理プロセッサからの信号により、自由に変更できるように汎用化させ、更に、各種無線通信システムを実現する機能をデジタル信号処理用のソフトウェアで記述し、1台の無線機で複数の無線通信システムをソフトウェアの変更だけで何種類でも実現するソフトウェア無線技術を用いることにより、コグニティブ無線技術用無線機を非常に効率的に実現することができる。ただ、コグニティブ無線技術=ソフトウェア無線技術ではなく、また、ソフトウェア無線技術がコグニティブ無線技術のために絶対必要性のあるシステムではない。

しかし、J.Mitraの最初の提案^{2),3)}では、ソフトウェア無線の進化形態として、コグニティブ無線の提案がされている。ソフトウェア無線技術を利用することができることにより、対応システムの追加、削除に対して柔軟に対応でき、更に、基地局が知りたいユーザ無線機からの情報をソフトウェアの軽微な変更を行うことにより自由に取得することができる。更に、必要な通信エリアに必要な通信システムを場合によっては有線ネットワークなどを介して供給することができ、不要な電波の送出を押さえることができる。

■4群-6編-1章

1-4 研究開発項目

(執筆者：原田博司) [2019年2月 受領]

1-4-1 無線機ハードウェア

コグニティブ無線技術実現のうえで必要となる無線機ハードウェアに関しては、大きく分けて2つの部分についての検討が必要になる。一つは高周波部 (RF フロントエンド部, RF unit : RFU), もう一つはデジタル信号処理部 (Digital Signal Processing Unit : SPU) である。高周波部に関しては、図 4・1 に示すように、対象とする無線周波数帯に存在する無線通信システムに対して、センシングし、結果に従って送受信するために送信側では以下の研究開発が必要になる¹⁾。

- a) マルチバンドアンテナ
 - b) 送信側広帯域 (直交) 変調器
 - c) 利得可変広帯域増幅器
 - d) 高周波帯チューナブル (もしくはバンド可変) 送信フィルタ
- 一方、受信側では以下の研究開発が必要になる。
- a) マルチバンドアンテナ
 - b) 高周波帯チューナブル (もしくはバンド可変) 受信フィルタ
 - c) 広帯域高飽和電力利得可変低雑音増幅器
 - d) 広帯域受信用 (ダイレクトコンバージョン) (直交) ミキサ
 - e) 低周波帯チューナブル (もしくはバンド可変) 受信フィルタ

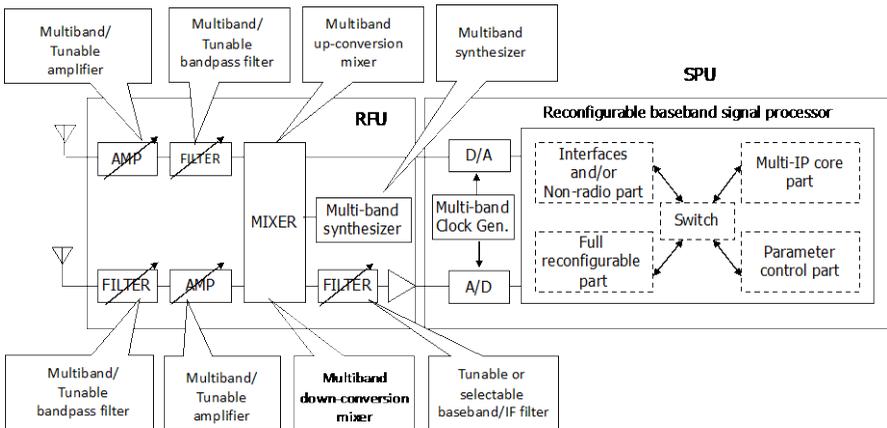


図 4・1 コグニティブ無線機実現のための研究課題

この際、各デバイスに要求されることとして、コグニティブ無線技術を利用しようとする周波数 (例えば移動通信に適した VUHF から 6 GHz 帯) 帯すべてに対応できる超広帯域なデバ

イスのみならず、ある選択された周波数帯を中心に数 10 から数 100 MHz 程度の範囲内で帯域内に存在する各通信システムの規格に合致した送受信デバイスの検討も必要になる。また、すべての帯域を一つのデバイスでまかなう必要性は必ずしもなく、複数デバイスの融合も可能性としてはありうる。

一方、デジタル信号処理部においては、以下の研究開発が必要になる。

- a) 広帯域、高分解能、低消費電力 AD/DA 変換器
- b) 低消費電力型リコンフィギュラブルデバイス
- c) 低消費電力型信号処理プロセッサ

なお、現状の通信システムの帯域幅が 100 MHz 以上のものが多くなってきたため、この帯域幅に対応できる信号処理速度である必要性がある。

1-4-2 無線機ソフトウェア

コグニティブ無線技術を実現するソフトウェアとしては以下のものが必要となり、必要に応じて開発する必要性がある¹⁾。

- a) 通信環境センシング・認識ソフトウェア：ユーザが無線端末を操作しなくても、無線端末自身が自動的に周囲の電波利用環境（周波数の混雑状況、使われている伝送方式など）を把握。
- b) 通信方式決定ソフトウェア：無線端末が周囲の電波利用環境を把握したうえで、その環境下で最適な通信パラメータ（変調方式、伝送速度、電力など）を自律的に選択し、無線機を制御。既存システムに対して、突然干渉を与える可能性もあるため、干渉を与えると判断された場合は迅速に無線通信パラメータを変更（場合によっては停止）。
- c) 高能率伝送ソフトウェア：情報量、回線状況などに応じて複数の周波数帯、変調方式などを組み合わせるなどして高能率な伝送を実現。
- d) 空間分割多重通信ソフトウェア：アンテナの指向性もしくは複数のアンテナに対する入力データに工夫を凝らし、既存の無線局が使用している電波を柔軟に避け、ユーザに対して空間を適切に分割することにより、同一周波数を異なる空間パスを利用しながら単一ユーザの容量増大のみならず複数ユーザ間で共用。
- e) 干渉回避用ソフトウェア：不要電波を抑圧することにより隣接した周波数帯におけるシステム間の干渉を避けるなど複数システム間の干渉を回避。

更に、コグニティブ無線技術を用いた基地局を開発する場合は、上記の技術に加え以下の技術について検討を行う必要性がある。

- a) 無線リソース割り当て技術：ユーザの要求、他ユーザの通信状況などをもとに複数の基地局間で無線リソースを予約し、ユーザ無線局へ最適な無線リソースを割り当てる技術。
- b) 無線通信経路制御技術：コグニティブ無線技術により提供される複数無線通信経路を柔軟に使用し、高能率なエンド・エンドの通信パスを確立するためのネットワーク制御技術、ならびに信頼性確保や優先制御などを実現する無線品質管理技術。

1-4-3 通信方式に関する検討項目

無線機自身が既存システムに干渉を与えない周波数、既存システムが用いていない周波数をセンシングし、新たな無線通信システムを行う場合、その通信方式について検討を行う必要性

がある。その通信方式は以下の項目を考慮する必要がある。

- ① センシングによって見つけ出された周波数は、必ずしも多いわけではないので、限られた周波数帯域で運用するために帯域外輻射電力はできるだけ低い物理層伝送方式が必要になる。
- ② センシングによって見つけ出された周波数は、連続したものであるとは限らず、複数の周波数に離散的に分散している可能性があるため、この離散帯域を有効に使うことができる物理層伝送方式が必要になる。
- ③ センシングによって見つけ出された周波数は、ある特定の時間のみ利用可能性がある場合があるので、その時間において通信が可能な通信プロトコルが必要になる。

1-4-4 ホワイトスペース通信システム実現上での検討項目

ホワイトスペース無線通信システムを実現するためには、以下の4つの項目について検討をする必要がある¹⁰⁾。

- (1) 一次利用システムが、二次利用システムを用いているユーザの位置で運用されていないことを示すための方法。
- (2) 二次利用システムから一次利用システムへの与干渉レベルの計算方法、二次利用システムが利用すべき無線パラメータの通知方法、与干渉レベルの制御方法。
- (3) 二次利用システムの隣接チャンネルに干渉を与えないスペクトルマスク。
- (4) 二次利用システム間の共存方法。

(1)に関しては、二次利用システムは、自身が運用しようとする位置において一次利用システムが運用されていないことを示す必要があることから必要となる技術課題である。この課題を解決するためには、二次利用システムを運用する無線機に対し、一次利用システムを検出するセンシング機能を具備させるか、ネットワーク上のサーバ上にあるデータベースに、一次利用システムのスペクトルマップを用意し、二次利用システムにそのデータベースにアクセスさせるなど、電波の利用状況の管理技術を検討する必要がある。

(2)に関しては、(1)において、二次利用システムが運用しようとする位置において一次利用システムが運用されていないということが認識できた場合においても、二次利用システムの出力電力、指向性によって、一次利用システムに干渉を与える可能性がある。二次利用システムの与干渉レベル（一次利用者の被干渉レベル）を二次利用システムの申請に合わせ計算し、二次利用システムに利用可能である無線パラメータ（周波数、送信電力など）を通知する方法、また必要に応じてその与干渉レベルを制御する方法を検討する必要がある。

(3)に関しては、二次利用システムが利用する周波数、送信電力によっては隣接チャンネルに干渉を与える可能性がある。そこで二次利用システムのスペクトルマスクを、二次利用システムの申請に合わせ、計算し、二次利用システムに利用可能である無線パラメータ（周波数、送信電力など）を通知する方法、また必要に応じてその隣接チャンネル漏洩電力を制御する方法を検討する必要がある。

(4)に関しては、仮に(1)から(3)で二次利用システムが一次利用システムに干渉を与えないとしても、次は二次利用システム間で干渉を与える可能性がある。そこで、二次利用システム間の共存方法について検討をする必要がある。

上記のホワイトスペース通信システムを実現上の検討課題は、機器開発のベンダ間での調整

では、利用者間で干渉が発生した場合、大きなシステムの運用上の問題が生じる場合がある。そこで、検討結果を法制度化並びに標準化を行う必要性がある^{10),11),12)}。

■参考文献

- 1) 原田博司：“コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討,” 信学技報, vol.105 no.36, SR, pp.117-124, 2005.5.
- 2) J. Mittra III：“Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications,” MoMuC'99, p.3-10, Nov. 1999.
- 3) J. Mittra III and G.G. Maguire, Jr.,：“Cognitive Radio: Making software radios more personal,” IEEE Personal Communications, vol.6, no.4, pp.13-18, Aug. 1999.
- 4) “Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS),” Report ITU-R SM.2152, Sept. 2009.
- 5) H. Harada, et al.：“Research and Development on Heterogeneous Type and Spectrum Sharing Type Cognitive Radio Systems,” CROWCOM 2009, Jun. 2009.
- 6) H. Harada, et al.：“Research, Development, and Standards Related Activities on Dynamic Spectrum Access and Cognitive Radio,” IEEE DySPAN 2010, pp.1-12, Apr. 2010.
- 7) 原田博司, 他：“次世代移動通信システムにおけるワイヤレスクラウドを用いたダイナミックスペクトルアクセスに関する研究開発,” 信学技報, vol.113, no.400, SR2013-95, pp.109-116, 2014.1.
- 8) 原田博司, 石津健太郎, 村上 蒼：“コグニティブ無線を利用した通信システムに関する基礎検討,” 信学技報, vol.111, no.261, SR2011-76, pp.199-206, 2011.10.
- 9) H. Harada, et al.：“A Software Defined Cognitive Radio System: Cognitive Wireless Cloud,” IEEE Globecom 2007, pp.294-299, Nov. 2007.
- 10) 原田博司：“ホワイトスペースにおけるワイヤレス通信の実現可能性, 課題,” 信学技報, vol.113, no.57, SR2013-4, pp.19-25, 2013.5.
- 11) 原田博司：“海外における TV ホワイトスペース利用システムにおける検討状況,” 信学技報, vol.111, no.452, SR2011-108, pp.25-32, 2012.3.
- 12) 高田潤一：“日本における TV ホワイトスペースの利用の動向,” 電子情報通信学会誌, vol.96, no.2, pp.111-116, 2013.2.