

# 単一RF回路によるマルチモード受信技術 —イメージ干渉を抑圧するヘテロダイン受信—

移動端末には、付加的な機能も含めてさまざまな無線機能の搭載が求められるようになってきた。複数の無線システムの信号を受信可能なマルチモード受信機の実現に向けて、無線部ハードウェア共通化の課題に関する研究を行った。なお、本研究は京都大学大学院 情報学研究科 森広研究室（田野 哲助教授）との共同研究により実施した。

ふるの たつお まとぼ なおと よしの ひとし  
古野 辰男 的場 直人 吉野 仁

## 1. まえがき

移動端末には、小型化が求められると同時に、複数の無線機能を搭載することが求められている。例えば、FOMA端末にはW-CDMA方式の基本通信機能に加えて、2006年8月よりサービスを開始した高速データ通信方式HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)\*1にも対応した通信機能の搭載が求められるようになる。今後はSuper 3Gなどのさらに高速な通信方式も検討されており、新たな通信システムの開発のたびに新たな無線機能の追加が必要となる。また、ワンセグTV放送受信、GPS (Global Positioning System) 測位、無線LANなどの付加的な無線機能についても移動端末への搭載が求められており、それぞれの無線機能に対応する複数の周波数の無線信号を受信する機能が必要とされる。

従来、複数の無線システムに対応する無線機、すなわちマルチモード無線機は、それぞれのシステム用に開発された無線回路をそれぞれ小型化し組み合わせることで実現されてきた。しかし、この方法では対応可能な無線システムの数が限られるとともに、無線機の小型化までに長い開発期間がかかるため、新しいシステムに対応したマルチモー

ド端末をタイムリーに製品化できないという問題があった。

マルチモード無線機を実現する経済的なメリットが最も大きいと想定されるケースは、例えば第3世代移動通信システム (FOMA) から第4世代への移行時のような場合である。新システムを導入する場合、既存システムと同等のエリアカバー率を実現されるまでは普及が難しいが、新システムの導入当初から新旧両システムに対応可能なマルチモード端末が発売できれば、新システムの普及がより加速できる。

新しいシステムにも迅速に対応可能なマルチモード端末を実現するためには、ソフトウェア無線[1]技術のように、無線通信機能をソフトウェアの入替えによって実現する方法が考えられる。しかし、現在のところ無線部を含めてすべての処理をデジタル化 (ソフトウェア処理化) することは難しく、特にアナログ回路で構成される高周波無線部が技術的な壁となっている。

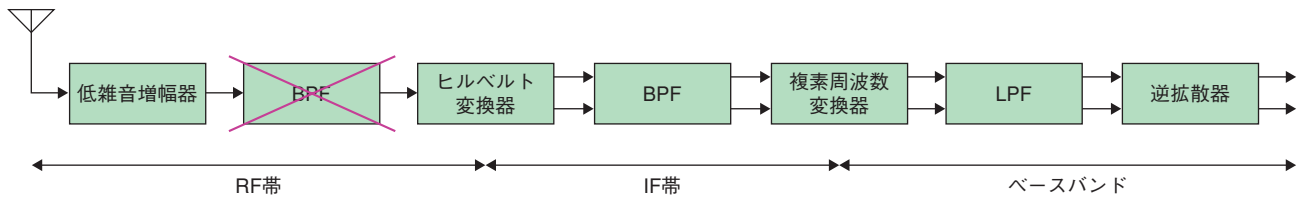
本稿では、マルチモード端末を実現するための基礎検討として、アナログ高周波無線部を複数システムの信号受信に対して共通化する構成について検討した結果を解説する。特に、ヘテロダイン方式によるマルチモード受信機を実現する際に発生するイメージ信号干渉の抑圧方法を中心に、提案方式とその効果について述べる。

なお、本研究はアナログ無線周波数 (RF: Radio Frequency) 部を含めたハードウェア構成に関する検討であり、ブレイクスルー技術を得るためには基本的原理に立ち返った理論検討が重要であるとの観点から、この分野で優れた技術力を有する京都大学・田野助教授と共同で研究を行った。

## 2. マルチモード受信機の構成

マルチモード受信機を実現するための従来の受信機構成

\*1 HSDPA: W-CDMA方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式。3GPP規格上の下り伝送速度は、最大約14Mbit/sである。移動端末の電波受信状況に応じて、変調方式と符号化率を最適化する。



LPF (Low Pass Filter)：低域通過フィルタ。

複素周波数変換器：無線信号を構成する2つの成分（同相成分，直交成分）を複素数の実数部，虚数部に見立て，それぞれの成分ごとに周波数変換を行う変換器。

図1 従来のヘテロダインマルチモード受信機の構成

としては，大別して「ダイレクトコンバージョン方式」と「ヘテロダイン方式」がある。ダイレクトコンバージョン方式とは，受信信号をベースバンド<sup>\*2</sup>に直接変換する方式であり，ヘテロダイン方式とは受信信号をいったん中間周波数 (IF: Intermediate Frequency) 帯に変換し，再度ベースバンドの信号に周波数変換を行う方式である。

ヘテロダイン方式は，ダイレクトコンバージョン方式に比べてIF帯の処理が必要となるため構成が複雑となるが，ダイレクトコンバージョン方式で問題となる直流オフセット<sup>\*3</sup>や1/f雑音<sup>\*4</sup>による受信特性の劣化を受けにくいという利点がある。

以下では，さまざまな変調方式や帯域幅の無線信号を受信した場合にも安定的に良好な受信性能が期待できるヘテロダイン方式をマルチモード受信機に適用した場合の課題について述べる。

### 3. ヘテロダインマルチモード受信の課題

#### 3.1 ヘテロダインマルチモード受信機構成

従来のヘテロダインマルチモード受信機の構成を図1に示す。また，同図で適用するヒルベルト変換器<sup>\*5</sup>の構成例を図2に示す。マルチモード受信を考えた場合，RF帯で帯域通過フィルタ (BPF: Band Pass Filter) を用いると受信可能な周波数帯域が制限されてしまうことから，RF帯のBPFを取り除いた構成となっている。ただし，この構成では以下に示すイメージ信号が干渉として所望信号に重なる場合があり，受信特性が大きく劣化し問題となる。

#### 3.2 イメージ信号

イメージ信号と所望信号の関係を図3に示す。ヘテロダ

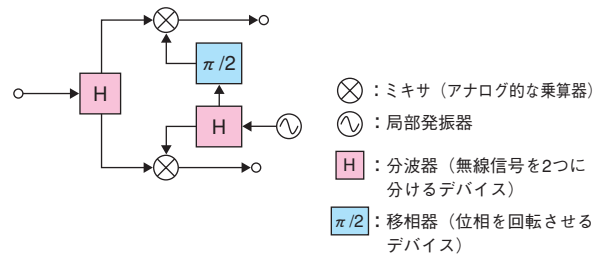


図2 ヒルベルト変換器の構成例

イン構成でRF帯のBPFを取り除いた場合，図3に示すように，周波数軸上で局部発振周波数<sup>\*6</sup>に対して所望周波数の反対の周波数成分（イメージ周波数）を持つ信号も同様にIF帯の信号に周波数変換される。これが干渉信号として，受信機の性能を劣化させる。この信号をイメージ信号と呼ぶ。イメージ信号は異なる無線システムからの受信信号である可能性があり，またイメージ信号の送信点が所望信号の送信点より受信機に近いケースなどが考えられるため，

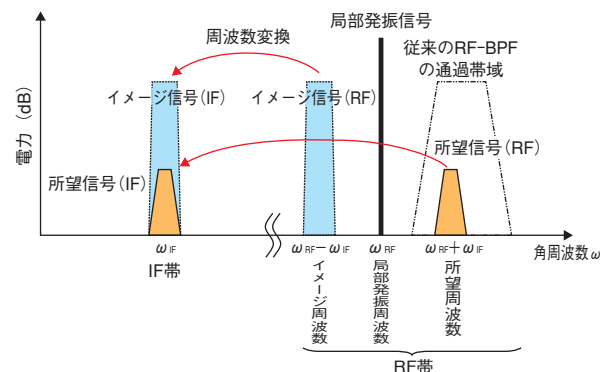


図3 イメージ信号と所望信号の関係

\* 2 ベースバンド：通信における，変調前または復調後の情報信号の帯域のこと（変調する前の一番基になる情報信号や，受信側で最後に復調して取り出した信号を指す）。普通は低い周波数帯である。

\* 3 直流オフセット：ダイレクトコンバージョン方式の場合，局部発振周波数（\*6参照）と受信信号の中心周波数が同じため，差の周波数成分がゼロ（直流）となる。局部発振信号が受信信号に回り込んだときに大き

な直流成分が生じる。直流オフセットとは直流成分が加わったことにより平均値がずれることを指す。

\* 4 1/f雑音：広帯域の信号をベースバンドで増幅するときに発生する，周波数に逆比例する特性を持つ成分。

\* 5 ヒルベルト変換器：信号の位相を90°回転させる操作に相当する変換を行う装置。

イメージ信号が所望信号より数十dB大きい場合も想定される。したがって、このような大きな干渉を除去する技術が必要となる。

### 3.3 イメージ干渉除去

図1に示す従来のヘテロダインマルチモード受信機の構成では、RF帯の信号をIF帯の信号に周波数変換する際にアナログ回路で構成されたヒルベルト変換を適用する。アナログ回路で構成されたヒルベルト変換器が理想的に動作すれば、RF帯において受信信号は解析的な信号（複素数で表現された信号）に変換されるため、理論的にはイメージ信号を完全に除去することが可能である[2]。ただし、ヒルベルト変換部はアナログデバイスで実現されるため、使用するアナログデバイスの個体差により、実際には振幅や位相の理論値からのずれ（不完全性）が生じ、理論的には完全に除去できるはずのイメージ信号を完全に除去することができないという問題があった。

## 4. 提案するイメージ干渉抑圧法

### 4.1 定包絡線イメージバンド干渉キャンセラCMIC

図1に示す構成の受信機でヒルベルト変換器の不完全性を補償することができれば、イメージ信号干渉を抑圧することが可能となる。ヒルベルト変換器の不完全性の補償は、変換後の複素信号の実数部と虚数部にそれぞれ係数を乗算し、理想的な変換からの振幅と位相のずれを補償するように係数を操作することにより行われる。この係数を補償係数と呼び、補償係数の決定法がイメージ干渉除去特性を左右する。この補償係数を推定する方法として、適応アルゴリズムを用いる方法が知られている[3]。しかし、伝送路状況によっては、イメージ信号は所望信号よりも数十dBも大きい場合があり得る。このような状況では、一般の適応アルゴリズムが必要とするトレーニング信号<sup>\*7</sup>を適用することができない。そこで、トレーニング信号を必要としない動作を可能とするアルゴリズムとして包絡線<sup>\*8</sup>一定の規範を適用したイメージ干渉抑圧方法を提案する。この方法をCMIC (Constant Modulus Imageband Canceller) と呼ぶ。

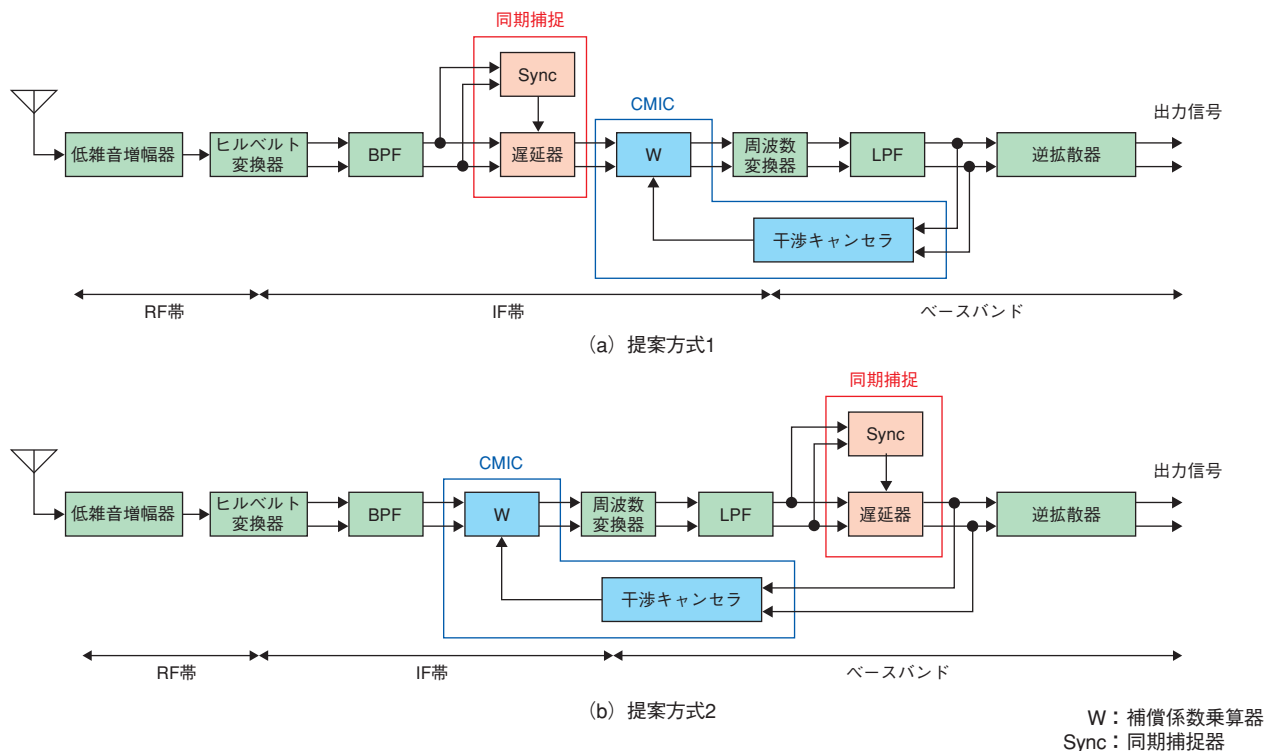


図4 提案するマルチモード受信機の構成

\*6 局部発振周波数：周波数変換は、局部発振器からの正弦波信号と受信信号のアナログ的な乗算により、2つの信号の和と差の周波数成分を作り出し、差の成分のみを取り出すことによって行われる。この際に用いられる局部発振器の発信周波数のこと。

\*7 トレーニング信号：途中の伝送路で信号に加わった変化を受信側で検出するために、既知のパターンが付加された信号。

\*8 包絡線：高周波無線信号の振幅変動を表す曲線。

CMICでは、包絡線変動の最小化という規範に基づき、ヒルベルト変換の不完全性を補償するための補償係数を決定する。

## 4.2 イメージ干渉存在下での同期捕捉

マルチモード受信機をスペクトラム拡散通信に適用する場合、受信信号に含まれている拡散符号系列と逆拡散<sup>\*9</sup>で用いる拡散符号系列の同期が取れていなければ正しい逆拡散の結果は得られないため、受信信号を利用して同期を捕捉する必要がある。包絡線一定の規範を適用したCMICでは、CMICを適用する前に正確な同期捕捉が行えれば理論上限の特性を達成することが可能になる。イメージ干渉抑圧を行う前に同期捕捉を行う受信機構成（提案方式1）を図4(a)に示す。ところが実際には、イメージ干渉が所望信号に比べて大きい場合、同期捕捉さえもできない状況になる場合がある。ここでCMICによるイメージ干渉抑圧と同期捕捉を組み合わせることで、干渉抑圧を効果的にできることが明らかとなった[4]。提案する受信機構成（提案方式2）を図4(b)に示す。

受信のビット誤り率（BER：Bit Error Rate）特性を図5に示す。従来方式（図1）はイメージ干渉信号が存在する場合には受信がほぼ不可能であったが、提案方式1によりイメージ干渉が小さい場合には受信可能となり、さらに提案方式2により所望信号よりもイメージ信号が60dB以上大きいという劣悪な条件においても良好な受信特性が得られていることが分かる[5]。

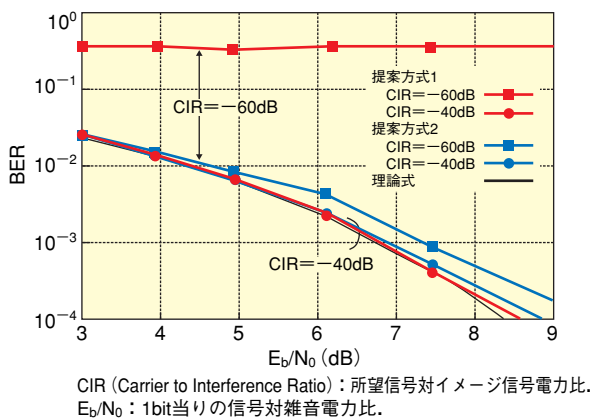


図5 提案方式によるBER特性

## 5. あとがき

マルチモード受信機の実現に向けた基礎研究として、アナログ無線部を共通化する場合にヘテロダイン方式で発生するイメージ信号干渉の抑圧方法について検討を行った。ヒルベルト変換を用いて干渉抑圧を行う方法において、変換の不完全性を補償することにより干渉抑圧効果を高めるCMICを提案し、さらに同期捕捉との組合せにより効果的な干渉抑圧が可能であることを示した。今後はフェージング環境での特性確認およびマルチキャリア伝送に対する適用性の検討を行う。

### 文献

- [1] J. Mitra: "Technical Challenges in the Globalization of Software Radio," IEEE Communication Magazine, pp.84-89, 1999.
- [2] 古川 智也, 田野 哲, 森広 芳照: "イメージ干渉抑圧と同期捕捉を同時に行うマルチモード受信機," 信学技報RCS2005-24, pp.47-52.
- [3] S. Denno: "Adaptive image-band interference canceller based on CM (constant modulus) criteria for multimode receivers," IEEE VTC'04-Spring, 2004.
- [4] 古川 智也, 田野 哲, 森広 芳照: "ヘテロダインマルチモード受信における同期捕捉特性の改善," 信学技報RCS2005-171, pp.95-100.
- [5] T.Furukawa, S.Denno and Y. Morihiro: "Code synchronization for an adaptive image-band interference canceller in heterodyne multimode receivers," WPMC'06.

\* 9 逆拡散：スペクトラム拡散通信方式において、送信側で用いた拡散符号と同じ符号を用いて受信信号から情報信号を取り出す操作。