

ワイヤレスLAN用 モデムICのシステム設計

—— 直交変調器の不完全さを
ベースバンド回路で補正

ルーウィ ヴアレニャ

ここでは、IEEE 802.11g ワイヤレスLAN用モデムICの開発プロジェクトを想定しながら、RF回路とベースバンド回路から成るシステムの設計手法を紹介する。具体的には、「RF・ベースバンド協調設計」の考えかたに基づいて、直交変調器のシミュレーションを実施する。RF・ベースバンド協調設計とは、例えばベースバンド部で補正アルゴリズムを実行し、その計算結果をもとにRF部の特性を制御するといった方法である。

(編集部)

消費者が通信機能を備える携帯機器(携帯電話やPDAなど)に要求する特徴は、「安く」、「小さく」、「軽く」、「消費電力が少なく(稼働時間が長く)」です。ほとんどの項目は、使用するLSIの製造プロセスの微細化や部品点数の削減によって実現できます。

価格に大きな影響を与える項目の一つに開発費があります。一般に、time-to-market(開発開始から出荷までの期間)が短ければ短いほど価格を抑えることができ、場合によってはマーケットを支配することさえできます。開発費を削減する手段の一つは「設計自動化」です。通信機能を備える携帯機器には、必ず「デジタル部」と「アナログ・RF(radio frequency; 高周波アナログ)部」が混在しています。デジタル設計の自動化はどんどん進んでいますが、残念ながらアナログ・RF設計の自動化はあまり進歩していません¹⁾。

デジタル設計と比べると、アナログ・RF設計には決定すべきパラメータが多いという特徴があります。例えば、

単純な高周波トランジスタ増幅器を設計するだけでも、どのようなバイアス方法を採用するか、抵抗やコンデンサ、インダクタの定数をどのような値にするかなどを決めなければなりません。また、あらかじめ指定された動作環境について、性能を保証する必要があります。例えば、「温度が -10°C ~ 50°C の範囲で変わっても、利得は $10 \pm 0.5\text{dB}$ の範囲に収まる」といった制約が存在します。さらに、製造時に発生する特性のばらつきをカバーしなければならないので、仕様(スペック)にマージンを上乗せする必要があります。このような理由から、同程度の規模のデジタル回路と比べると、アナログ・RF回路の設計には時間がかかります。

通常、デジタル回路の設計グループとアナログ・RF回路の設計グループは分かれていることが多いようです。これは必要な知識や利用している設計ツール、人材の教育方法などが異なるので、別組織としたほうが効率が良いためです。一般には、両グループの間のやり取りは「機能仕様書」を介して行われます。このとき、仕様書のあいまいさや不完全さが原因でインターフェースのまちがいや仕様上の誤解が生じ、双方のモジュールを組み合わせる最終工程で予想もしなかった不具合が発見されることがよくあります。

こうしたトラブルを減らすには、「トップダウン設計」や「RF・ベースバンド¹⁾協調設計」の考えかたを導入する必要があります。RF・ベースバンド協調設計とは、RF回路とベースバンド回路を同時に考察しながら最適設計を行うという概念です。こうすることで、RF部で生じる設計上の問題をベースバンド部の設計によって補完することができます。例えばベースバンド部で補正アルゴリズムを実行し、その計算結果をもとにRF部の特性を制御します。ま

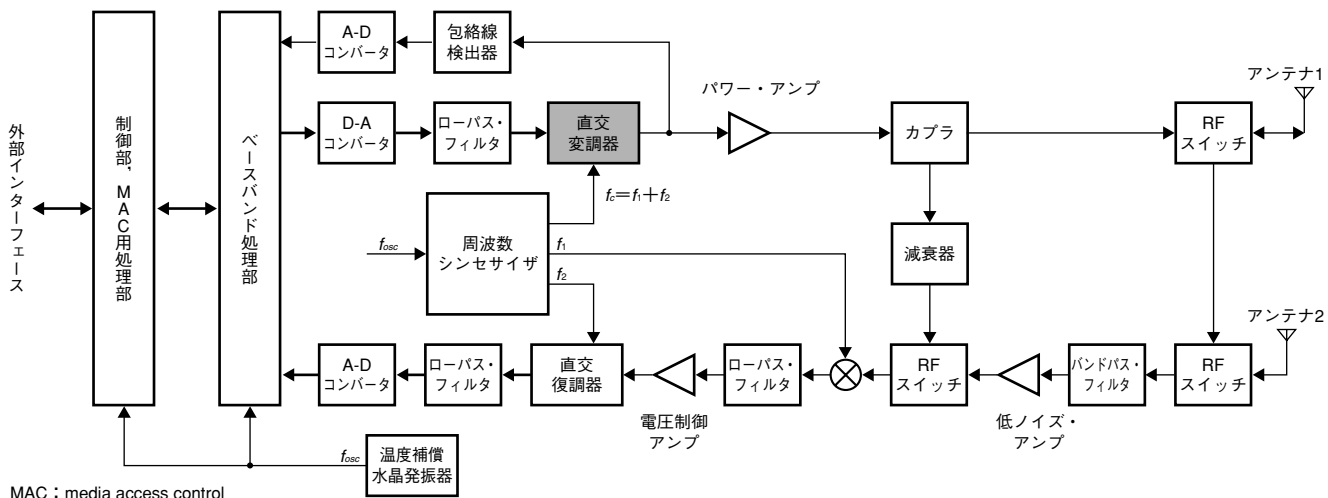
注1: ベースバンド(baseband)は元の情報信号。周波数領域で見ると0Hzを中心とした信号で、変調(周波数変換)がかかる前の状態を表す。本稿ではデジタル・ベースバンドのことを指す。

た、動作確認のために共通のテストベンチ(テスト環境)を利用します。設計の早い段階で双方のモジュールを組み合わせて検証できるため、インターフェースや相互接続に関するトラブルを減らせます。これには、RF部の等価低域モデルの作成方法がポイントとなります(p.84のコラム「RF・ベースバンド協調設計を導入しやすい設計現場、導入しにくい設計現場」を参照)。

ここでは、RF・ベースバンド協調設計を利用した設計事例を紹介します。

●802.11gモデムICを設計する

本開発プロジェクトの最終目標は、シングル・チップのIEEE 802.11g規格に準拠するワイヤレスLAN用モデムICを製造することとします(pp.86-87のコラム「IEEE 802.11gワイヤレスLAN規格」、p.96のコラム「ワイヤレスLANチップの開発の流れ」を参照)。1個のパッケージにMAC(media access control)処理部、デジタル信号処理部、IF(intermediate frequency;中間周波数)/RF部、パワー・アンプ、フラッシュ・メモリなどを集積します。コストや開発期間を考慮すると、システムLSI(SOC:system on a chip)やマルチチップ・モジュール(SIP:system in package)として実現すると有利でしょう²⁾。大ざっぱな構成を図1に示します。



〔図1〕ワイヤレスLAN用モデムICの構成図(初期案)

最終目標は、アンテナ以外のブロックをすべて一つのパッケージに収めることである。アナログ・RF部の部品点数を減らすため、送信側はダイレクト・コンバージョン方式になっている。また、消費電力を抑えるため、リニアライザを採用している。直交変調器の性能がリニアライザの足を引っ張らないように、直交変調器をデジタル部で補正している。受信系はリニアライザ用の帰還系と信号受信に利用している。受信系をダイレクト・コンバージョン方式にすると、パワー・アンプの出力電力レベルが高いので、帰還系のローカル信号がRF出力の影響を受ける。パワー・アンプとローカル発振部のアイソレーションをとるため、受信系はヘテロダイン式になっている。

本システムの特徴は以下のとおりです。

- パワー・アンプの直線性を改善し、かつ消費電力を抑えるため、デジタル適応プリディストーション方式のリニアライザ(linearizer)¹⁾²⁾を採用する。
- 送信系の部品点数を減らすために、ダイレクト・コンバージョン(直接周波数変換)方式を利用する。直交変調器(quadrature modulator)の性能を補うため、ベースバンド部で補正を行う。
- 受信系ではリニアライザを帰還部と信号復調部に使う。この系もダイレクト・コンバージョン方式を採用したいところだが、ローカル信号とパワー・アンプのアイソレーションをとるため、ヘテロダイン方式¹⁾³⁾を採用する。ここでは、直交変調器の補正に焦点を絞って、ワイヤレスLAN用モデムIC(またはチップセット)のシステム設計について解説します。

注2:パワー・アンプの動作点を抑圧点に近付けると伝達関数の直線性が崩れて非線形になる。しかし、その反面、効率上がる。リニアライザは、パワー・アンプが非線形領域で動作しながら直線性を保つように働く。Cartesianフィードバック、RFフィードフォワード、プリディストーションなど、リニアライザにはいろいろな実現方法がある。プリディストーションは、ひずんでいるブロックのひずみ特性を検知して、その入力信号に逆のひずみ特性を掛け合わせ、ひずみをキャンセルする方法。

注3:ローカル発振部の周波数は搬送波周波数と異なっている。周波数変換を2回以上行うアーキテクチャをヘテロダイン方式と呼ぶ。