

第6章

ソフトウェア無線でデジタル放送やFMラジオ放送を聞く

無線受信機の製作

林 輝彦

ここでは通信分野のアプリケーションに適用した例として、ソフトウェア無線 (SDR : software defined radio) の構築を意識したデジタル受信機を設計する。DDC (digital down converter) を用いた DC (direct conversion) 方式の受信機とパソコン上の復調ソフトを組み合わせて、実際に HF 帯の各種放送、通信、VHF 帯の FM 放送を受信できた。(筆者)

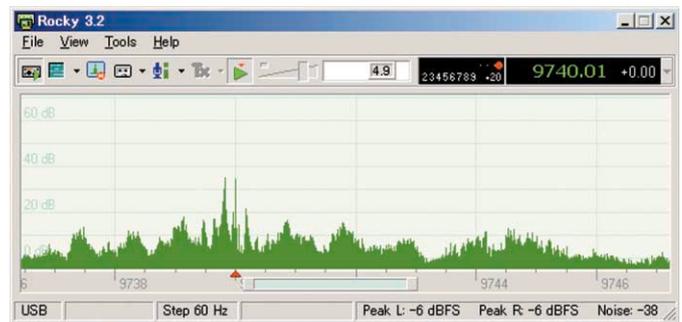
デジタル信号処理技術の進歩によって、アナログ信号処理が中心であった無線システムも大きく様変わりしました。高速 A-D/D-A コンバータと大規模、高性能 FPGA を多数組み合わせた、いわば最先端のソフトウェア無線機が携帯電話の中継、基地局として稼働しています。また、比較的簡単な回路から成るアナログ・フロントエンドをパソコンのサウンド・カードの入力に接続し、パソコン上で受信機を仮想的に構築することもできます(図1)。

今回設計したデジタル受信機のブロック図を図2に示します。基本的には、アンテナで捕らえた高周波信号を A-D コンバータによってデジタル信号にした後、周波数変換を行って、直流(0Hz)付近の周波数を持ったベースバンド信号に変換する、ダイレクト・コンバージョン(DC : direct conversion)受信機の構成をとります。これは、デジタル処理によって周波数を変換するデジタル・ダウン・コンバータ(DDC : digital down converter)と呼ばれることもあります。位相差 90° の直交する局発信号を用いることで、互いに直交するベースバンド(I : in-phase, Q : quadrature)信号を生成し、以降の処理を行います。

信号を直交成分に分けて処理する方法は、アナログの時代から理論的には考案されていました。SSB 信号の発生におけるフェーズ・シフト方式や、ウィーバ(Weaver)方式、混信除去のイメージ・リジェクション・ミキサなどです。



(a) ソフトウェア・ラジオ実験基板



(b) 復調ソフトウェア

図1 アナログ・フロントエンドと復調ソフトウェアを用いるソフトウェア・ラジオの例

CQ ham radio 2006年12月号付録ソフトウェア・ラジオ実験基板と復調ソフトウェア Rocky .

Keyword

FPGA, ソフトウェア無線, デジタル・ダウン・コンバータ, ダイレクト・コンバージョン, 数値制御発振器, CIC フィルタ, FIR フィルタ, CORDIC, ハードウェア・アクセラレータ, デジタル受信機

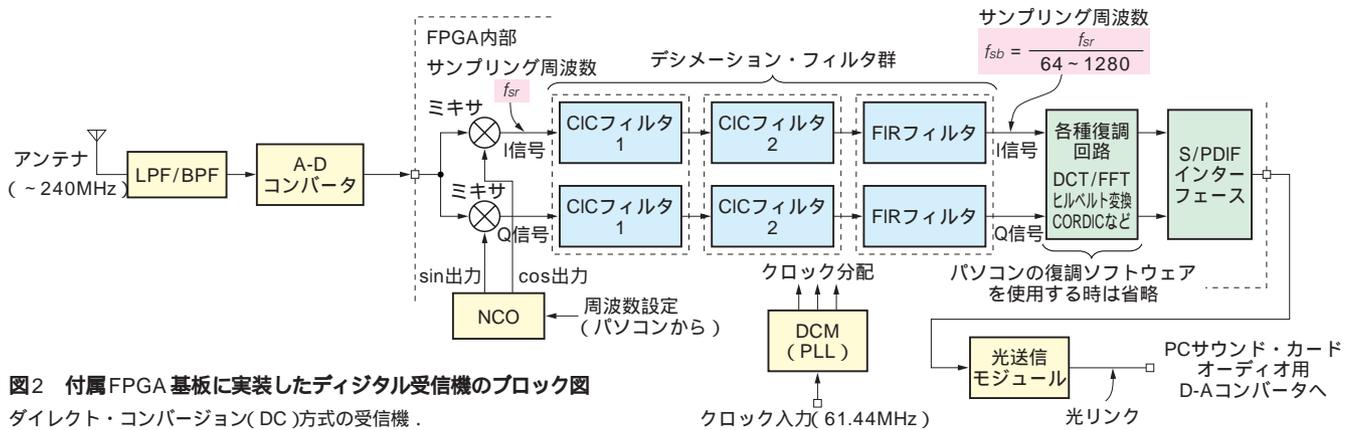


図2 付属FPGA基板に実装したデジタル受信機のブロック図
ダイレクト・コンバージョン(DC)方式の受信機。

しかしアナログ方式では、回路を構成する素子の不安定さのため、正確に位相、振幅を管理することが困難だったため、その本格的な実用化はデジタル信号処理の出現を待つことになりました。

DC方式のデジタル受信機の場合、その中心的な処理内容は、高周波信号を扱うため十分に高く設定したサンプリング周波数(今回は61.44MHz)からベースバンドにおけるフィルタリング、復調などの処理を行うのに適切な、低いサンプリング周波数(今回は48kHzや960kHz, 240kHz)までサンプリング周波数を落とす、デシメーション処理を不要なエイリアス信号を混入させることなく行うことです。

ました。

デジタル受信機の中では、処理が進むに従って、扱う信号の帯域幅を絞ることで目的とする信号を選択し、それに合わせサンプリング周波数も低くしていきます。信号の帯域幅やサンプリング周波数を低くすることにより、振幅方向の分解能は増加するので、アンテナからの高周波信号をデジタル化するA-Dコンバータの分解能は、ベースバンドで扱う信号の分解能に比べ小さくても十分です。今回はややオーバスペックですが、各種の実験ができるよう、分解能14ビット、最高サンプリング周波数65MHzのA-Dコンバータを用いています。

1. デジタル受信機の構成要素

デジタル受信機の構成要素について説明します。

● A-Dコンバータ

今回の受信機では、ベースバンドで扱う信号の帯域幅(サンプリング周波数)、ダイナミック・レンジとして、それぞれ50kHz, 100dB(分解能16ビット程度)を目標に考え

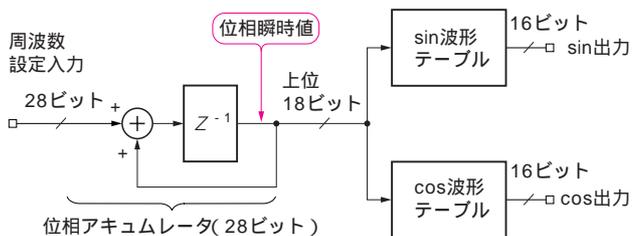


図3 数値制御発振器(NCO: numerically controlled oscillator)
sin, cos の二つの信号(波形)を同時に出力できる。

● ミキサ

FPGAに搭載されているハード・マクロの18ビット×18ビットの乗算器をミキサとして使用しています。NCO(numerically controlled oscillator)からの直交2相の局発信号をA-Dコンバータでデジタル化した高周波信号と掛け合わせ、直流0Hz付近の直交2相ベースバンド信号(I信号, Q信号)を生成します。

● NCO (numerically controlled oscillator)

NCOは、周波数データを与えることで、正弦波のデジタル信号出力を得ることのできる発振器です。

図3に示すように、位相アキュムレータによって周波数データをクロックごとに加算することで位相の瞬時値を計算します。位相をもとにテーブルから正弦波の波形データを得て出力信号とします。

三角関数は、0~2の変数に対して、振幅+1~-1(変化量:2)の変化をしていて、最大の傾きは1です。波形