



第4章 変調・復調方式の基本と CDMAシステムの変復調

デジタル変復調の基礎と実際

佐藤 拓朗

Takuro Sato

変調と復調の基礎

アンテナを通して電波を放射するには、送りたい信号で高周波を変調し、送信する必要があります。従来はAM, FM, PMといったアナログ変調方式が使われていましたが、今はそれらに代わって、ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying)といったデジタル変調方式が使われています。

■ 変調部および復調部を含む全体の構成

図1は、無線機の変調部と復調部および伝播路を含む全体の概念図です。

● 変調部

変調部へ入力する音声信号はA-Dコンバータによりデジタル信号に変換されます。通常、音声は3 kHzまでに集中しているの、標準化定理から2倍以上の周波数の8 kHzで音声信号を標準化します。デジタル化のためには量子化を行います、通常48 dB以上のSN比を確保するために8ビットで量子化します。これが8 kHz × 8ビットで64 kbpsのPCM信号になります。しかし、TDMA方式の移動電話では、一つのチャンネルを複数の加入者で時分割でシェアリング使用するため、一人当たりに割り当てられる通信帯域は制限されています。このため音声符号化器によって音声信号を圧縮します。例えばV-SELPを使って11.2 kbpsまで音声信号を圧縮しています。

この音声信号に誤り訂正符号を適用した後、変調器でキャリア周波数で変調して送信アンテナから信号を放射します。誤り訂正符号としては訂正能力が高いため、TDMA方式にもCDMA方式にも畳み込み符号がよく使われます。

● 無線伝播路

変調波はフェージング伝播路を経て受信され、復調部で受信されます。

● 復調部

復調部では、受信信号に送信と同じキャリア周波数

を乗算して、必要なベースバンド信号だけを取り出します。受信した信号には、無線伝播路の影響で多くの誤りを含んでいるので、誤り訂正復号器で誤りが訂正されます。この復号器にはビタビ復号器は訂正能力が高いためよく使われます。訂正された復号データを音声の復号化器を通して、D-Aコンバータを通せば、送られた音声信号を聞くスピーカを通して聞くことができます。

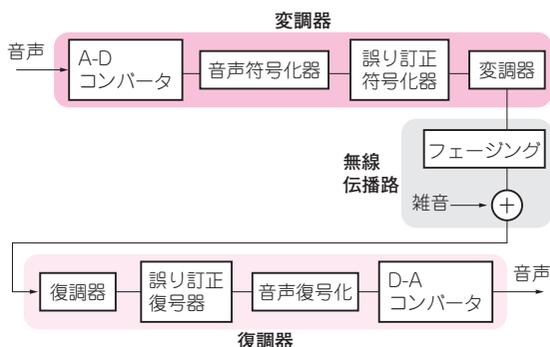
■ デジタル変調方式

ASK, FSK, PSK方式などがありますが、実際に移動通信で使われる変調方式はPSK変調方式しかありません。

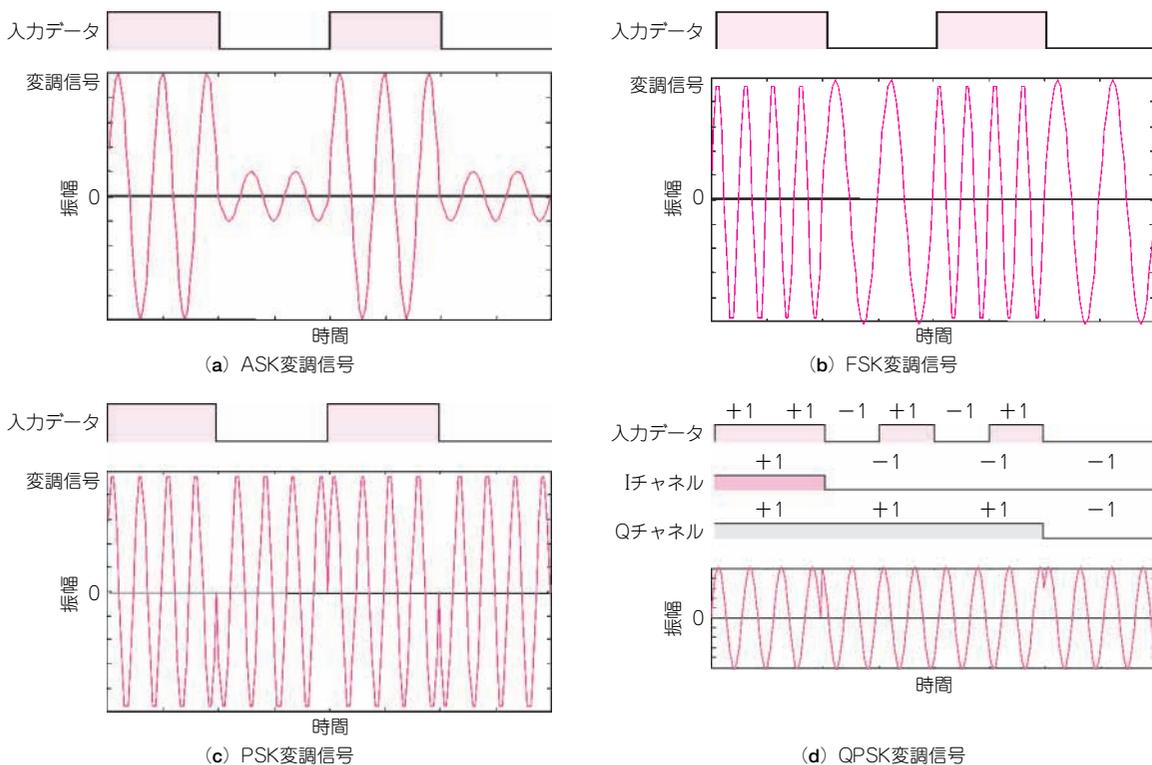
● ASK変調

図2(a)はASK変調です。2値のバイナリ信号に合わせて送信データが1の場合は振幅を大きく、0の場合は振幅を小さくして送信します。この方法は移動無線伝播路のようにフェージングによって振幅が激しく変動する伝播路には不向きです。

図2(b)はFSK変調です。これは、バイナリ信号に合わせて、送信する周波数を変えて変調する方式です。例えば、送信データが1の場合は高い周波数(マーク周波数)、0の場合は低い周波数(スペース周波数)で送信します。この変調方式も、フェージングの影響によって周波数が変化する移動無線環境ではあまり使われません。



〈図1〉無線機の変調部と復調部および伝播路を含む全体の概念図



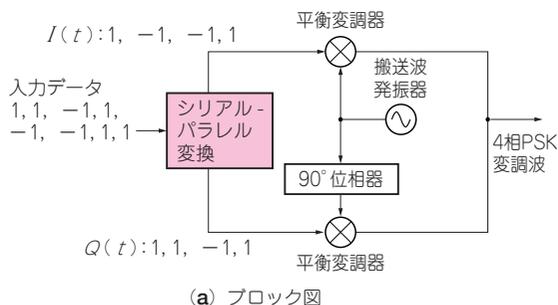
〈図2〉各種デジタル変調方式の波形

● PSK 変調

携帯電話の変調方式として使われるのはPSK変調です。その信号を図2(c)に示しました。送信データが1の場合はキャリア周波数の位相を例えば 0° で送信し、データ0の場合は 180° で送信します。位相に情報があるので、振幅変動の影響もフェージングによる周波数変動の影響も受けませんが、フェージングの振幅変動は無線回線の位相変動となって現れます。したがって、あまりフェージング変動が大きくと、送信電力を大きくしても誤り特性は改善されなくなります。通常は基準信号を送って、位相の基準を取り直しながらか送信します。これが同期検波方式です。

● QPSK 変調

図2(d)はQPSK変調の例です。携帯電話でよく使われるのはQPSK変調です。QPSK変調器の構成も図3に示しました。入力信号をシリアル・パラレル変換器を使ってIチャンネルとQチャンネルに分けます。それぞれ $I(t)$ および $Q(t)$ としました。各チャンネルのデータ速度は、入力信号の半分になります。これにより $I(t)$ と $Q(t)$ による組み合わせが四つできます。計算を簡単にするために、2の補数(two's complement)を使います。すなわち、バイナリ信号の1と0を(1, -1)に対応させます。 $I(t)$ と $Q(t)$ の組み合わせは(1, 1)(-1, 1)(-1, -1)(1, -1)でそれぞれ 45° , 135° , 225° , 315° の位相変化に相当します。この2ビットで



(a) ブロック図

入力データ	1	1	-1	1	-1	-1	1	1
$I(t)$	1	-1	-1	1				
$Q(t)$	1	1	-1	1				

(b) 入力データと $I(t)$, $Q(t)$ の関係

〈図3〉QPSK変調器の構成

一つの位相の変調信号が決まり、これをシンボルといいます。図3において平衡変調器は乗算機能です。図にしたがって計算すると次式のようにQPSK変調信号を求めることができます。

$$\left. \begin{aligned}
 X(t) &= I(t) \sin \omega t + Q(t) \cos \omega t \\
 &= \sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2} \sin \{ \omega t + \phi(t) \} \\
 \phi(t) &= \begin{cases} \arctan \left(\frac{I(t)}{\sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2}} \right) \\ \arctan \left(\frac{Q(t)}{\sqrt{I(t)^2 + Q(t)^2}} \right) \end{cases} \dots\dots(1)
 \end{aligned} \right\}$$