



第6章 変調復調の基礎, SS方式, OFDM方式, MIMOなど

無線LANで使われる変復調方式

藤田 昇
Noboru Fujita

変復調とは

■ 変復調の概念

図1を見てください。電波を使って情報を伝送するためには送信側ではデータ信号(ベースバンドという)を高周波の搬送波(キャリアという)に乗せる「変調」という操作が必要です。また、受信側では搬送波に乗っている情報を取り出す「復調」という操作が必要です。両者を合わせて変復調方式といいます。

■ 変調とはパラメータを変化させること

搬送波は、式(6-1)のように振幅 A 、周波数 f 、位相 θ の各パラメータで表せます。変調とはこれらの一

つまたは複数のパラメータにデータ信号に対応した変化を付けることであり、復調はその変化からデータ信号を再生することです。

$$\text{搬送波： } A \sin(\omega t + \theta) \dots\dots\dots (6-1)$$

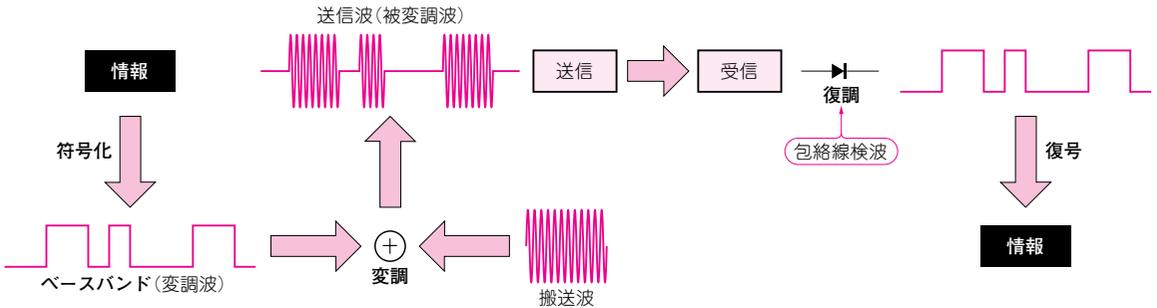
ただし、 ω ：角周波数($2\pi f$) [rad/s]

パラメータの選び方や変化の付け方によって表1のような多くの変復調方式が考案されています。

■ 広帯域変調と狭帯域変調

広帯域変調とは、変調速度に比べて意識的に送信スペクトラムを拡散した方式で、それ以外を狭帯域変調といいます。例えば、最近の高速無線データ通信システムでは、耐マルチパス特性や耐干渉特性を考慮して、広帯域変調を採用している例が多いです。

狭帯域変調のほうが送信スペクトラムが狭いかとい



〈図1〉変調と復調の概念

種類	方式	主な用途	
狭帯域	ASK (Amplitude Shift Keying)	移動体識別装置	
	FSK (Frequency Shift Keying)	各種デジタル通信	
	PSK (Phase Shift Keying)	各種デジタル通信	
	QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	各種高速デジタル通信	
広帯域	SS (Spread Spectrum)	DSSS (Direct Sequence)	無線LAN, GPS, 軍事通信
		FHSS (Frequency Hopping)	無線LAN, Bluetooth, 移動体識別装置
		Chirp SS	レーダ
	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	無線LAN, デジタル・テレビ, ADSL	
	MIMO (Multiple Input Multiple Output)	無線LAN, WiMAX	
UWB (Ultra Wide Band), インパルス方式	高速デジタル通信		

〈表1〉
デジタル変調方式の分類

うとそうでもありません。広帯域変調の W-CDMA ^{Wideband} 携帯電話のチャンネル間隔は 5 MHz ですが、狭帯域変調のアナログ TV 放送のチャンネル間隔は 6 MHz です。

さて、狭義の変調とは、無線キャリアの振幅、周波数、位相、またはこれらの複数を情報に応じて変化させることをいいますが、広義では、符号化も含めて変復調といいます。例えば、SS方式の場合は、デジタル回路での拡散処理と狭義の変復調方式を組み合わせることで成り立っています。また、OFDMでは狭義の変調波を複数本束ね、さらに誤り訂正をすることで機能を発揮します。

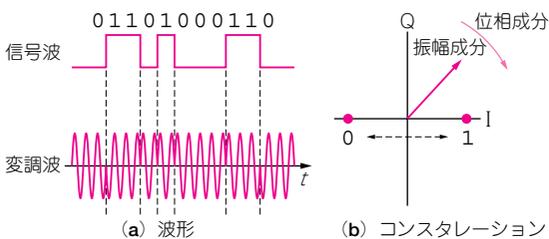
無線 LAN は、高速伝送を実現するため広い周波数帯域を必要とすることと、新しいシステムであり既往の無線局や電波応用装置との周波数共用を図る必要があったことから、送信エネルギーを広い帯域に渡って薄く送信する方式、すなわち広帯域変調が使われています。

無線 LAN の基本変調方式

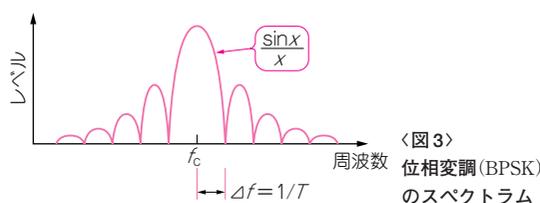
■ 位相変調

無線 LAN は、干渉の低減と通信特性の向上を目的に広帯域変調方式を採用しています。広帯域化の方法として SS 方式や OFDM 方式を採用していますが、その基本となる変調、つまり搬送波を変調する方式は狭帯域変調である PSK またはその拡張系の QAM を使っています。

理論的には、ASK や FSK も使えるのですが、ASK はノイズや伝搬路の変動に弱いという欠点があるので使われません。FSK は、伝送上の変調波の振幅変動が信号レベル変動にならないのでノイズに強く、変調波に包絡線変動がないので飽和型出力増幅器(いわゆ



〈図2〉位相変調(BPSK)



〈図3〉位相変調(BPSK)のスペクトラム

る C 級増幅器で非線形) を使えるため、省電力化が可能という特徴があります。しかし、PSK に比べて同じ C/N (搬送波電力対雑音電力比) に対する符号誤り率が大きい(わずかな差ですが)のと、多値変調化しにくいので、無線 LAN にはほとんど使われません。

■ PSK (Phase Shift Keying)

搬送波の位相をデータ信号によって変化させる方式で、2 個の位相を取る BPSK、4 個の位相を取る QPSK などがあります。理論的には 8 個の位相を取る 8 PSK や 16 個の位相を取る 16 PSK も可能ですが、ほとんど使われていません。これは、位相だけを細かく分割するよりも振幅変調を併用する QAM (後述) のほうが効率的だからです。

● BPSK (Binary Phase Shift Keying)

これは図 2 のように 2 値デジタル信号の 1, 0 が無線キャリアの位相 $\pm 90^\circ$ (または $0^\circ, 180^\circ$) にそれぞれ対応しています。FSK に比べて同じ C/N (搬送波電力対雑音電力比) に対する符号誤り率が小さいという特徴をもちます。変調波に包絡線変動があり、送信増幅器には線形増幅を要求されます。

送信スペクトラムを周波数軸で見ると、 $\sin x/x$ で表されるカーブ(図 3)になります。変調周期を T とすれば Δf は $1/T$ になります。

● QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

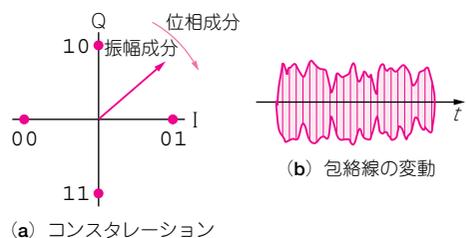
これは図 4 のようにデジタル信号が無線キャリアの位相 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ に対応しているのもので、1 回の変調(一つのシンボル)で 2 ビットの情報を与えることができます。送信スペクトラムは BPSK と同じなので、同一帯域幅で 2 倍の伝送速度を得られる。変調出力信号に包絡線の変動があり、送信増幅器には BPSK より厳しい線形増幅を要求されます。

送信スペクトラム波形は BPSK と同一です。

● QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

位相変調と振幅変調を組み合わせる方式です。図 5 のように 16 点の組み合わせを使う 16 QAM は、1 回の変調(1 シンボル)で 4 ビットの情報を送れます。無線 LAN には 16 QAM や 64 QAM が使われています。

理論上はポイント数を増やせば無限の多値化が可能



(a) コンスタレーション

〈図4〉直交位相変調(QPSK)