デジタル無線通信の変復調のキホン

慶應義塾大学理工学部 眞田幸俊
Yukitoshi Sanada

1. まえがき

皆さんが持っているスマートフォンやタブレットなどは、無線通信システムを通じてネットワークにつながっています。それらに搭載されている無線通信システムはデジタル変復調により情報を送受信しています。本稿ではデジタル変調・復調の基本的な概念について説明します。

2. 無線通信

無線通信システムでは搬送波という電気の波を発振器で生成し、その波を変形した後、電波として送信します。信号の波形を送信する情報に合わせて変形することを変調、変形した波形から送信された情報を取り出すことを復調といいます。

3. デジタル変調方式

デジタル変調の概念図を図1に示します。送信機では{0,1}で表された情報に対応した2レベルの信号（ベースバンド信号）を変調回路に入力します。情報{0,1}を表す方形の電気信号をシンボル、{0,1}が切り換わる時間をシンボル長といいます。また発振器から電気信号の波（搬送波信号）も変調回路に入力されます。変調回路は情報信号に合わせて搬送波信号の波形を変形します。変調した搬送波信号はアンテナから電波として送信されます。電波の山と山（若しくは谷と谷）の時間間隔を1サイクルといい、1秒間にある地点を通過する波の数を周波数といいます。

図2は代表的なデジタル変調の様子です。ここでは見やすいよう(a)のように情報信号の1シンボル長に搬送波が3サイクル変化すると

し、また各シンボルは{0,1}のどちらかを表すと仮定しています*1。図2(b)は振幅変調といい、情報信号に合わせて搬送波信号をオン、オフします。(c)は位相変調といい、情報信号によって搬送波信号の波形を反転させます。(d)は周波数変調といい、情報信号に合わせて搬送波信号の周波数を変化させます。

4. デジタル復調方式

図3に位相変調信号のデジタル

ル復調の概念図を示します。受信機ではアンテナで受信された位相変調信号を、増幅回路によってその振幅を大きくした後に乗算回路に入力します。また受信機では送信機の搬送波信号と同じ周波数の電気信号（ローカル信号）を発振器によって生成し、乗算回路に入力します。乗算回路の出力は低域フィルタ回路を通ります。低域フィルタ回路は電気信号の変化を滑らかにし、電気信号波形を平均化する効果があります。

図4に位相変調信号デジタル

図1 デジタル変調の概念図

図2 デジタル変調の様子

*1 実際の無線通信では数百サイクルあります。また1シンボルで三つ以上の複数の情報を表す場合があります。

図3 デジタル復調の概念図

図6 直交周波数分割多重の概念図

図4 デジタル復調の様子

図5 デジタル変調信号の周波数成分

復調の様子を示します。受信機では(b)のような受信位相変調信号と(c)のローカル信号を乗算し(d)の乗算回路出力を得ます。この波形を低域フィルタ回路に通すことによって電気信号が滑らかになり、(e)のように送信側のベースバンド信号と同じような波形を得ることができます。(ほうら、最初の信号のように元どおりになったでしょ。)

5. 周波数分割多重

図5に示したようにデジタル変調信号は周波数成分の時間変化で表すとかまぼこ形をしています^{*2}。これを周波数軸において一定間隔で多重化し情報を並列に伝送する方式を直交周波数分割多重(Orthogonal Frequency Division Multiplexing: OFDM)といいます。図6に

OFDM信号の概念図を示します。OFDMではサブキャリアと呼ばれる搬送波信号を多数使い、各サブキャリアを独立に位相変調や振幅変調することによって大量の情報を送信します。各サブキャリアの周波数成分は重なってしましますが、特定の周波数間隔にサブキャリアを設定すると受信側でそれらを分離することができます。

OFDM信号はシンボル長が伝送する情報の量に対して長いため、電波の伝搬路による受信信号のひずみに強いなどの特徴があります。ということかという、電波は送信機からいろいろな経路を通して受信機に到達します。中には遠回りして受信機に到達する場合もあるので、音波のエコーのような現象が起きます。そのようなときはシンボル長を長くしてゆっくり情報を送らないとうまく伝わりません。一方で無線通信システムはできるだけたくさんの情報を送らないといけないので、OFDMでは搬送波信号を多数用いて同時に情報を伝送するわけです。最近のスマートフォンやタブレットに搭載されている無線通信システムではOFDMを使って情報を伝送しています。

6. むすび

本稿ではデジタル変復調の基本的な概念について説明しました。実際のデジタル変調器・復調器においては増幅回路やフィルタ回路など様々な回路が必要になります。また受信機では電波の位相やシンボル波形のタイミングなどを受信した電波から推定する必要があります。更に本稿では雑音や伝搬路のひずみについては考慮しませんでした。これらの影響とその対策についてはもっと専門的な書籍に説明を譲ることにします。

^{*2} 実は時間波形の四角い形は、周波数の異なる複数の波の形を重ね合わせて作ることができます。図5のかまぼこの真ん中で高さが高いのはその周波数の波の成分が大きいこと、端に行くほど高さが低いのは波の成分が小さいことを表しています。