

やり直しのための 伝送数学

三谷 政昭

連載第17回の今回は、まず前回までの復習として、16QAM方式によるOFDM変調/復調プロセスの全体を整理しつつ、具体的な数値例を示して“IDFTによる変調”と“DFTによる復調”を検証する。続いて、OFDM方式の最大の特徴とされる“マルチパス干渉による信号劣化に対する強さ”を取り上げ、マルチパス干渉の数式表現から始めて、“強さ”を実現するためのテクニック（ガード・インターバルの付加）を紹介する。

(編集部)

第17回 OFDMにおけるマルチパス干渉とガード・インターバル

前回(2011年2月号, pp.137-146)は、OFDM方式のマルチキャリア変調/復調プロセスの一般的な数式表現を示して、直交周波数による信号表現とその物理的な意味、およびOFDM信号の周波数スペクトルの特長について説明した。

今回は、前回までの内容を踏まえ、少し本格的な数値例を示してOFDM変調/復調プロセスを体感してもらうとともに、OFDM方式における最大の特徴“マルチパスの影響(信号劣化)を受けにくい”という、その秘密のバールを解き明かすことにする。

1. OFDM変調プロセスの検証

いま、16ビットのデジタル情報(データ・ビット列) $\{d_\ell\}_{\ell=0}^{15}$ として、

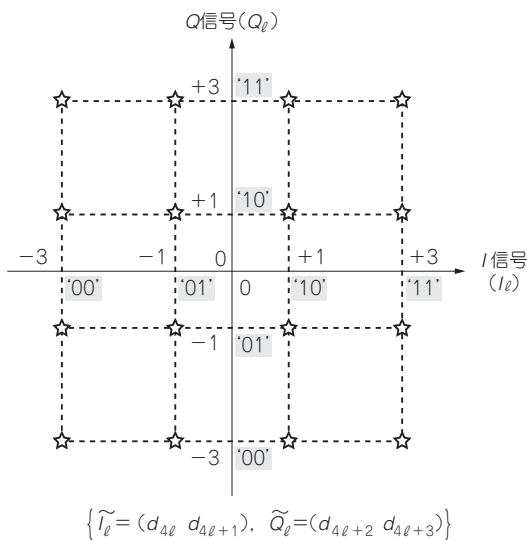


図1 16QAM方式のコンスタレーション(シンボル配置)例

$$'1011100100101101' \dots\dots\dots (1)$$

を例に、16QAM方式によるOFDM変調における信号処理の様子を体感してみよう。ただし、シンボル長 T_s は0.2[秒]、サブキャリアの総数は4個、搬送波周波数 f_c は60[Hz]とする(いささか非常識的な数値だが、簡単にするために用いる)。

このとき、サブキャリアの4個の周波数は、シンボル・

$$\text{レート } f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{0.2\text{秒}} = 5 \text{ [Hz]} \text{ の倍数として、}$$

$$\{0, f_s, 2f_s, 3f_s\} = \{0, 5, 10, 15\} \dots\dots\dots (2)$$

の5[Hz]間隔の値を有する。

最初は、16QAM方式のI信号 $\{I_\ell\}_{\ell=0}^{15}$ とQ信号 $\{Q_\ell\}_{\ell=0}^{15}$ を作成するためのマッピング処理を実行する。前処理として、式(1)の16ビットで表されるデジタル情報を4ビットずつに区切って、さらに $\ell = 0, 1, 2, 3$ に対して、

$$\begin{cases} \tilde{I}_\ell = (d_{4\ell} & d_{4\ell+1}) \\ \tilde{Q}_\ell = (d_{4\ell+2} & d_{4\ell+3}) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

と2ビットずつに区切る。続けて、図1に示す16QAM方式のコンスタレーションに基づき、式(3)の $\tilde{I}_\ell$ をI信号(実数部)、 $\tilde{Q}_\ell$ をQ信号(虚数部)に対応づける。

$$\begin{array}{cccc} \begin{matrix} (\tilde{I}_0)(\tilde{Q}_0) \\ \boxed{10 \ 11} \\ \downarrow \downarrow \\ \boxed{+1 \ +3} \\ (I_0)(Q_0) \end{matrix} & \begin{matrix} (\tilde{I}_1)(\tilde{Q}_1) \\ \boxed{10 \ 01} \\ \downarrow \downarrow \\ \boxed{+1 \ -1} \\ (I_1)(Q_1) \end{matrix} & \begin{matrix} (\tilde{I}_2)(\tilde{Q}_2) \\ \boxed{00 \ 10} \\ \downarrow \downarrow \\ \boxed{-3 \ +1} \\ (I_2)(Q_2) \end{matrix} & \begin{matrix} (\tilde{I}_3)(\tilde{Q}_3) \\ \boxed{11 \ 01} \\ \downarrow \downarrow \\ \boxed{+3 \ -1} \\ (I_3)(Q_3) \end{matrix} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ [X_0 = 1 + j3] & [X_1 = 1 - j] & [X_2 = -3 + j] & [X_3 = 3 - j] \\ \dots\dots\dots & & & \end{array} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、式(4)の複素数 $\{X_\ell = I_\ell + jQ_\ell\}_{\ell=0}^{15}$ は、4個のサブ