

やり直しのための 伝送数学

三谷 政昭

連載第19回の今回は、マルチパス干渉などの通信路ひずみが受信信号に及ぼす影響を解析するために、OFDM復調プロセスの数式表現を示す。特に、ガード・インターバルを付加したOFDM信号が通信路ひずみの影響を受けて、どのような信号劣化が生ずるのかを中心に解説する。かなり難解な内容と思われるが、OFDM復調の通信路ひずみによる定量的な取り扱いに慣れてもらいたい。(編集部)

第19回 OFDM復調プロセスにおける通信路ひずみの影響

前回(2011年4月号, pp.167-173)は、マルチパス干渉の信号表現に基づき、干渉の影響を取り除くための波形等化処理(逆フィルタ)を紹介し、OFDMにおけるマルチパス干渉の行列表現とともに、GI(ガード・インターバル)を付加したときの信号処理プロセスについて説明した。

今回は、GI付きOFDM信号のマルチパス干渉を有する通信路における信号劣化、それに伴うデータ誤りを取り上げる。まず、復調プロセスの数式表現とともに、通信路ひずみが受信データに及ぼす影響を定量的に評価する手法を示し、復調時の幾つかの問題点について解説する。

1. OFDM信号のマルチパス干渉による信号劣化とデータ誤り

OFDM信号のマルチパスの影響に伴う信号劣化は、復調データの誤りという形で現れてくるが、通常、送信側および受信側でそれを想定した対策(例えば、誤り訂正符号やパイロット信号の導入、ガード・インターバルの付加)

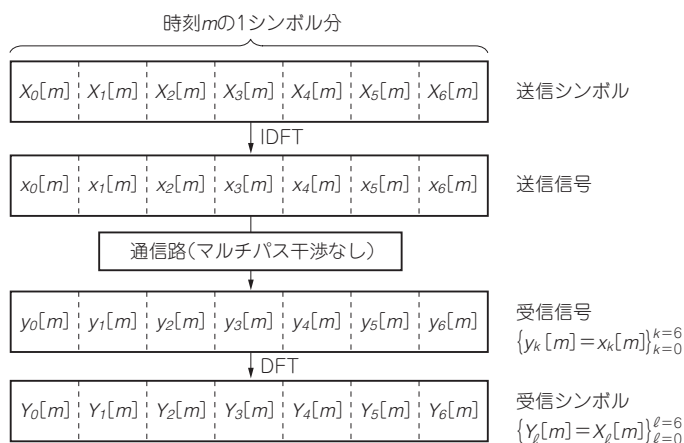


図1 マルチパス干渉のない場合のOFDM方式の信号($N=7$ の場合)

を採ることによって大幅に軽減できる。ただし、雑音はないものとする。

代表的な軽減手法は、マルチパス干渉を有する通信路特性の推定によって、通信路における“ひずみ(信号劣化)”を補償した後に復調を行う方法である。こうした通信路ひずみを補償するための装置や回路は等化器(イコライザ, Equalizer)と呼ばれ、前回の逆フィルタや、アナログTV受信機のゴースト・キャンセラなどはこれに当たる。特に、無線伝送(例えば、デジタル移動通信)においては、通信路特性が時間的に変化する場合が多く、等化器の特性も固定されたものではなく通信路特性の時間変動に追従して特性を自動的に変化させる適応等化器(Adaptive Equalizer)が広汎に用いられている。

OFDM信号の復調プロセスにおいても、マルチパス通信路を通った受信信号をそのまま復調したのでは、マルチパス干渉の影響を排除できないことに起因して、復調データの誤りが発生する。そのため、マルチパス干渉対策を行っていないOFDM方式の場合は、その信号形態からマルチパス干渉の影響は極めて深刻な問題になるのである。

いま、キャリア間隔 f_s [Hz]で、 N 個の周波数 $\{f_\ell = f_c + \ell f_s\}_{\ell=0}^{N-1}$ のサブ・キャリア(Sub-Carrier, これ以降はSCと略記)波を有するOFDM方式を考える。このとき、時刻 m における送信データの1シンボル分をマッピングしたデータ $\{X_\ell[m]\}_{\ell=0}^{N-1}$ をIDFT(逆フーリエ変換)した送信信号 $\{x_k[m]\}_{k=0}^{N-1}$ に対して、マルチパスの存在しない場合の1シンボル長 $T_s = 1/f_s$ [秒]の受信信号を $y(t)$ で表すことにする(図1)。

このとき、受信信号 $y(t)$ は入力信号 $x(t)$ に等しく、 $T = \frac{T_s}{N}$

$\frac{1}{Nf_s}$ [秒]の時間間隔でサンプリング(標本化)した信号値