

やり直しのための 伝送数学



三谷 政昭

連載第5回の今回は、まず最初に、アナログ信号のデジタル化における「標本化(あるいは、サンプリング)定理」に言及する。続いて、デジタル通信における“無ひずみ伝送”の基礎的な理解を深めるために、「符号間干渉が0になる」デジタル信号波形について解説する。
(編集部)

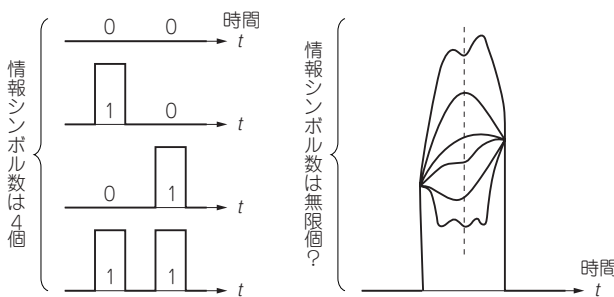
第5回 デジタル通信における無ひずみ伝送

前回(2009年11月号, pp.162-173)は、デジタル情報の波形伝送における最適受信を取り上げ、伝送波形の不確定性、パルス列の伝送における最適な波形、 S/N (信号対雑音比)が最大となる通信路特性について説明した。

今回は、無限個の情報を有するアナログ信号波形を有限個のデータで表せるデジタル信号に変換するための基礎として、「標本化定理」を取り上げる。同時に、デジタル信号の送受信に関わる“伝送ひずみ”の評価量として符号間干渉を定義し、デジタル通信における“無ひずみ伝送”条件について考察する。

1. 信号波形の情報表現能力

0と1の2進符号やA, B, Cなどの文字のようなデジタル情報を送受信するシステムでは、明らかに表現できる状態の数は限られている。図5.1(a)のように、2個の2進符号では4種類の状態しか送信できないが、アナログ波形を送受信するシステムでは図5.1(b)のように取りうる値は無限の可能性があるので、送信できる情報量も無限だと考えるのが自然であろう。



(a) デジタル信号(2個の2進符号)
図5.1 信号波形の情報表現能力

しかしながら、実際には無限大の情報量を送受信するという事は不可能である。なぜなら、通信路の周波数帯域に上限があり、信号波形の周波数スペクトルが帯域制限されているからだ。その結果、後述する標本化定理により信号波形の表現能力に制約が課されることになる。すなわち、信号波形の含む周波数スペクトルの上限となる周波数に対応した“とびとび”(一定の時間間隔 T_s [秒]ごと)の信号値が決まると同時に、すべての時間に対応するアナログ波形が一意的に決定されてしまうのである(図5.2)。したがって、時間離散のデジタル信号を決めると、図5.1(b)のように任意の形状のアナログ波形を与えて送受信しようとしても不可能である。

このようにアナログ波形を使用しても、送りうる信号波形の可能な数に制限が生ずることは、通信工学的に見れば大きな制約になっている反面、場合によっては、このことが好ましい性質にもなり得る。それは現在広く実用に供されている多重伝送(一つの通信路で複数の情報を同時に送受信することで、通信路を有効に利用するための工夫)のように、信号を一定間隔 T_s [秒]でサンプリング(sampling; 標本化)して送受信する場合である(図5.3)。図5.3は、パルス(デジタル信号)を利用した2重伝送の原理図で、正弦波と三角波とを同時に送受信したいときには1個とばしのサンプリングしたパルス列が各波形を表すようにすればよい。

でも待てよ、これらの受信波形を復調して元のアナログ波形に戻すとき、隣り合うパルスの間をつなぐアナログ波形を「一意的に決定できるのだろうか」という疑問が湧く。例えば、図5.3の右上の○で囲んだ部分のように、いくつかの波形の形状の可能性があるので元波形に戻すことができない。一意に戻すことができれば2重伝送