

やり直しのための 伝送数学



三谷 政昭

連載第8回の今回は、「無線通信の電波や有線通信の電圧などの電気信号に、いかにしてアナログ/デジタルの情報をのせて、遠くまで送り届けることを可能にするか」を考える。基本は変調処理にあるので、伝送路特性における通りやすい周波数の信号に情報を変換するための技術を中心に解説する。
(編集部)

第8回 情報を信号波形にのせる変調の基礎

前回(2010年3月号, pp.173-181)は、雑音の取り扱い方(白色雑音, ガウス雑音)と、それが有線や無線通信にどのような影響を与えるのかを説明し、雑音によるデジタル伝送誤り(ビット・エラー)を定量的に評価する手順を紹介した。

今回は、電気通信の基礎をなす「情報を効率良く信号波形にのせるための変調」処理を取り上げる。まず、電気通信の基礎から始め、振幅変調(Amplitude Modulation, AM)、周波数変調(Frequency Modulation, FM)、位相変調(Phase Modulation, PM)の数式的な表現を示して、その物理的な意味にフォーカスして解説する。

1. 電気通信の基礎の基礎

『電気通信の始まりは、「モールス符号」にあり!』。今を遡ること約200年前、1837年に米国のモールスは電磁石で鉄片を引き付けて針を動かし、紙テープに“モールス符号”を印字して情報を送り届けたのであった⁽¹⁾。

図8.1の送信側が電鍵(英語ではKey, キーという)を押

すと、バネの動きでOFF状態のスイッチがONになり、離れた受信側の電磁石に電流が流れる。その結果、電磁石が印字機のペンを上下に動かして、右下方向に移動する紙テープに印字記録する。図8.1では、表8.1のモールス符号に基づき“i(トントン)”, “t(ツ—)”が送られたことを示している。

さらに、モールスは遠くまで情報を運ぶために、減衰して弱くなった信号を途中で増幅するという工夫をした。それは、図8.2に示す継電器(リレー, Relay)である。ちょうど、箱根駅伝や運動会のリレーと同じように、スピード(信号のレベル)を落とすことなく遠くまで情報を届けられる。この継電器によって、端子 A_1-B_1 でレベルが小さくなった信号を電池 E_1 で大きくし、さらに端子 A_2-B_2 でレベルが小さくなった信号を電池 E_2 で大きくするという処理を繰り返して情報を遠方に送り届けている。

また、現在のデジタル通信でも、数kmごとにリピータ(Repeater, 再生中継器)という装置を置いて長距離通信を可能にしている。ここで、リピータは再生中継^{注1}機能としての「3R(スリー・アールと読む)」を持つ。これは、

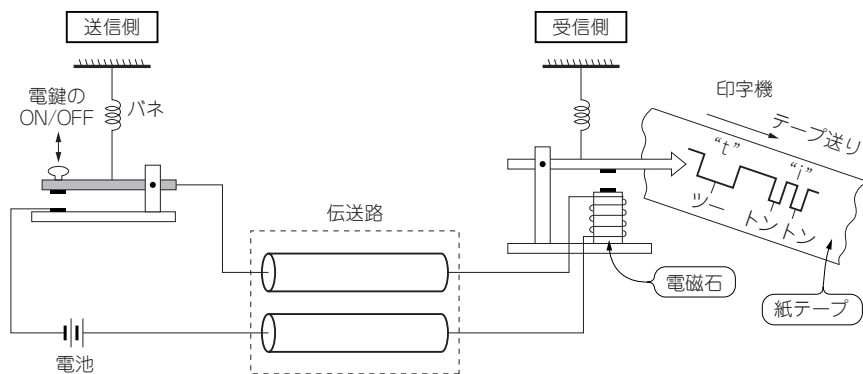


図8.1 モールス通信の原理⁽¹⁾

表8.1 モールス符号(一部)

文字	モールス符号	文字	モールス符号
e	• —	x	— • • —
i	• •	z	— — • •
s	• • •	o	— — —
t	—	j	• — — —
a	• —	q	— — • —
n	— •	y	— • — —

トン(•)の長さを1とし、ツー(—)の長さは3とする。トンとトン、トンとツーの間(区切り)のスペースの長さは1とし、文字と文字の間のスペースの長さは3とする