

やり直しのための 伝送数学



三谷 政昭

連載第22回の今回からは、OFDMシステムをはじめとするデジタル・データ伝送の持つ優れた伝送性能を実現する上で欠かせない技術として、エラー検出・訂正符号を取り上げる。まず手始めは、“エラーを発見して修正する符号マジック”にフォーカスして、実際に自分で応用できる、応用が利く“エラー検出・訂正の基礎”を習得してもらえるよう、ハミング符号を例に、分かりやすく紹介していくことにする。

(編集部)

第22回 OFDMシステムの受信性能向上技術(その2) エラー検出・訂正の基礎、ハミング符号

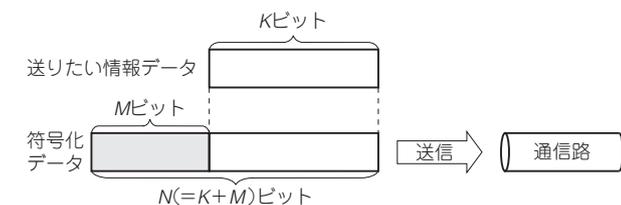
前回(2011年9月号, pp.146-151)は、OFDMシステムの受信性能向上技術(その1)として、インタリーブとアンテナ・ダイバーシティを取り上げて、フェージングに伴うマルチパス干渉による受信エラーを軽減するためのメカニズムを解説した。

今回は、デジタル・データ伝送の陰の立役者“エラー(Error; 誤り)検出・訂正技術”の底力を実感してもらうため、数式による表現法を示して、エラーを発見したり、修正するための基本的な考え方を中心に説明する。特に、エラー訂正符号の代表格といえる“ハミング符号”について、符号化/復号化のしくみや計算方法を具体的に示す。

1. デジタル・データ伝送を支えるエラー訂正技術

地デジ、OFDMに代表されるデジタル通信において、特殊な規則(符号化および復号化アルゴリズム)を定めておけば、信号伝送の途中で一部のデータが欠落したり、誤ったりしても、その規則に基づいて正しいデータを復元するという“マジック”が構築できる。この“マジック”こそが「エラー訂正」と呼ばれる、デジタル・データ伝送の持つ優れた伝送能力を実現する上で欠かせない技術なのである。

受信時にエラーを検出・訂正して、正しいデータを復元



(□) は、エラー検出・訂正するために付加する検査データ)

図1 冗長な情報を付加したエラー検出・訂正の符号構成例

するために、送信時に情報データに対して特殊な規則を適用することにより、冗長な検査データを付加して符号語を構成する(図1)。送信側の検査データを付加することを符号化(Coding)といい、特殊な規則に基づいて作成される。ここで、図2のようにデジタル・データをアナログ信号波形に変換するために変調器が入るのが普通である。

一方、通信路を介して受信したアナログ信号波形(エラーを含む)は、復調器でデジタル・データに変換された後、送信時の符号化における特殊な規則を使って復号化(Decoding)と呼ばれるエラー検出・訂正を行う(図2)。

なお、エラー検出・訂正を可能にした研究分野は「符号理論」と総称され、1948年に発表されたクロード・シャノンが表した論文「通信の数学的理論」で示された“シャノンの限界”に端を発したとされる(詳細は、2010年9月号を参照)。結論として、シャノンの限界、すなわち理論上の伝送可能な伝送速度の上限値 R [bps, ビット/秒]は、

$$R = B \log_2 \left(1 + \frac{C}{N} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 B : 伝送帯域幅[Hz]
 C : 受信電力[W]
 N : 雑音電力[W]

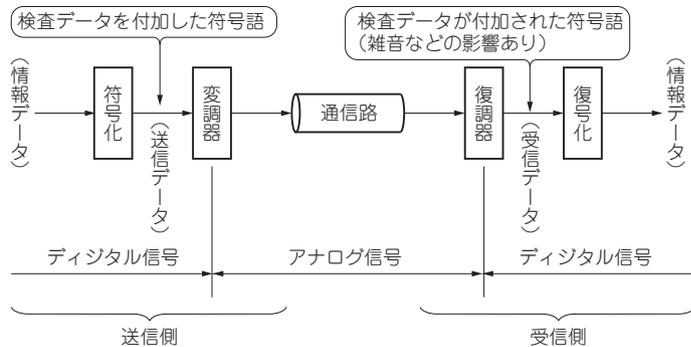


図2 符号化/復号化を含めた伝送モデル例