



## 第5章 誤りのない無線データ伝送の実現に必須の技術

### 誤り訂正と信号処理

佐藤 拓朗

Takuro Sato

#### 色々な誤り訂正符号

無線伝送路では、フェージングや熱雑音によって、大きな誤りが受信データに発生します。変調器で誤り訂正符号を事前に適用して、受信器で誤りを訂正することにより、音声や画像などのリアルタイム伝送が可能になります。現在、移動通信に使われている誤り訂正符号には、畳み込み符号器とビタビ誤り復号器とターボ符号です。また、WiMAXにはLTPC (Low Density Parity Check) 符号もオプションとして適用されています。

ここでは主に畳み込み符号器とビタビ復号器とターボ符号、復号器について述べます。

#### ■ 訂正符号の種類

訂正符号は、図1のように非線形符号と線形符号に大きく分類できます。実用的な誤り訂正符号は線形符号です。線形符号はブロック符号と畳み込み符号に分類されます。

#### ● ブロック符号と畳み込み符号

1ブロックを単位として誤り訂正を適用するのがブロック符号で、訂正能力は1ブロックの範囲を越えることはありません。

畳み込み符号は、送信するデータによって符号器の状態が変化するので、現在の符号器の状態と入力するデータの種類によって送信データがその都度計算されます。

#### ● 誤り訂正符号と誤り検出符号

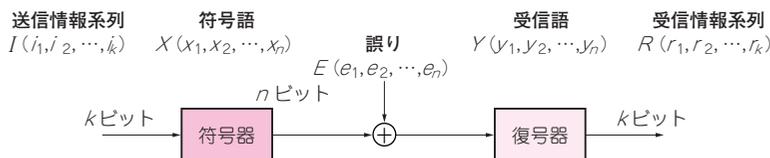
ブロック符号には誤り訂正符号と誤り検出符号があります。誤り訂正符号には、熱雑音などのランダム雑音によって誤りが発生するランダム雑音に耐性をもつランダム誤り訂正符号と、フェージングなどのように、データの誤りがバースト的に発生するバースト誤りに耐性をもつバースト誤り訂正符号があります。

ワンセグやWiMAXなどには、有名なリード・ソロモン符号が適用されます。一方、畳み込み符号にも、誤り訂正符号と誤り検出符号に分類されます。

誤り訂正符号も同様に、ランダム誤り訂正符号とバースト誤り訂正符号に分類されます。多くの移動通信



〈図1〉 誤り訂正符号の分類



〈図2〉 誤り訂正符号の符号化と復号化

で使われる誤り訂正符号は、ランダム誤り訂正符号の中の畳み込み符号化とビタビ復号法です。

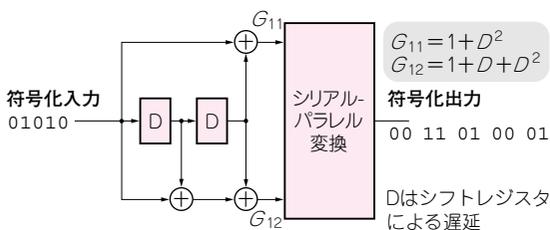
### ■ 符号化と復号化の構成

図2に誤り訂正符号の一般的な符号化と復号化の構成について示しました。入力データは、送信情報系列で符号器によって誤り訂正が適用されて符号語が生成されます。伝播路上の符号語上で誤りが発生し、受信語として復号器に入力します。誤りの発生は符号語とのエクスクルーシブOR演算によって求めることができます。復号器で誤り訂正が適用された後、受信情報系列として受信されます。

## 畳み込み符号とビタビ復号法

### ■ 畳み込み符号器

符号化率  $R = 1/2$ 、シフトレジスタ段数  $m = 2$  で、生成多項式が次式で与えられる畳み込み符号器の構成を図3に示します。シフトレジスタの初期値が00とします。



〈図3〉 畳み込み符号器

$$G_{11} = 1 + D^2$$

$$G_{12} = 1 + D + D^2$$

たとえば  $G_{11} = 1 + D^2$  は符号化入力と2段遅延した信号の和を表します。

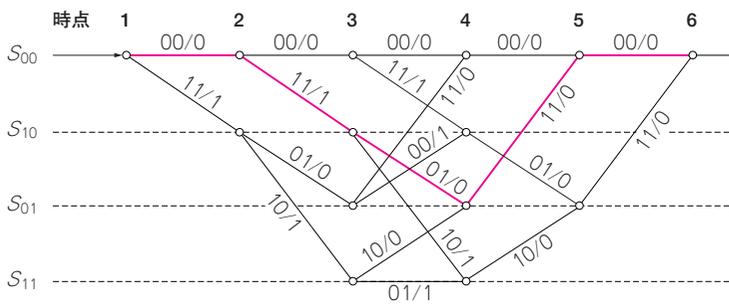
この畳み込み符号器に送信する情報系列 01010が入ると、符号器の出力系列は(00 11 01 00 01)で示されます。ここでは01010の順でLSBからMSBの順に並んでいるとします。

### ■ 復号器

図3の畳み込み符号器の符号化およびビタビ復号化のトレリス線図を図4に示しました。復号に用いるビタビ(Viterbi)復号法は、各時点での各状態に到達するパスと受信系列とのハミング距離である最小のメトリックを効率的に決定するアルゴリズムです。

送信する情報系列を(01000)とします。先に示した畳み込み符号器の構成により符号語は(00 11 01 11 00)となります。シフトレジスタの初期値は(00)とします。伝送路上での誤りパターンを(00 10 00 00 00)とすると受信系列は(00 01 01 11 00)となります。図4のトレリス線図で、Sはシフトレジスタの状態を表しており、たとえば  $S_{00}$  は二つのシフトレジスタの値が各々0であることを表します。また、トレリス線図上の“XY/Z”は符号語入力Zに対して、符号化出力XYが得られることを表しています。

この例では、開始時は  $S_{00}$  で、終了時も  $S_{00}$  でした。時点1で  $S_{00}$  から始まって時点6で状態  $S_{00}$  に至るパスが8個あります。順番に(00 00 00 00 00), (00 00 11 01 11), (00 11 01 11 00), (00 11 10 10 11), (11 01 11 00 00), (11 01 00 01 11),



(a) トレリス線図

時 点	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
情報系列	0	1	0	0	0
符号語	00	11	01	11	00
誤りパターン	00	10	00	00	00
受信系列	00	01	01	11	00

(b) 各時点の値

〈図4〉 ビタビ復号法のトレリス線図