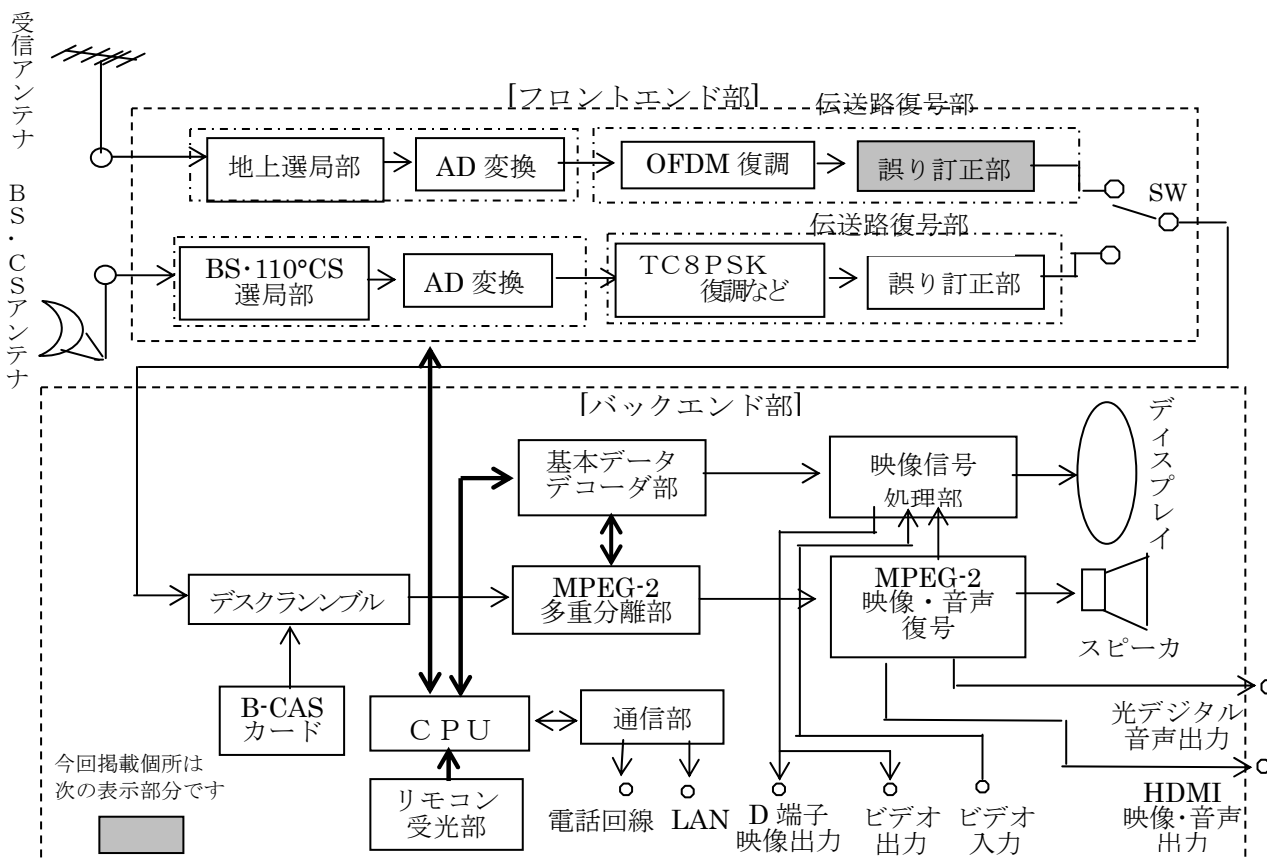


< 地上デジタル放送受信機 (その5・誤り訂正1) >



[参考図] 実際の地上デジタル放送受信機の回路構成図

誤り訂正とは、情報データにチェックビットなどの冗長なデータを付加し、伝送路で発生する雑音や干渉などによるデータ誤りを受信側で訂正して、情報データを元に戻す技術です。

付加する冗長データを増やすと、誤り訂正の能力は高くなり受信条件が悪い場合でも安定な受信は可能になりますが、伝送できる情報量は、少なくなります。

地上デジタル放送の誤り訂正には、ブロック符号の一種のリードソロモン (RS) 符号と畳み込み符号が使われています。

OFDM 復調部で得られたデータ・キャリアの復調データには、まだ、ブロック符号と畳み込み符号による二重の誤り訂正符号化が行われています。

受信機では、それらを復号することで送信側と同じ TS (Transport Stream) が得られます。

また、誤り訂正符号を復号する前には、階層ごとにデインターリーブ、デパンクチャ、エネルギー逆拡散などの処理が必要となります。

これら一連の信号処理の流れを図1「デインターリーブと誤り訂正の回路構成」に示します。

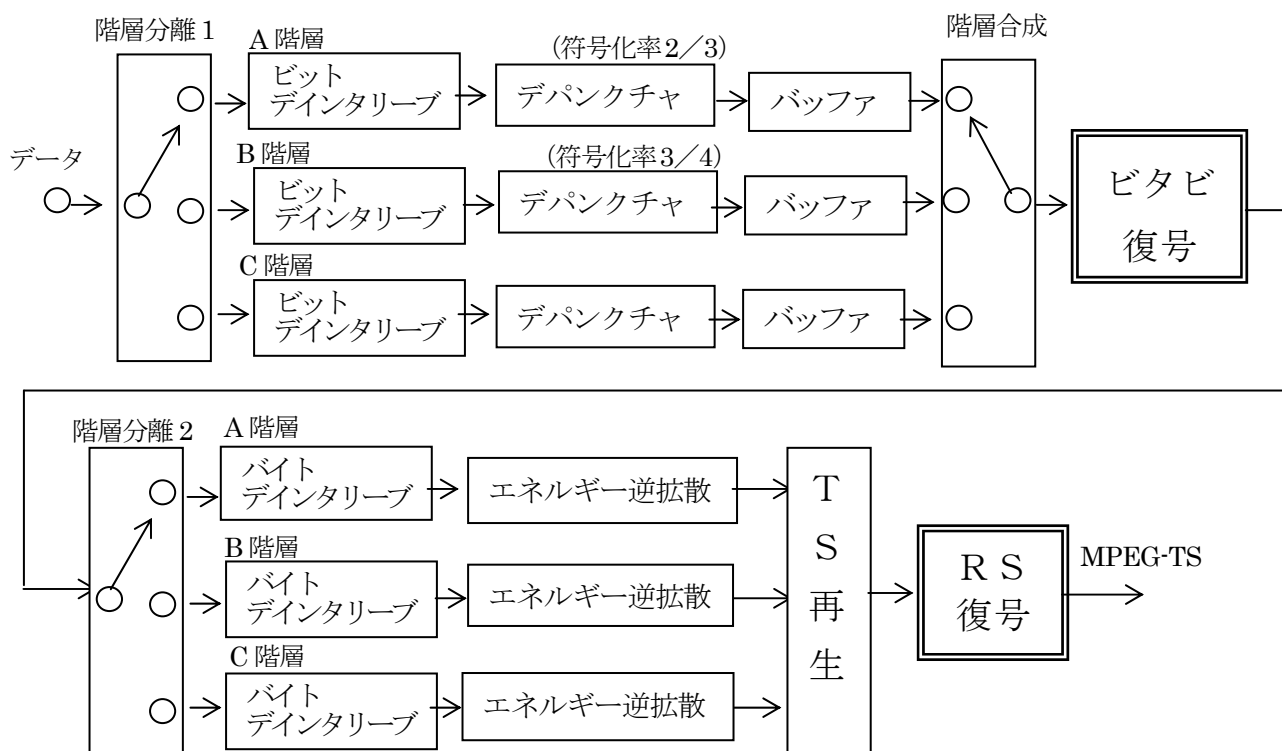


図1 デインターリーブと誤り訂正の回路構成

各回路の動作は次のようになります。
 インターリーブやエネルギー拡散などの詳細な仕様を理解するためには、ARIBの標準規格 STD-B21「デジタル放送用受信装置」ならびに STD-B31「地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式」を参照して下さい。

☆ 階層分離 1

OFDM 復調により符号判定されたデータは、階層伝送を実施している場合には TMCC 情報に基づき各階層に分離します。階層伝送がなされていない場合は階層分離は行われずそのまま通過します。

送信側ではインターリーブとして各階層の 1 シンボル当たりの各ビットにそれぞれ異なる遅延を与えていました。その異なる遅延量を次のビットデインターリーブにて元に戻すためです。

なお、分割は、TS パケットの同期バイト(47H)の次のバイトから、次の TS パケットの同期バイトまでの 204 バイトを単位とします。

☆ ビットデインターリーブ

各データ・キャリアの変調データには、送信側でビットインターリーブが行われていました。これは、QPSK や QAM のマッピングの際にビットごとに異なる遅延時間を与えてキャリア変調のデータを拡散するものでした。これによって畳み込み符号の誤り訂正能力をより高めることができます。受信側ではこれを階層ごとの変調方式に合わせてビットデインターリーブにて元に戻します。

☆ デパンクチャ

デパンクチャ部では、分割された階層ごとに、TMCC 情報により指定された畳み込み符号化率に応じ、畳み込み符号のビット補完を行います。

地上デジタル放送の規格では、伝送信号パラメータの仕様として、畳み込み符号化率が $1/2$ 、 $2/3$ 、 $3/4$ 、 $5/6$ 、 $7/8$ の 5 種類が規定されています。(No43 表 2 参照) これに対応するため、符号化率 $1/2$ で畳み込み符号化したデータから規則的にビットを間引いて、符号化率を変える方法が使われています。ビットを消滅させることをパンクチャーといいますので、この符号はパンクチャード畳み込み符号と呼ばれています。

受信機側では、送信側で間引かれた位置に復号処理に影響を与えない

データ「1」と「0」の中間の値「0.5」を挿入し、送信側で畳み込み符号化された時のビット並びとなるようビットを並び替えます。間引いたビットを規則にしたがって付加することをデパンクチャといいます。

そのビットは無効なビットとして復号します。地上デジタル放送は、符号化率を階層ごとに変えられる仕様になっているので、デパンクチャは階層ごとに行います。符号化率が小さいほど誤り訂正の能力は高くなりますが、その分だけデータの伝送効率が低下してしまうので、そのバランスを考えて運用時の符号化率が決められています。

☆ バッファ～階層合成

ビットインターリーブとデパンクチャ後のデータは、階層ごとのバッファに蓄積されたのち階層合成されます。

☆ ビタビ復号

畳み込み符号を効率的に復号する代表的な方法が“ビタビ復号”です。畳み込み符号は、過去のデータを畳み込んで符号化するもので、地上デジタル放送では、拘束長 7 (7 クロック分の畳み込み) となっています。

受信機側では、ビタビ (Viterbi Decoding) 復号と呼ばれる手法を用いて受信された信号を一定の長さにわたって調べ、その符号列のつながりから最も確かな符号を選択して復号します。ビタビ復号後に残る誤りは、バースト状になるため、さらに、バイト単位のインターリーブで誤りを拡散させ、RS 符号による訂正に委ねます。

畳み込み符号は、1 ビットの入力情報に対して符号化出力は 2 ビットとなるため、符号化率(符号化後のビット数に対する伝送情報のビット数)は、 $1/2$ となります。

ビタビ復号は、性能向上のため軟判定処理を行います。

また、畳み込み符号による誤り伝搬を避けるため、TS パケットの同期バイト(47H) が既知であることを利用し終端処理を行います。

☆ 階層分離 2

送信側で行った各階層のバイト単位に実施した異なる遅延量のバイトインターリーブならびにエネルギー拡散を元に戻すため、再び、階層に分離します。

☆ バイトデインターリーブ

送信時には、RS 符号化後のデータにもインターリーブが行われています。これは、ビタビ複合後の誤りに対する RS 復号の訂正能力を向上させるためのもので、バイト単位で順次遅延量を切り替えるバイトインターリーブでした。受信側で RS 復号前にこのバイトデインターリーブを行うことによってビタビ復号から出力されたバースト誤りに対する訂正能力が高まります。

☆ エネルギー逆拡散

エネルギー拡散とは、キャリアの変調データに同じ値が続くと変調波の振幅に大きなピークが生じたり電力の周波数分布に偏りが生じたりして不都合が起きます。このため、階層ごとにデータと擬似的ランダム符号列との排他的論理和(末尾参照)をとって、データの“0”と“1”が偏りなく出現するようにする逆拡散の処理です。

しかし、データが完全なランダムになっては受信側で元通りに戻せなくなりますので、実際には、PRBS(擬似ランダム符号系列(末尾参照))という固有のパターンを持つ「ランダムに近い符号」が使われます。

PRBS(擬似ランダム符号系列)とは 15 次の M 系列 PN 信号で、これにより生成した信号と TS パケットの同期バイトを除くビット単位で排他的論理和により逆拡散を行います。(末尾参照)

なお、同期バイト期間もシフトレジスタは動作し、OFDM 送信フレームごとに初期化します。

☆ TS 再生

トランスポートストリーム再生のための処理を行います。
この際、TS パケットの順番および PCR (Program Clock Reference

:No 47 参照)の時間的位置が送信側と同じに保たなければなりません。

このため、地上デジタル放送では、送信側と受信側の基準時計の同期を確立する必要があります。この時計は、27MHz で動作する 9 ビット (300 カウント) の下位カウンタと、90kHz で動作する 33 ビット(2^{23} カウント)の上位カウンタで構成され、合計 42 ビットの時計で STC (System Time Clock) と呼ばれます。この STC の校正データを TS で伝送することによって、送信側と受信側の基準時計の同期が確立します。

データの TS パケットへの分割は、TS の同期バイト(0x47=01000111)を参照して、それを先頭とした 204 バイト分のデータを TS パケットの単位とします。また、無効データが続く場合は、ヌル(NULL)・パケット(無効データの packets)を挿入して埋め合わせます。この段階では、データが畳み込み復号されているので 1 パケット分のデータ量は、204 バイト($\times 8$ ビット)の 2 倍、つまり 3264 ビットとなります。

こうして TS 再生部で送信側と同じ TS フレーム構成が再現されます。

☆ RS 復号

受信機でビタビ復号の次に行う誤り訂正が RS (リードソロモン)復号です。畳み込み符号がデータのビット列に対して連続的に符号化を行うのに対して、一定のバイト単位の区切りごとに行う符号化をブロック符号といいます。このブロック符号の代表的なものが RS 符号です。地上デジタル放送では、短縮化 RS 符号(204,188)が使われていて、188 バイトごとのデータに対して 16 バイトのチェックビットを付加して 204 バイトとしたものです。

188 バイトという単位は、MPEG-TS のデータ部分(ペイロード)のパケットサイズで、地上デジタル放送の伝送方式は、この MPEG-TS のパケットがうまく伝送できるようにパラメータが決められています。

RS (リードソロモン)復号は、ブロック符号である各種訂正符号の中でも最も難解な符号です。このため、今回は、ブロック符号の入り口に当たるイレージャー訂正による誤り訂正について 2 回にわたり解説します。

[もっと知りたい方のために]

排他的論理和とは？

デジタル信号処理の基本的な論理の一つで、EXCLUSIVE NOR ともいい、論理素子は次の図 1 のように表示されます。また、入力と出力の真理値は表のようになります。

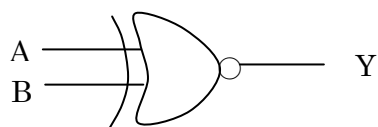


図1 EXCLUSIVE NOR の表示

入力 A および B の信号レベルが異なる場合は出力は「0」を、また、「0」でも「1」でも同じレベルの場合は出力を「1」とします。

| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

表 真理値表

PRBS(擬似ランダム符号系列)によるエネルギー拡散と

エネルギー逆拡散

エネルギー拡散ならびに逆拡散を行う PRBS(擬似ランダム符号系列)は、15 次の M 系列 PN 信号により行うと規定されています。

この符号列は、次の図 2 に示す回路により生成されます。この回路の生成多項式 $g(x)$ ならびに生成回路は次の通りです。

$$g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

⊕ 排他的論理和 (EXCLUSIVE) NOR
 D シフトレジスタ を示します。

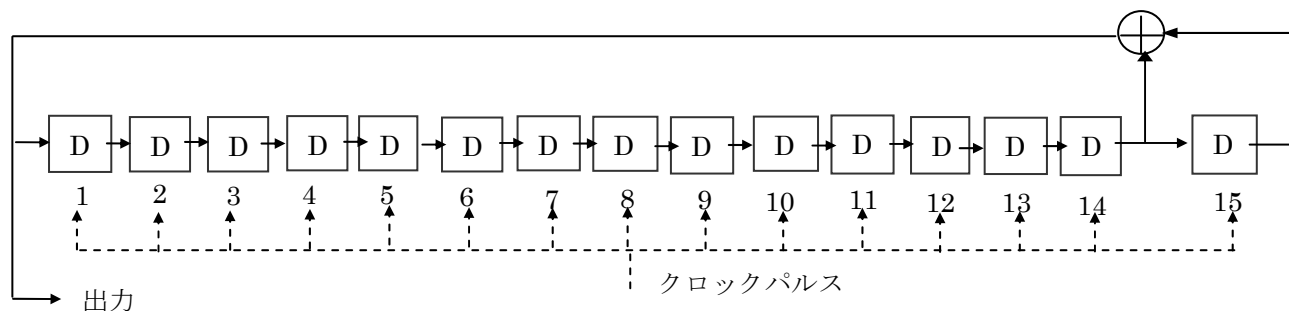


図2 PRBS の生成多項式と回路

動作説明

エネルギー拡散 PRBS の生成回路の初期値は、低次から
“100101010000000” とし、OFDM フレームごとに初期化されます。

クロックパルス毎に入力信号のビットが出力端子に出力されることにより、ビットは右方向にシフトされます。そして 14 次のシフトレジスタの出力と一つ前の 15 番目のシフトレジスタの出力が排他的論理和されこの回路から出力されます。

受信機側では次のように同じ回路によりエネルギー逆拡散が行われます。

エネルギー拡散の際と同様の多項式で発生した PRBS 信号とバイトインターリーブから出力されたビットとの排他的論理和をとることにより、エネルギー逆拡散が実行されます。

PRBS とバイトインターリーブ出力との排他的論理和からエネルギー逆拡散が実現される事例の一部をエネルギー拡散と対比して図 3 に示します。

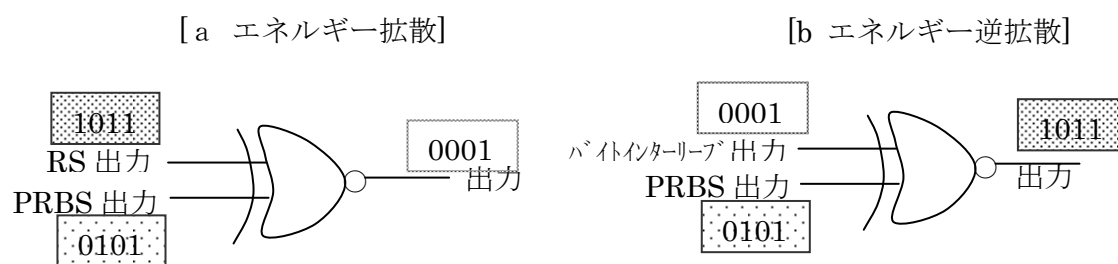


図 3 エネルギー逆拡散事例