

マルチメディア配信システム

- No.13 エラー耐性・変調 -

渡辺 裕

Multimedia Distribution System

- No.13 Error Resilience and Modulation -

Hiroshi Watanabe

地上波テレビジョン方式 (1)

■ 地上波テレビジョン方式の仕様

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T/ SBTV-D-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
映像	MPEG-2	MPEG-2/ MPEG-4/ H.264	MPEG-2/ MPEG-4	MPEG-2(SBTVDはH.264)	不明	H.264	不明
音声	ドルビーデジタル	MPEG-2 BC ドルビーデジタル		MPEG-2 AAC(SBTVDはMPEG-4 AAC)		MPEG-4 BSAC	
外符号	R-S(207, 187, 10)	R-S(204, 188, 8)	BCH	R-S(204, 188, 8)			
外符号インターリーブ	52セグメント 畳み込みバイトインターリーブ	バイト畳み込み インターリーブ (深さ12)		バイト畳み込み インターリーブ(深さ12)			
内符号	トレリス符号 (符号化率: 2/3)	畳み込み符号 (符号化率: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)	低密度パリティ検査 符号(符号化率: 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6)	畳み込み符号(符号化率: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)			
内符号インターリーブ	12トレリス	ビット、周波数	ビット、周波数、時間	ビット、周波数、時間			

Terrestrial TV Broadcasting (1)

■ Specification of terrestrial TV broadcasting

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T/ SBTVD-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
Video	MPEG-2	MPEG-2/ MPEG-4/ H.264	MPEG-2/ MPEG-4	MPEG-2 (SBTVDは H.264)	unknown	H.264	unknown
Audio	Dolby digital	MPEG-2 BC Dolby digital		MPEG-2 AAC(SBTVDは MPEG-4 AAC)		MPEG-4 BSAC	
Outer coding	R-S(207, 187, 10)	R-S(204, 188, 8)	BCH	R-S(204, 188, 8)			
Outer interleave	52 segment convolution interleave	Byte convolution interleave(depth12)		Byte convolution interleave(dep th 12)			
Inner coding	Trellis coding(2/3)	Convolutio n(1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)	Low density parity code (1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6)	Convolution (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)			
Inner interleave	12 trellis	Bit, frequency	Bit, frequency, time	Bit, frequency, time			

地上波テレビジョン方式 (2)

■ 地上波テレビジョン方式の仕様(続き)

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T/ SBTVD-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
搬送波	シングルキャリア	マルチキャリア (CPFDM)	マルチキャリア (CPFDM)	マルチキャリア (BST-COFDM)			
変調方式	8-VSB	QPSK, 16QAM, MR-16QAM, 64QAM, MR- 64QAM	QPSK, 16QAM, MR-16QAM, 64QAM, MR- 64QAM, 256QAM, MR- 256QAM	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM			

Terrestrial TV Broadcasting (2)

■ Specification of terrestrial TV broadcasting (Contd.)

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T/ SBTVD-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
Carrier	Single Carrier	Multi –carrier (CPFDM)	Multi-Carrier (CPFDM)	Multi-Carrier (BST-COFDM)			
Modulation	8-VSB	QPSK, 16QAM, MR-16QAM, 64QAM, MR- 64QAM	QPSK, 16QAM, MR-16QAM, 64QAM, MR- 64QAM, 256QAM, MR- 256QAM	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM			

地上波テレビジョン方式 (3)

■ 地上波テレビジョン方式の特徴

	ATSC	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T/ SBTVD-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
マルチパス耐性	×	○	○	○			
同一周波数中継	×	○	○	○			
移動時の受信	×	○	○	○	○	○	○
インパルスノイズ耐性	×	○	○	○			
セグメント単位での運用	×	×	×	○			
主な採用地域	米国・カナダ・メキシコ・韓国	欧州・ロシア・トルコ・豪州・南アフリカ・サウジアラビア・イラン・インド・インドネシア・タイ・台湾	イギリス・フィンランド	日本・ブラジル・アルゼンチン・ペルー・チリ・ベネズエラ・エクアドル・ボリビア・フィリピン	欧州	韓国(移動体向けのみ採用)	中国

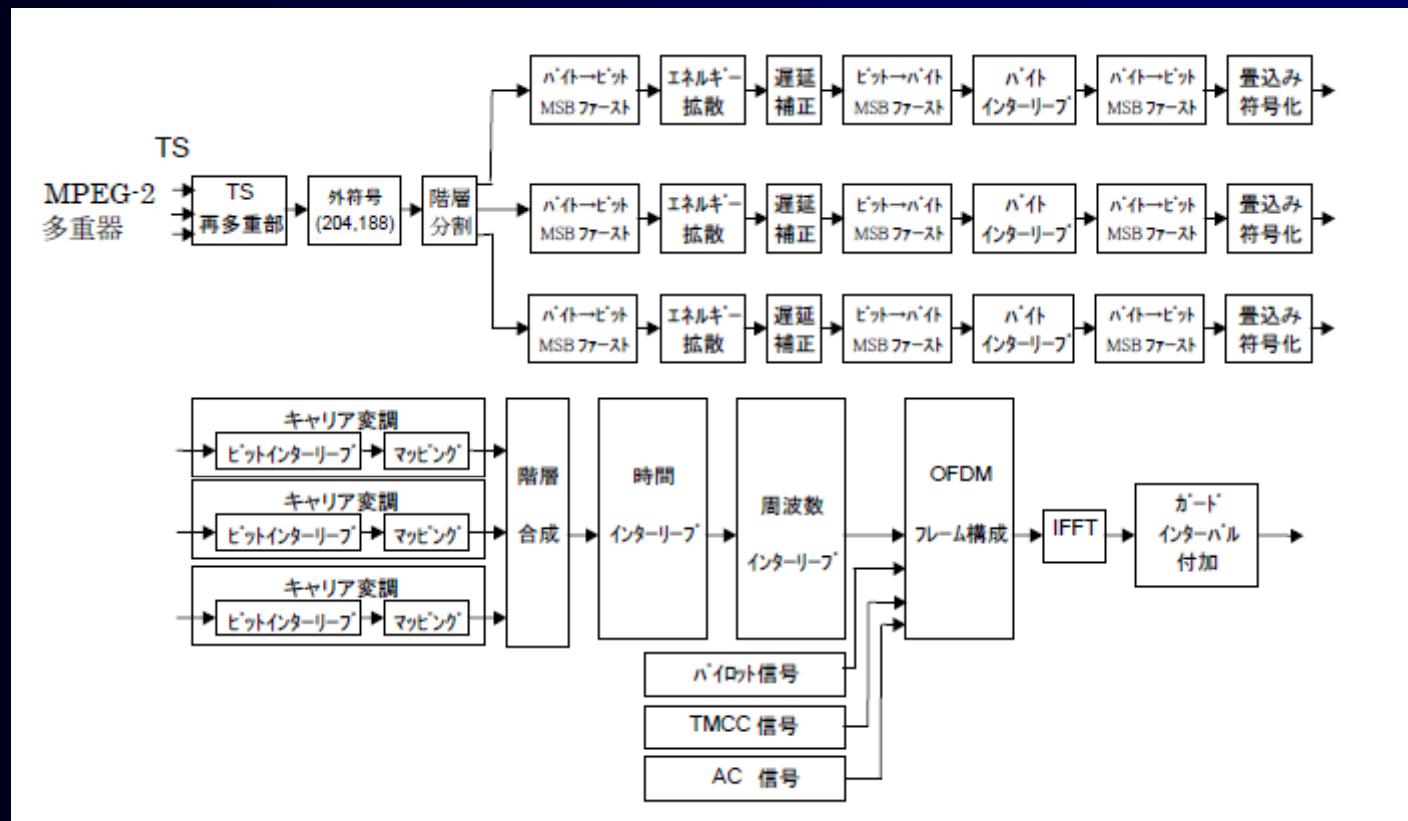
Terrestrial TV Broadcasting (3)

■ Characteristics of terrestrial TV broadcasting

	ATSC	DVB-T	DV B- T2	ISDB-T/ SBTVD-T	DVB-H	T-DMB	CDMB-T
Multi-path	×	○	○	○			
Same frequency connection	×	○	○	○			
Mobile receiver	×	○	○	○	○	○	○
Impulse noise	×	○	○	○			
Operation at segment unit	×	×	×	○			
location	USA, Canada, Mexico, Korea	Europe, Russia, Turkey, Australia, South Africa, Saudi Arabia, India, Indonesia, Thai, Taiwan	UK, Finl and	Japan, Brazil, Argentina, Peru, Chili, Venezuela, Ecuador, Bolivia, Philippine	Europe	Korea (mobile)	China

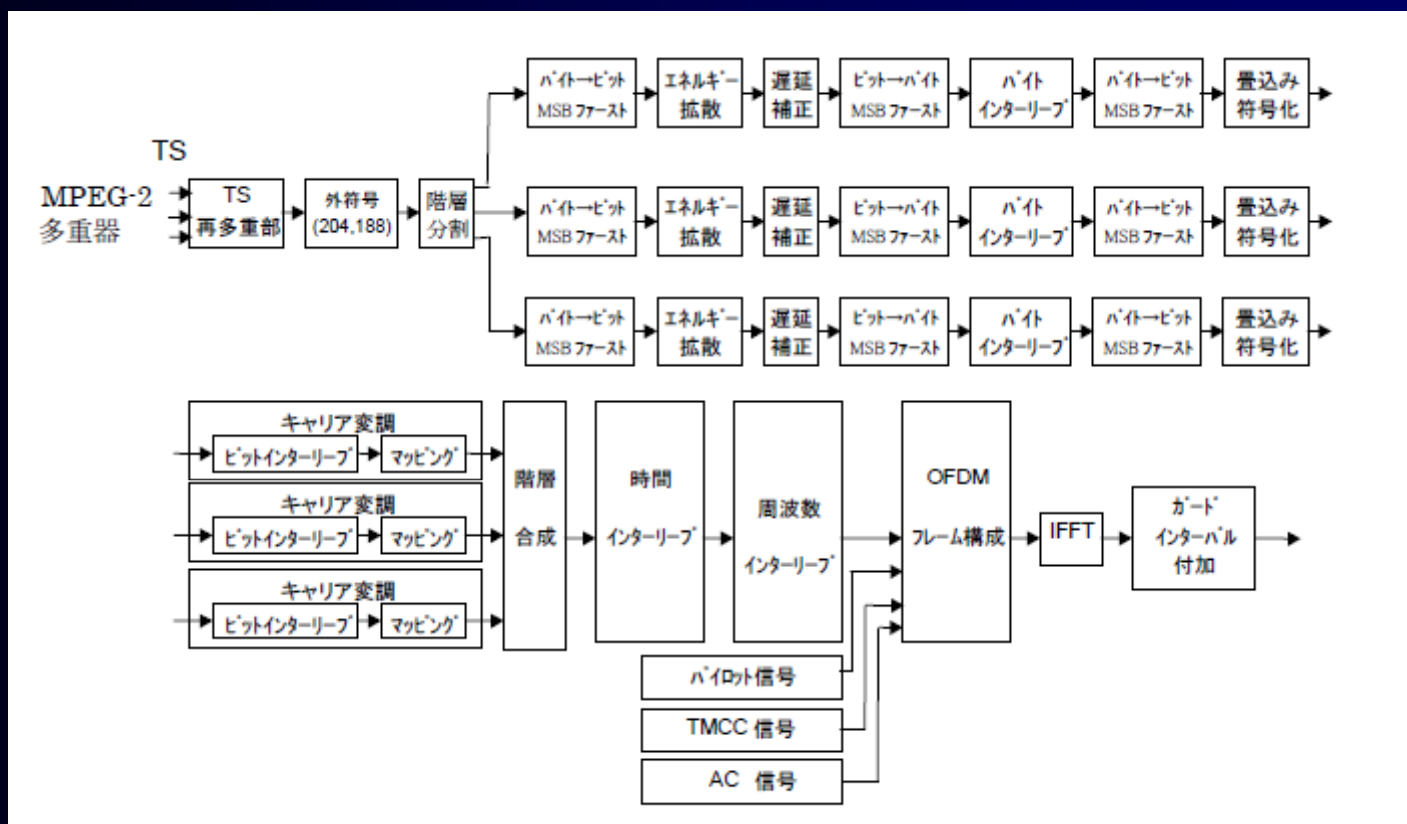
ISDB-T 伝送路符号化部

■ ISDB-T基本構成



ISDB-T Channel Coding

■ ISDB-T Basic Scheme



外符号誤り訂正 (1)

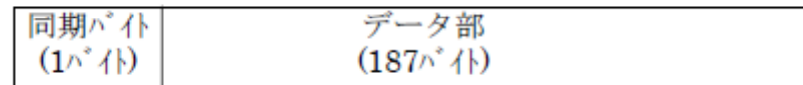
- TS再多重後のトランスポートストリームパケットに対して誤り訂正
 - RS(204,188)
 - RS(255,239)において入力データバイトの前に51バイトの 00_{HEX} を付加
 - 符号化後に先頭の51バイトを除去
 - 204バイト中8バイトまでのランダム誤りを訂正可能
 - RSの元
 - $GF(2^8)$ で定義
 - 原始多項式 $p(x)=x^8+x^4+x^3+x^2+1$
 - 短縮化RS符号(204,188)の生成多項式 $g(x)$
 $g(x)=(x-\lambda^0)(x-\lambda^1)(x-\lambda^2)\dots (x-\lambda^{15}), \quad \lambda=02_{HEX}$

Outer Error Correction (1)

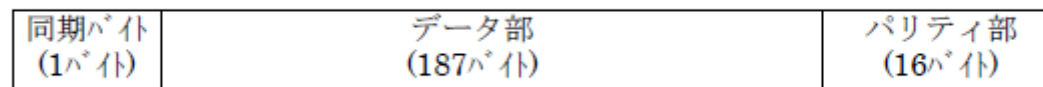
- Error correction to TS packet after re-multiplexing
 - RS(204,188)
 - 51 byte 00_{HEX} is added in front of the input data at RS(255,239)
 - After coding, heading 51 byte is removed
 - Random 8 byte error in 204 byte can be corrected
 - Element of RS
 - Defined in $GF(2^8)$
 - Primitive polynomial $p(x)=x^8+x^4+x^3+x^2+1$
 - Generator polynomial for short RS(204,188)
 $g(x)=(x-\lambda^0)(x-\lambda^1)(x-\lambda^2)\dots(x-\lambda^{15}), \quad \lambda=02_{HEX}$

外符号誤り訂正 (2)

■ MPEG-2 TSと伝送TSP



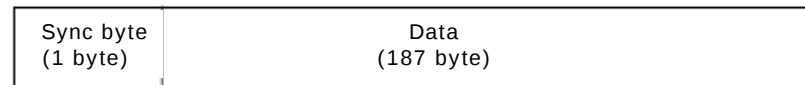
(a) MPEG2 TSP



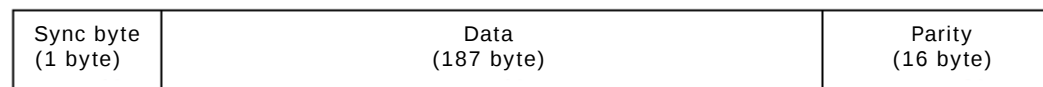
(b) RS符号によって誤り保護されたTSP (伝送TSP)

Outer Error Correction (2)

■ MPEG-2 TS and transmitted TSP



(a) MPEG2 TSP



(b) TSP with error correction by RS code (Transmitted TSP)

階層分割

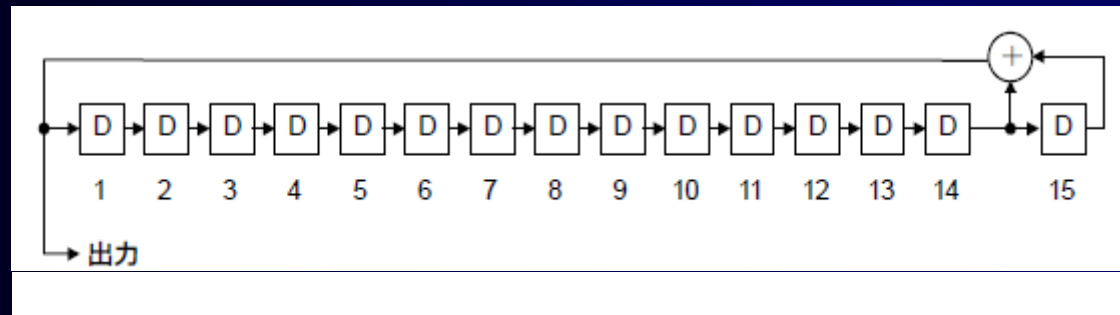
- 再多重, 誤り訂正符号化後のTSを204バイト単位で指定された階層に分割
 - ー 最大3階層 (ex. STD-TV 3チャンネル)
 - ー 最小1階層 (ex. HDTV 1チャンネル)

Layer Separation

- Divide TS in every 204 byte to designated layer after re-multiplexing, error correction coding
 - Maximum 3 layer (ex. STD-TV 3 channel)
 - Minimum 1 layer (ex. HDTV 1 channel)

エネルギー拡散

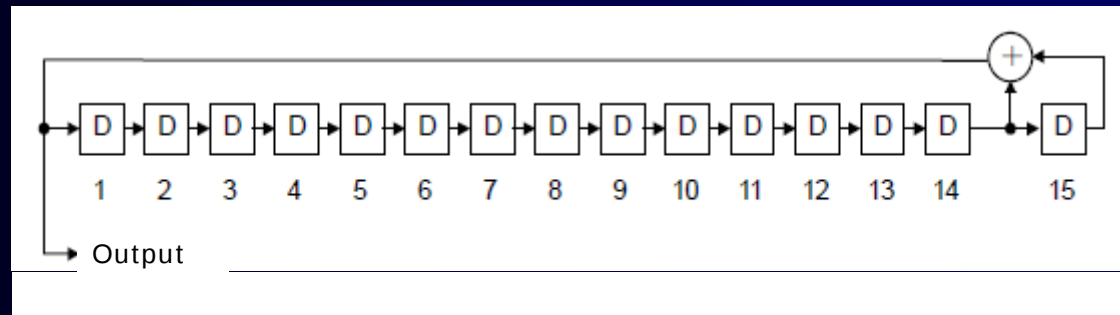
- 疑似ランダム符号系列(PRBS)によるエネルギー拡散
 - ー 各階層の伝送TSPに対して処理
 - ー 同期バイトを除く信号とPRBSとのビット単位の排他的論理和
 - ー OFDMフレーム毎に初期化, 初期値: 1001010100000000
 - ー PRBSの生成多項式 $g(x)=x^{15}+x^{14}+1$



PRBSの生成回路

Energy Spread

- Energy spread by Pseud-Random Binary Series (PRBS)
 - Process to each layer's transmission TSP
 - EOR to signal without sync and PRBS at every bit
 - Initialize at each OFDM frame, initial value: 1001010100000000
 - Generator polynomial for PRBS $g(x)=x^{15}+x^{14}+1$



Generation circuit for PRBS

インターリーブ (1)

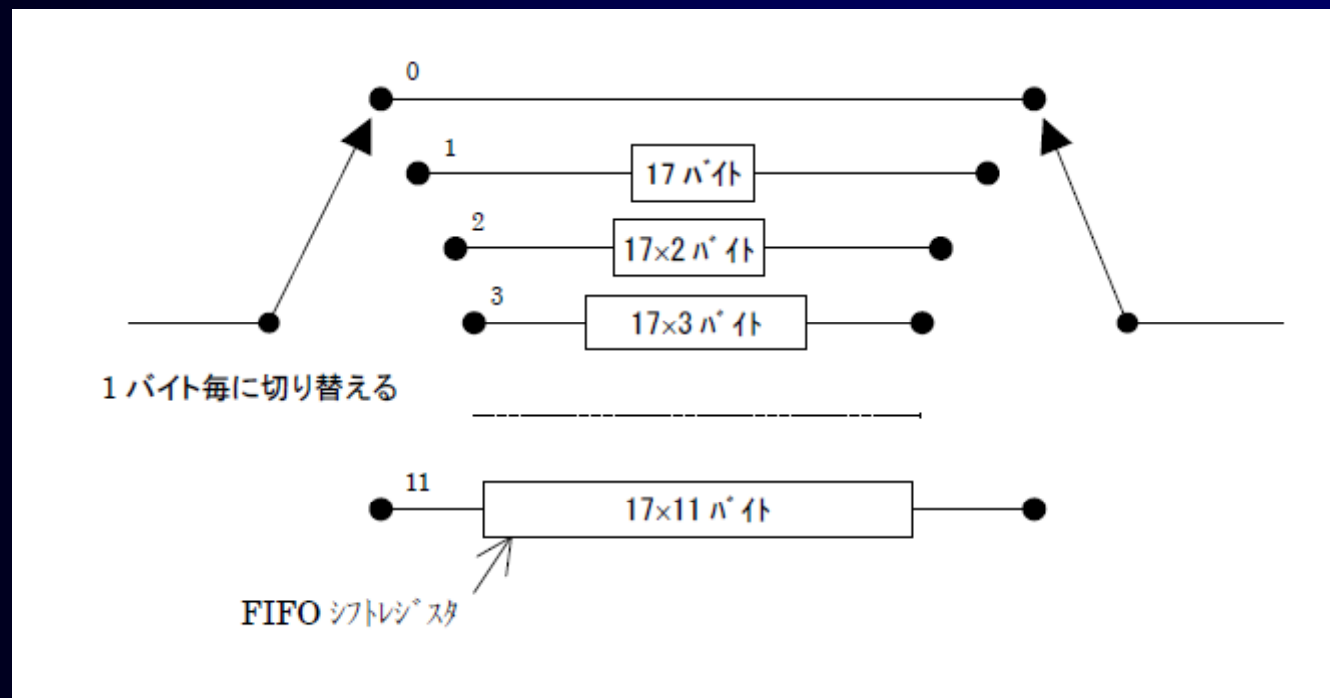
- インターリーブの目的
 - ー 送信エラーは通常,エラーバーストとして起きる
 - ー インターリーブにより送信データに対して均等にエラーを分散
 - ー チャンネル復号化をより効率的に動作させる
- インターリーブの処理
 - ー 送信装置における畳み込みインターリーブは, ビットあるいはバイト単位にデータをスイッチして深さの異なるバッファを通過させることで, データの並び順を変更

Interleave (1)

- Purpose of interleave
 - Normally, transmission error occurs as burst
 - Error will be randomized by interleaving transmission data
 - Operate channel coding more effectively
- Process of interleave
 - Convolved interleave is to make bit or byte data go through different depth buffer, result in changing the order of data

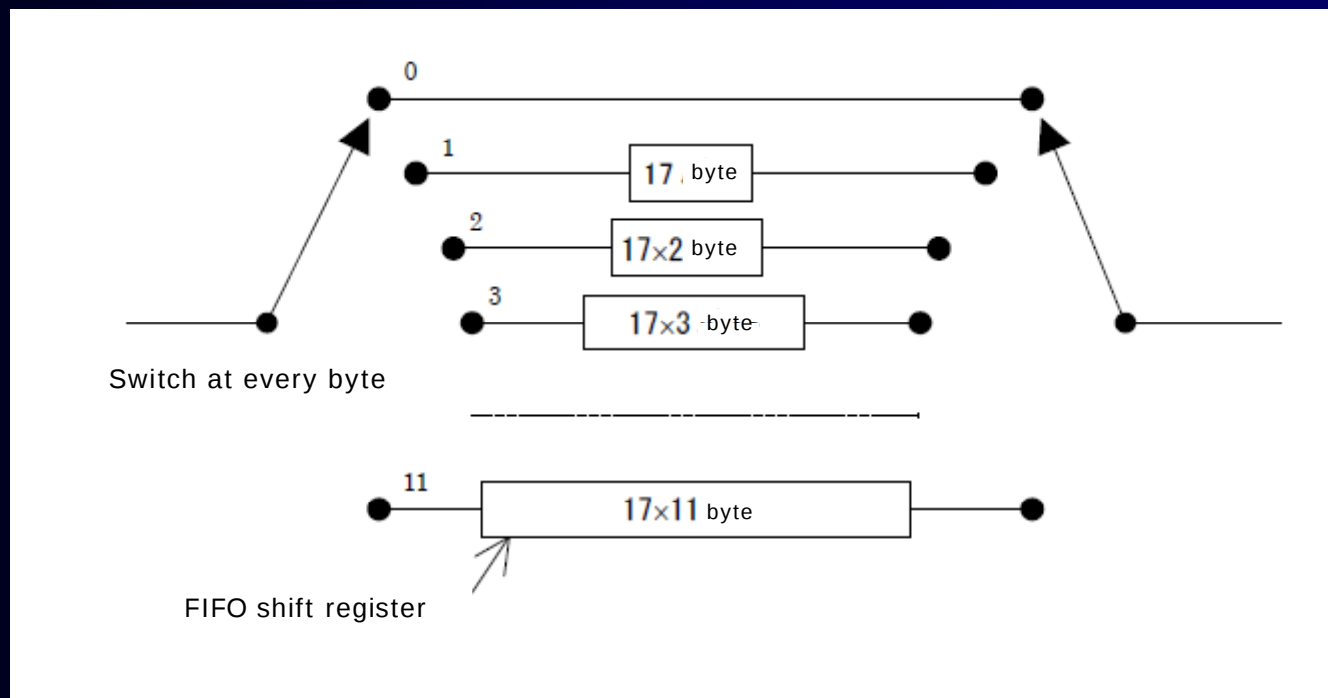
インターリーブ (2)

- 畳み込みバイトインターリーブ
 - ー 深さ12バイト
 - ー 同期バイトの次のバイトは遅延のないパスを通す



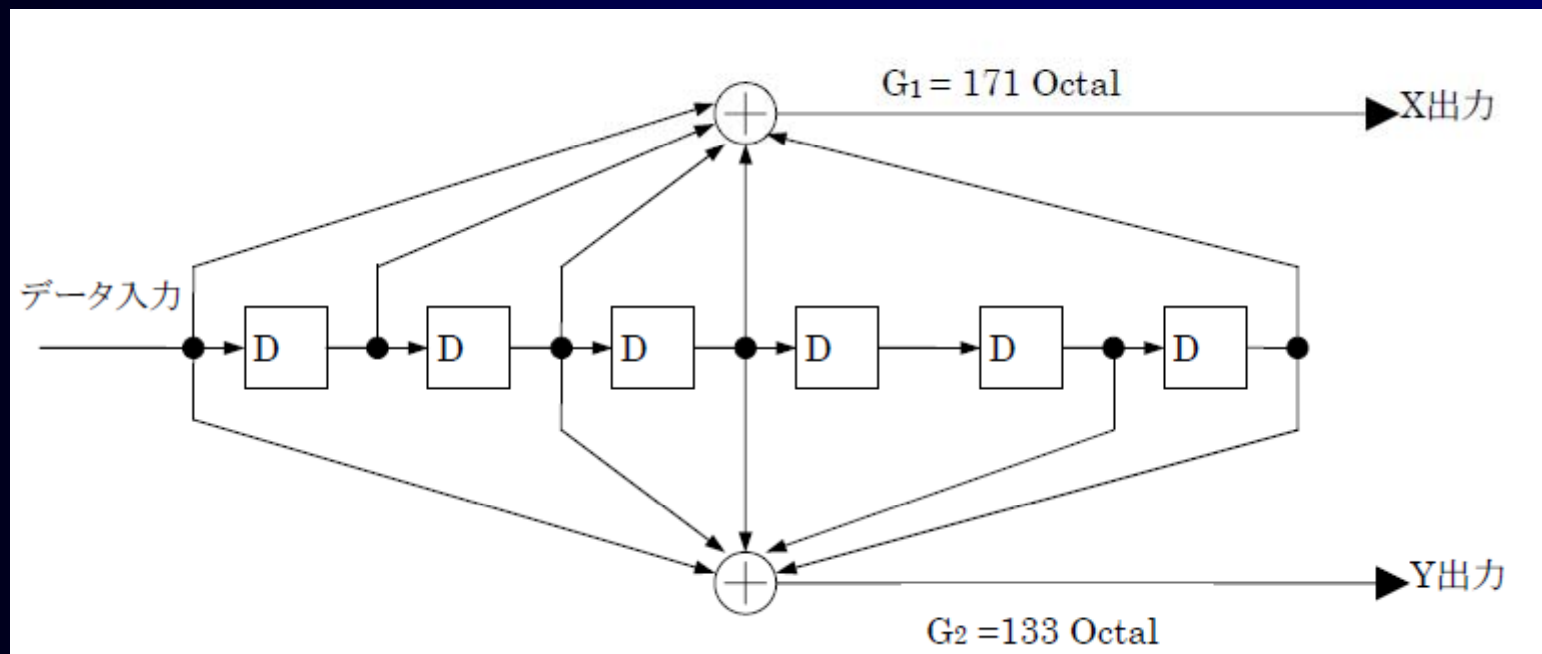
Interleave (2)

- Convolved interleave
 - Depth 12 byte
 - No-delay path is used after synchronization byte



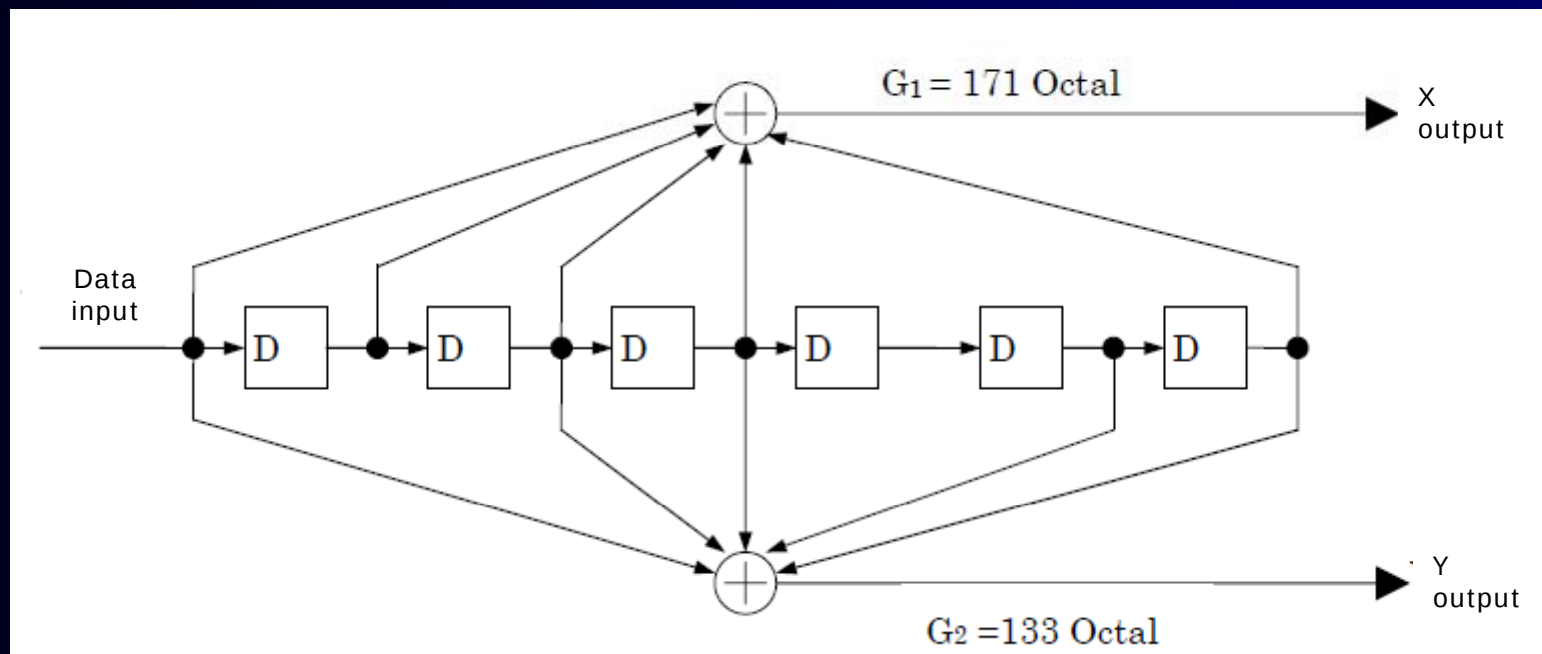
内符号誤り訂正 (1)

- パンクチャード畳み込み符号(m/n畳み込み)
 - マザーコードは拘束長 $k=7$, 符号化効率 $1/2$ (2倍に増大)
 - 生成多項式 $G_1=171_{\text{oct}}$, $G_2=133_{\text{oct}}$



Inner Error Correction (1)

- Punctured Convolution Code (m/n convolution)
 - Mather code length $k=7$, coding rate $1/2$ (twice)
 - Generator polynomial $G_1=171_{\text{oct}}$, $G_2=133_{\text{oct}}$



内符号誤り訂正 (2)

■ 内符号の符号化効率と伝送信号系列

符号化率	パングチャ化パターン	伝送信号系列
1/2	X: 1 Y: 1	X_1, Y_1
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	X_1, Y_1, Y_2
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	X_1, Y_1, Y_2, X_3
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_4, X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, X_5, Y_6, X_7$

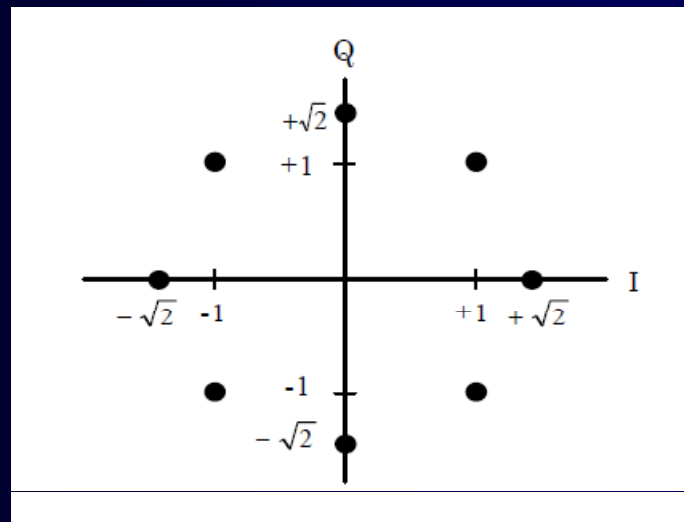
Inner Error Correction (2)

- Coding rate and series for inner error correction

Coding rate	Puncture pattern	Transmitted signal series
1/2	X: 1 Y: 1	X_1, Y_1
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	X_1, Y_1, Y_2
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	X_1, Y_1, Y_2, X_3
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_4, X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, X_5, Y_6, X_7$

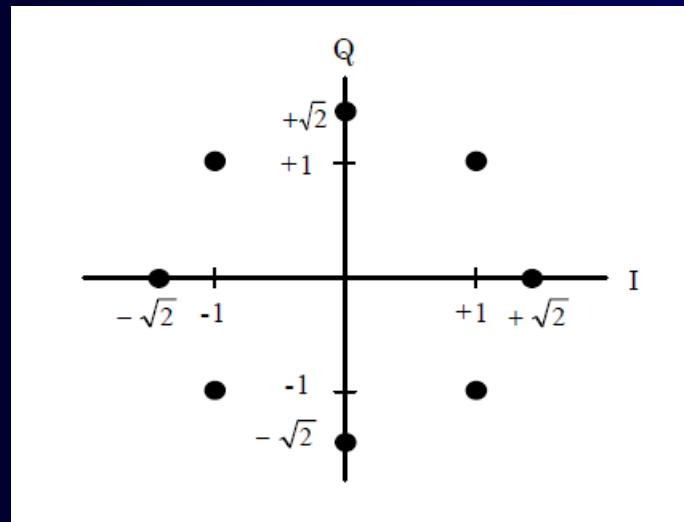
キャリア変調 (1)

- DQPSK変調 (差動四相位相偏移変調, Differential Quadrature Phase Shift Keying)
 - 変調された4つの位相にそれぞれ2ビットのデータを割り当てる方式
 - QPSKが情報を直接的に搬送波の位相に対応させるのに対し、DQPSKは直前の搬送波との差分を利用して情報を与える



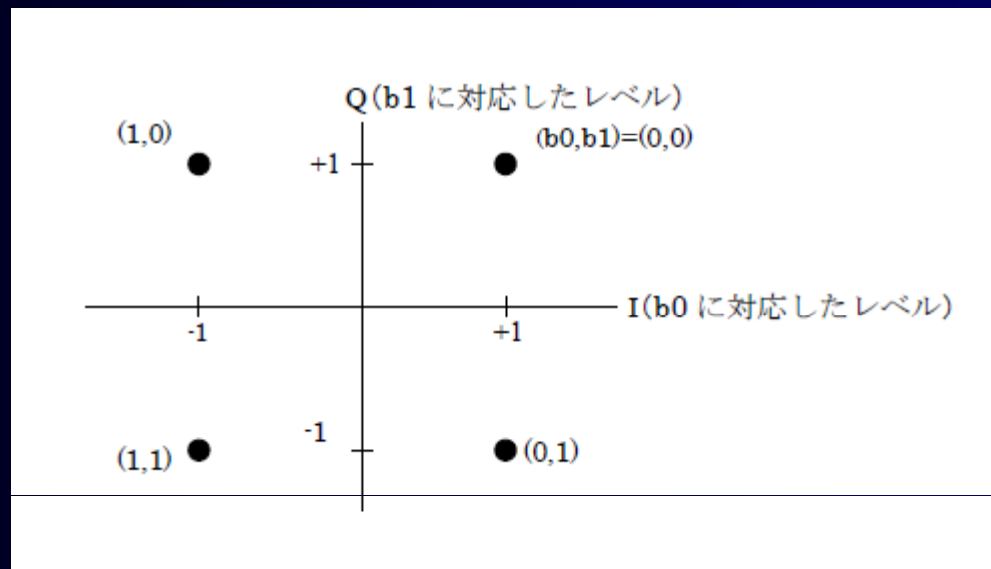
Carrier Modulation (1)

- Differential Quadrature Phase Shift Keying (DQPSK)
 - Two bit data is assigned to each modulated 4 phase
 - DQPSK use difference with the previous carrier, where as QPSK directly corresponds to carrier phase



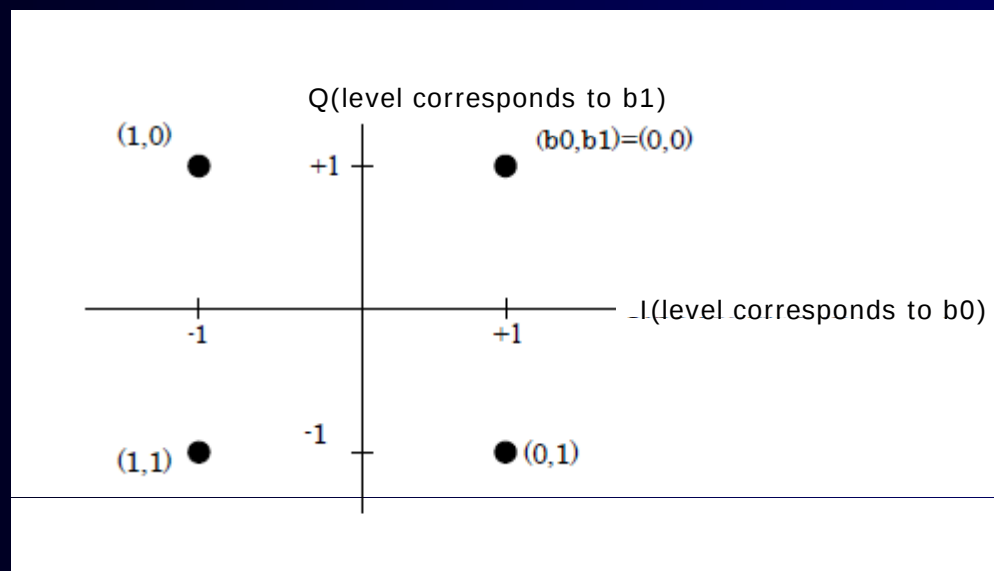
キャリア変調 (2)

- QPSK変調(四相位相偏移変調, Quadrature Phase Shift Keying)
 - ー 搬送波の位相の変化に4つの値を持たせる方式



Carrier Modulation (2)

- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
 - Four values are assigned to the phase of carrier



キャリア変調 (3)

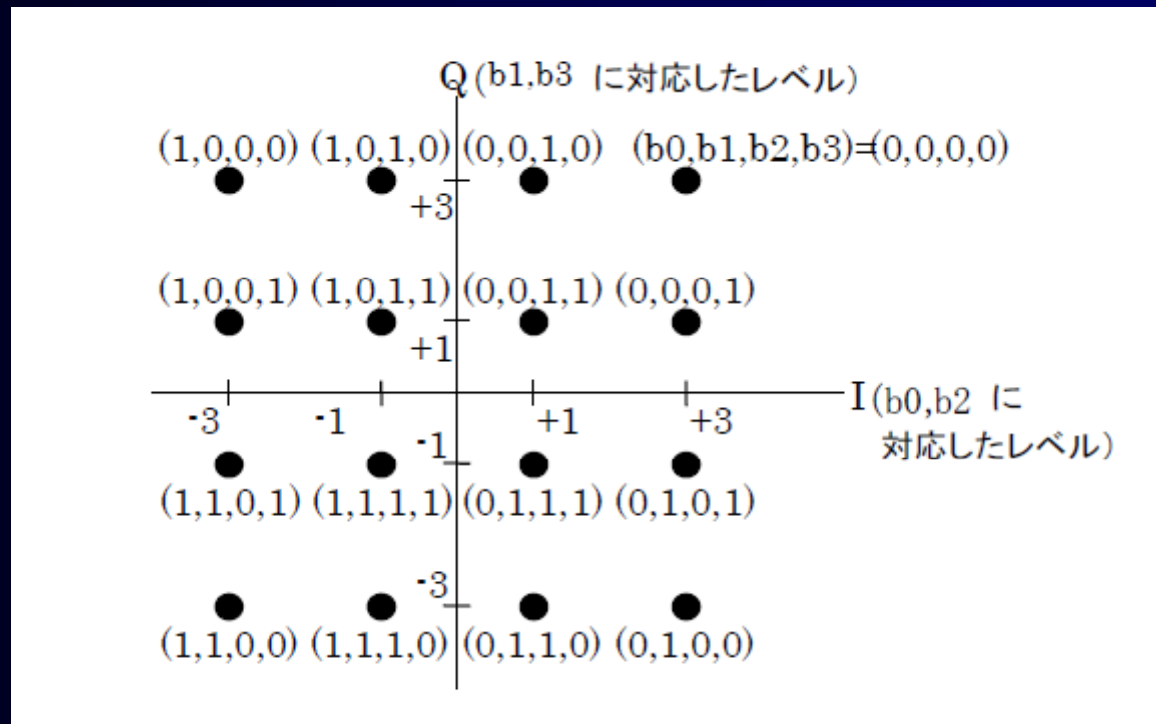
- QAM変調 (直交位相振幅変調, Quadrature Amplitude Modulation)
 - 多値のASK(Amplitude Shift Keying, 振幅偏移変調)を直交位相変調することで, 位相変化と振幅変化を組み合わせた変調方式
 - 1シンボルあたり送れる状態数を多くできるため伝送効率が良い
 - シンボル間の振幅・位相距離が近くなるため, 必要とするC/N比はPSKなどに比べると高い
 - ISDB-Tでは, 16QAMと64QAMが準備されている

Carrier Modulation (3)

- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
 - By multi-valued ASK (Amplitude Shift Keying) is modulated with orthogonal phase, amplitude and phase are combined and thus modulated
 - Good transmission efficiency since there are many status for 1 symbol
 - Needs high C/N ratio compared with PSK since amplitude and phase distance between symbols are short
 - 16QAM and 64QAM are prepared in ISDB-T

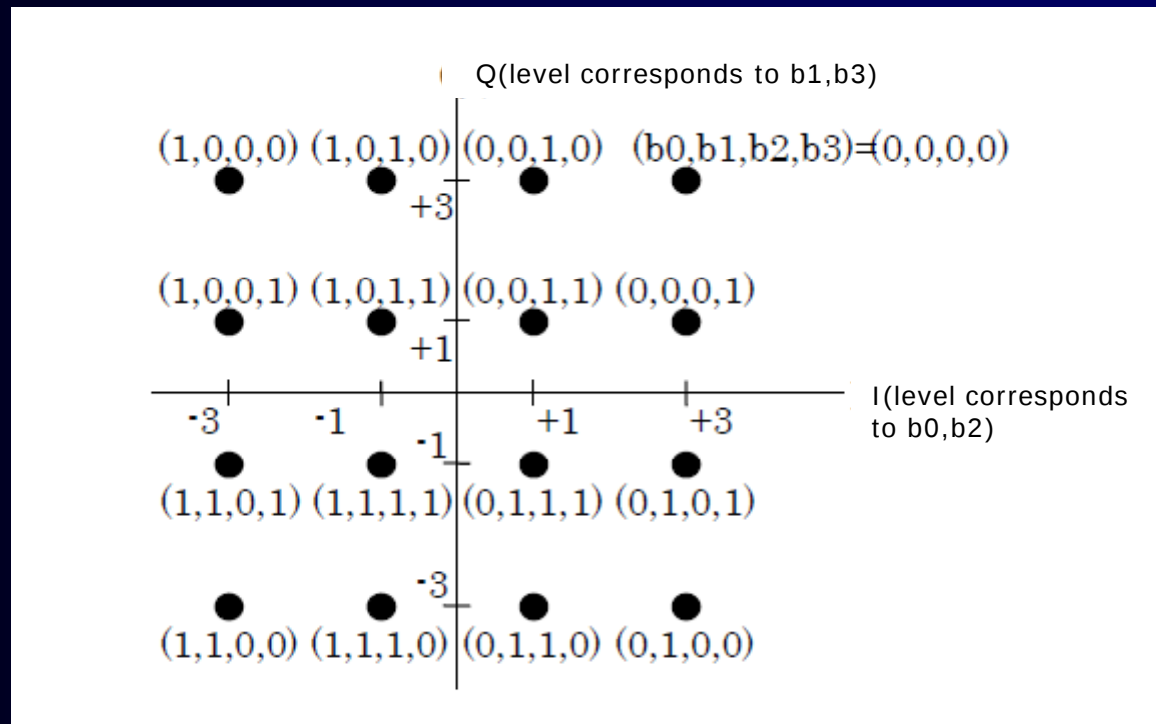
キャリア変調 (4)

■ 16QAMの位相図



Carrier Modulation (4)

■ Phase map of 16QAM



多搬送波の変調方式 (1)

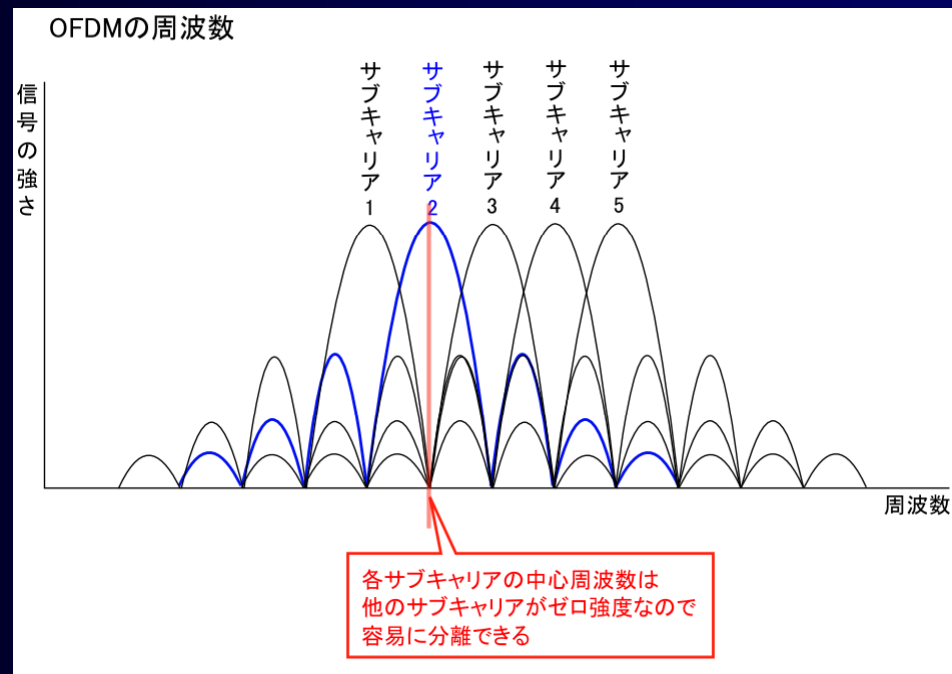
- OFDM (直交周波数分割多重方式, Orthogonal Frequency Division Multiplex)
 - 多数の搬送波を使用し, 変調する信号波の位相が隣り合う搬送波間で直交するようにし, 搬送波の帯域を一部重ね合わせて周波数帯域を有効利用する方式
 - 個別の搬送波には直交位相振幅変調が用いられる
 - サブキャリアは高速フーリエ変換(FFT)アルゴリズムを用いて効率的に区別
 - 高周波の減衰, マルチパスによる狭帯域干渉や周波数選択性(フェージング)等に強い特性を持つ

Multi-Carrier Modulation (1)

- Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)
 - Many carriers are used, modulated signal phases are orthogonal in the neighboring carrier, frequency band of carriers are partially overlapped
 - Each carrier uses QAM
 - Subcarrier are distinguished effectively by using FFT
 - Tough against high frequency attenuation, band interference by multi-path, frequency selectivity (fading)

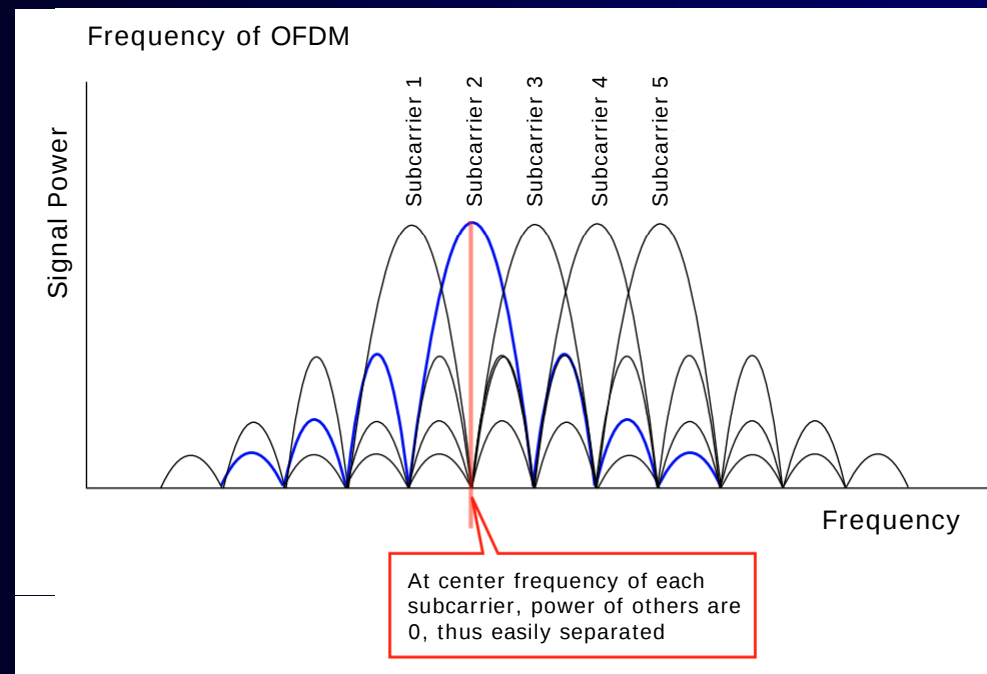
多搬送波の変調方式 (2)

■ OFDMの周波数



Multi-Carrier Modulation (2)

■ Frequencies of OFDM



VSB

- VSB (残留側波帯, Vestigial Sideband)
 - 情報を搬送波の強弱で伝達する振幅変調方式
 - ある信号を振幅変調した周波数スペクトラムは、搬送波周波数を中心として、元の信号のスペクトラムが両方の側波帯に保存される
 - これをそのまま伝送するのがDSB(double sideband:両側波帯)伝送、上側波帯あるいは下側波帯のいずれか一方だけを伝送する方式がSSB(single sideband:単側波帯)伝送である
 - VSBはDSBとSSBの中間に相当する方式であり、理想的な帯域通過フィルタの実現が不可能であることから、フィルタの遮断周波数特性を緩やかにして、消去する側波帯のスペクトラムを少し残留させて伝送する方式
 - ATVでは8値VSBを用いる

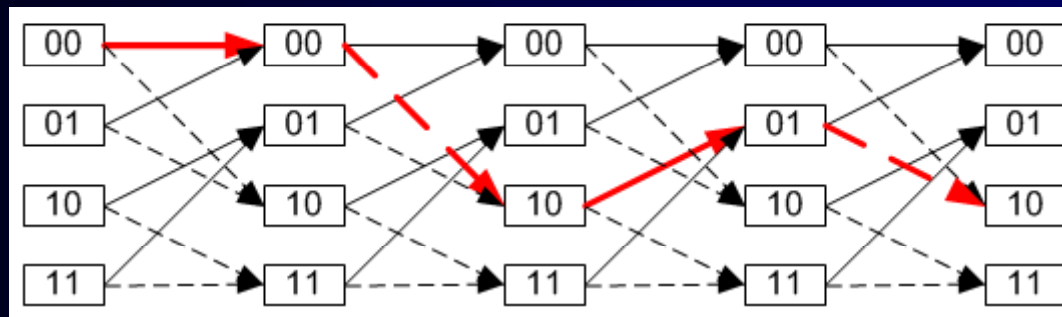
VSB

- Vestigial Sideband (VSB)
 - Amplitude of carrier is modulated
 - Normally, modulated spectrum is located at the upper and lower side of a carrier frequency
 - If both sides are transmitted, it is called DSB (double sideband), if one side is transmitted, it is called SSB (single sideband)
 - VSB is in between DSB and SSB. Since idealistic filter implementation is impossible, roll-off characteristics is relaxed. As a result, some remained spectrum can be included in VSB.
 - ATV uses 8-VSB

トレリス符号化

■ トレリス符号変調

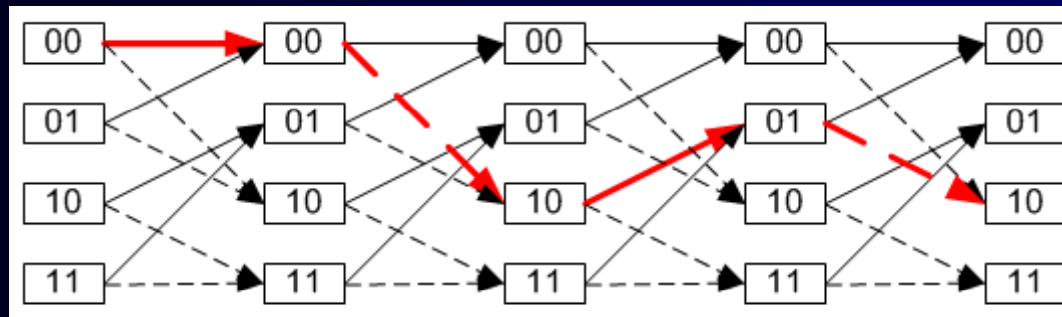
- ー 帯域制限された伝送路において、高効率伝送を可能にする変調方式
- ー 畳み込み符号($r, r+1$)の一種であり、ビットストリームではなくシンボルに適用
- ー モデム 14.4kbps-34.3kbpsで使用



トレリスダイヤグラムの例

Trellis Coding

- Trellis coding
 - Modulation which enables efficient transmission under band-limited channel
 - It is a kind of convolution coding $(r, r+1)$, applied to symbol, not to bitstream
 - 14.4kbps-34.3kbps modem use trellis



Example of trellis diagram

情報源符号化におけるエラー耐性

- エラー耐性符号の導入
 - 指数Golomb符号
 - Reversible VLC
- 同期
 - スライス同期
 - 再同期マーカ
 - データパーティショニング
- エラーコンシールメント

Error Resilience at Source Coding

- Introduction of error resilient code
 - Exponential Golomb code
 - Reversible VLC
- Synchronization
 - Slice header
 - Re-sync marker
 - Data partitioning
- Error Concealment

指数Golomb符号

■ 指数Golomb符号

- MPEG-4 AVCにおいて採用
- ピクチャヘッダなど重要なデータに適用
- Prefix (“0”の連続) + Separator (“1”) + Suffix (“0”/”1”の組み合わせ)

指数Golomb符号		
	1	
0	1	x
0 0	1	x x
0 0 0	1	x x x
0 0 0 0	1	x x x x

Exponential Golomb Code

- Exponential Golomb Code
 - Adopted in MPEG-4 AVC
 - Apply to important data such as picture header
 - Prefix (Consecutive “0”) + Separator (“1”) + Suffix (Combination of “0” and “1”)

Exponential Golomb Code		
	1	
0	1	x
0 0	1	x x
0 0 0	1	x x x
0 0 0 0	1	x x x x

Reversible VLCと再同期マーカ

- 双方向VLC
 - MPEG-4で採用
 - ビットストリーム中で逆方向からでも一意に復号可能
- 再同期マーカ
 - スライス毎ではなくデータの一定間隔で挿入
- データパーティショニング
 - 動きベクトル情報とDCT係数を分離(モーションマーカによる)



Reversible VLC and Re-sync Maker

- Reversible VLC
 - Adopted in MPEG-4
 - Uniquely decodable from reverse direction in a bitstream
- Re-sync marker
 - Inserted with a constant period, not every slice
- Data partitioning
 - Separate motion vector data and DCT data by motion marker



エラーコンシールメント

- エラーコンシールメント
 - DCT係数に誤りがある場合
 - 動きベクトルを用いて直前のフレームを動かして画像生成
 - 動きベクトルに誤りがある場合
 - 直前のフレームの画像をマクロブロック単位にコピーして貼付け
 - スライスヘッダに誤りがある場合
 - 次のスライスで同期を回復
 - 該当スライスのデータは直前のフレームのスライス画像をコピーして貼付け

Error Concealment

- Error Concealment
 - Error in DCT coefficient data
 - Image is created by applying motion vector to the previous frame image
 - Error in motion vector data
 - Copy and paste of the previous frame image with macroblock basis
 - Error in slice header
 - Recover synchronization at the next slice
 - Missed slice data is pasted by copying the previous frame image