

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5153036号
(P5153036)

(45) 発行日 平成25年2月27日 (2013. 2. 27)

(24) 登録日 平成24年12月14日 (2012. 12. 14)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 4 L 27/34 (2006. 01)	HO 4 L 27/00	E
HO 3 M 13/05 (2006. 01)	HO 3 M 13/05	
HO 3 M 13/15 (2006. 01)	HO 3 M 13/15	
HO 4 B 14/04 (2006. 01)	HO 4 B 14/04	D
HO 4 L 1/00 (2006. 01)	HO 4 L 1/00	B

請求項の数 25 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2001-106868 (P2001-106868)	(73) 特許権者	596092698
(22) 出願日	平成13年4月5日 (2001. 4. 5)		アルカテルルーセント ユーエスエー
(65) 公開番号	特開2001-352357 (P2001-352357A)		インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成13年12月21日 (2001. 12. 21)		アメリカ合衆国 07974 ニュージャ
審査請求日	平成20年4月7日 (2008. 4. 7)		ーシー, マレイ ヒル, マウンテン アヴ
(31) 優先権主張番号	60/195506	(74) 代理人	100094112
(32) 優先日	平成12年4月6日 (2000. 4. 6)		弁理士 岡部 譲
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100106183
(31) 優先権主張番号	09/765754		弁理士 吉澤 弘司
(32) 優先日	平成13年1月19日 (2001. 1. 19)	(72) 発明者	シー ヨン チャン
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国、02139 マサチュー
前置審査			セッツ州、ケンブリッジ、メモリアル ド
			ライブ 1406、540

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 通信システムにおける多重レベル符号化方法及び多重レベル復号化方法並びに通信システムにおける多重レベル符号化装置並びに通信システムにおける多重レベル符号化方法のソフトウェアを

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

通信システムにおいて一連の情報ビットを多重レベル符号化するための多重レベル符号化方法であって、

A) 一連の情報ビットを複数の異なる部分に分割するステップと、

B) 前記情報ビットの各部分を複数のレベルの1つに関連づけるステップと、

C) 前記複数のレベルの指定されたサブセットに含まれる1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化され、前記指定されたサブセットに含まれない1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化されないように、前記指定されたサブセットに含まれる各レベルの前記情報ビットの部分に少なくとも1つの符号を適用するステップと、

D) システムにおける送信用の変調シンボルを選択するために前記情報ビットの符号化された部分及び前記情報ビットの符号化されない部分の両方をともに利用するステップとを有し、

前記一連の情報ビットは、複数のフレームの情報ビットを含み、前記複数のフレームの各々は異なるクラスのビットを含み、前記異なるクラスのビットの各々は重要度の異なるレベルを有し、

前記一連の情報ビットの各部分は、時間ダイバシティを提供するように前記複数のフレームの各々の少なくとも一部を含み、指定された量のエラー保護が提供されるように異なるクラスのビットを含む

ことを特徴とする多重レベル符号化方法。

【請求項 2】

前記一連の情報ビットは一連のソース符号化された情報ビットからなることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 3】

全部で m 個のレベルが有り、前記変調シンボルは 2^m の変調型の信号セットから選択されることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 4】

前記符号はブロック符号からなることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

10

【請求項 5】

前記符号は重畳符号と連結されたブロック符号からなることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 6】

前記符号は巡回冗長検査 (CRC) 符号からなることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 7】

前記複数のレベルは最低レベルから最高レベルまで配列された全部で m 個のレベルからなり、指定されたレベルのサブセットには前記最低レベルを有することを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

20

【請求項 8】

前記複数のレベルは最低レベルから最高レベルまで配列された全部で m 個のレベルからなり、指定されたレベルのサブセットには前記最低レベルから始まる隣接した一連の $i_{m a x}$ (ただし $i_{m a x} < m$) 個のレベルを有することを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 9】

前記 m を 5 としかつ前記 $i_{m a x}$ を 4 とすることにより、全部で 5 個のレベルのうち 1 個のレベルは符号化されず 4 個のレベルは符号化されることを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 10】

前記 m を 5 としかつ前記 $i_{m a x}$ を 3 とすることにより、全部で 5 個のレベルのうち 2 個のレベルは符号化されず 3 個のレベルは符号化されることを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

30

【請求項 11】

前記 m を 5 としかつ前記 $i_{m a x}$ を 2 とすることにより、全部で 5 個のレベルのうち 3 個のレベルは符号化されず 2 個のレベルは符号化されることを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 12】

前記 m を 4 としかつ前記 $i_{m a x}$ を 3 とすることにより、全部で 4 個のレベルのうち 1 個のレベルは符号化されず 3 個のレベルは符号化されることを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

40

【請求項 13】

前記 m を 4 としかつ前記 $i_{m a x}$ を 2 とすることにより、全部で 4 個のレベルのうち 2 個のレベルは符号化されず 2 個のレベルは符号化されることを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 14】

前記指定されたサブセットの各レベルに対する情報ビットの部分はそこに適用されるブロック符号を有し、最低レベルで始まる隣接した一連の $i_{m a x}$ に対する情報ビットの部分に適用されるブロック符号に対するレートが選択されることにより、最低レベルに関連するブロック符号に対する最低符号レートから最高レベルに関連するブロック符号に対す

50

る最高符号レートまで増加する符号レートを持つことを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 15】

$j = 1, \dots, j_{\max}$ (ただし $1 \leq j_{\max} \leq i_{\max}$) からなる複数の最低レベル j の各々は重畳符号と連結されたブロック符号を有することを特徴とする請求項 8 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 16】

前記一連の情報ビットの各部分は 1 つのフレーム内において異なるクラスからなり、1 つの符号が選択されることによりビットの前記異なるクラスのサブセットに対して異なる量のエラー保護を提供することを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

10

【請求項 17】

前記複数のレベルは全部で m 個のレベルを有し、

前記利用するステップは、 2^m 個の変調型の信号セットの中から、前記 m 個のレベルのそれぞれに関連するセットの m ビットを用いて、1 つの前記変調シンボルを選択することを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 18】

与えられた 1 つのフレームの特定の部分は、指定された量のエラー保護が提供されるようにビットのクラスに関連する与えられたフレームのビットを含む部分の 1 つに対応していることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 19】

多重レベル復号器において選択された変調シンボルを復号化するステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

20

【請求項 20】

前記情報ビットの符号化された部分及び符号化されない部分を考慮して提供されるすべての符号レートはほぼ 0.8 であることを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 21】

全部で 5 個のレベルを有し、5 個のレベルのうち最低レベルは約 0.2 から 0.3 の範囲の符号レートを持ち、次に高い 1 つのレベルは約 0.8 から 0.9 の範囲の符号レートを持ち、次に高い 1 つのレベルは 0.9 より大きい符号レートを持つことを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

30

【請求項 22】

全部で 4 個のレベルを有し、4 個のレベルのうち最低レベルは約 0.2 から 0.3 の範囲の符号レートを持ち、次に高い 2 つのレベルは約 0.9 から 0.95 の範囲の符号レートを持つことを特徴とする請求項 1 記載の多重レベル符号化方法。

【請求項 23】

A) 各部分が複数のレベルの 1 つに対応する複数の異なる部分に分割された一連の情報ビットを受信し、前記複数のレベルの指定されたサブセットに含まれる 1 つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化され、前記指定されたサブセットに含まれない 1 つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化されないようにするために、前記指定されたサブセットに含まれる各レベルの前記情報ビットの部分に少なくとも 1 つの符号を適用するように動作する多重レベル符号器と、

40

B) 前記多重レベル符号器の出力に接続された入力¹を有し、システムにおける送信用の変調シンボルを選択するために符号化された前記情報ビットの部分及び符号化されない前記情報ビットの部分の両方をともに利用する変調器と、

を備え、

前記一連の情報ビットは、複数のフレームの情報ビットを含み、前記複数のフレームの各々は異なるクラスのビットを含み、前記異なるクラスのビットの各々は重要度の異なるレベルを有し、

前記一連の情報ビットの各部分は、時間ダイバシティを提供するように前記複数のフレ

50

ームの各々の少なくとも一部を含み、指定された量のエラー保護が提供されるように異なるクラスのビットを含む

ことを特徴とする通信システムの多重レベル符号化装置。

【請求項 2 4】

通信システムにおいて一連の情報ビットを多重レベル符号化するために用いる少なくとも1つのコンピュータプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記少なくとも1つのコンピュータプログラムは、

A) 各部分が複数のレベルの1つに対応する複数の異なる部分に分割された一連の情報ビットにおいて、前記複数のレベルの指定されたサブセットに含まれる1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化され、前記指定されたサブセットに含まれない1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化されないようにするために、前記指定されたサブセットに含まれる各レベルの前記情報ビットの部分に少なくとも1つの符号を適用するステップと、

B) システムにおける送信用の変調シンボルを選択するために符号化された前記情報ビットの部分及び符号化されない前記情報ビットの部分の両方をともに利用するステップとをコンピュータに実行させ、

前記一連の情報ビットは、複数のフレームの情報ビットを含み、前記複数のフレームの各々は異なるクラスのビットを含み、前記異なるクラスのビットの各々は重要度の異なるレベルを有し、

前記一連の情報ビットの各部分は、時間ダイバシティを提供するように前記複数のフレームの各々の少なくとも一部を含み、指定された量のエラー保護が提供されるように異なるクラスのビットを含む

ことを特徴とする前記少なくとも1つのコンピュータプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 2 5】

通信システムにおいて多重レベル符号化された一連の情報ビットを復号するための多重レベル復号方法であって、

A) 各部分が複数のレベルの1つに対応する複数の異なる部分に分割された一連の情報ビットにおいて、前記複数のレベルの指定されたサブセットに含まれる1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化され、前記指定されたサブセットに含まれない1つ又はそれ以上のレベルに対する前記情報ビットの部分は符号化されないようにするために、前記指定されたサブセットに含まれる各レベルの前記情報ビットの部分に符号を適用して、符号化された前記情報ビットの部分及び符号化されない前記情報ビットの部分の両方をともに利用することにより選択されて送信された変調シンボルを受信し、前記複数のレベルの各々に対応する出力を得るために受信した前記変調シンボルを復調するステップと、

B) 対応する前記情報ビットの部分を得るために前記指定されたサブセットにおいて与えられたレベルに関連する出力を復号化するステップと

を有し、

前記一連の情報ビットは、複数のフレームの情報ビットを含み、前記複数のフレームの各々は異なるクラスのビットを含み、前記異なるクラスのビットの各々は重要度の異なるレベルを有し、

前記一連の情報ビットの各部分は、時間ダイバシティを提供するように前記複数のフレームの各々の少なくとも一部を含み、指定された量のエラー保護が提供されるように異なるクラスのビットを含む

ことを特徴とする多重レベル復号化方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

20

30

40

50

本発明は、一般的には、通信システムにおける多重レベル符号化方法及び多重レベル復号化方法、並びに通信システムにおける多重レベル符号化装置、並びに通信システムにおける多重レベル符号化方法のソフトウェアを記憶した装置に関し、特に、デジタルオーディオ放送(DAB)システム及び他の通信システムにおける多重レベル符号化方法等に関する。

【0002】

【従来の技術】

デジタルオーディオ信号をアナログ振幅変調(AM)のプログラムと一緒にAM帯域において放送するハイブリッド帯域内オンチャンネル(BOC)DABシステムが開発された。このようなシステムはBOC-AMシステムとも呼ばれている。このようなシステムにおいては、デジタルオーディオ送信のために割り当てられた電力及び帯域幅はともに極めて制限されている。

10

【0003】

その結果、これらのシステムは、従来の重畳された符号化技術を用いてもエラー制御のための十分な冗長性を追加することができないのが一般的である。しかしながら、オーディオ復号器においてエラー緩和及びエラー隠蔽のアルゴリズムを用いることによって、復号化されたオーディオの品質を改善できることはよく知られている。

【0004】

このようなエラー緩和及びエラー隠蔽のアルゴリズムを効率的に利用するためには、チャンネルの復号化されたビットの流れであるビットストリームの品質を示すエラーフラグが一般的に必要である。このようなエラーフラグは、リードソロモン(RS)符号のようなブロック符号を用いて発生することができる。

20

【0005】

図1は、従来のBOC-AMシステム100の送信部の簡単なブロック図を示している。システム100は、オーディオ符号器102、ブロック符号器104、及び変調器106を備えている。オーディオ信号はオーディオ符号器102に供給される。その結果、圧縮されたオーディオビットストリームがRS符号器であるブロック符号器104に供給される。

【0006】

符号器104から出力されたRS符号シンボルは、変調器106において変調シンボル、例えば、直交振幅変調(QAM)信号セットにマップ(写像)される。その結果、変調シンボルは付加的なノイズチャンネル108で受信機(図示せず)に送信される。

30

【0007】

図1に示すようなシステムにおいて、RS符号シンボルを直接的にQAMシンボルにマッピングする従来の技術は、通常、変調が 2^m -QAMである場合のガロア体GF(2^m)に基づくRS符号を用いることが必要である。したがって、各mビットシンボルは直接的にmビットQAMシンボルにマップすることができる。しかしながら、このことは適用可能なRS符号の選択を1つに制限し、したがってエラー訂正能力に影響を与えることになる。

【0008】

例えば、32-QAM変調が用いられた場合、完全にマップされたRS符号はGF(2^5)に基づくことになる。0.8の符号化レートが与えられた場合には、(30, 24)のRS符号がマップのために適用される。その結果、5ビットのRS符号シンボルが5ビットのQAMシンボルにマップされる。

40

【0009】

もっと長いブロック符号はより強力なエラー保護を提供するので、GF(2^6)に基づく(60, 48)のRS符号を用いることが望ましい。なぜなら(30, 24)のRS符号と同じように多いランダムエラーを2回訂正することができるからである。しかしながら、このことは6ビットのRS符号シンボルと5ビットのQAMシンボルとの間に不整合が生じることになる。

50

【 0 0 1 0 】

このような不整合の問題を解決するための技術として、多重レベル符号化がよく知られている。RS符号又は他のブロック符号をデータビットに適用し、結果として図1に示すような符号シンボルをmビットの変調シンボルにマッピングする代わるものとして、多重レベル符号化は合体符号化の変調技術であり、与えられるmビットの変調シンボルの各ビットに対して、適当なレート異なる単一の又は重畳された符号を適用する。

【 0 0 1 1 】

多重レベル符号化の例として、1997年1月のIEEEの情報理論についての報告書Vol. 35, No. 1, 87~98頁に記載のG. J. Pottie及びD. P. Taylorによる「分割に基づく多重レベル符号化」、1997年3月のIEEEの情報理論についての報告書Vol. IT-23, No. 3, 371~377頁に記載のH. Imai及びS. Hirakawaによる「エラー訂正符号を用いた新しい多重レベル符号化方法」、及び1997年のコンピュータサイエンスVol. 1355春季、143~154頁における暗号方法及び符号化のレクチャーノートであるE. Hunsli及びP. Sweeneyによる「強力にリードソロモン符号化されたMPSK変調」がある。

【 0 0 1 2 】

最後の参考文献には、QAM変調の代わりにMアレイ位相シフトキーイング(MPSK)変調と組み合わせた多重レベル符号化に対して、要素符号としてRS符号を用いた技術が記載されている。

【 0 0 1 3 】

【 発明が解決しようとする課題 】

上記列挙された参考文献に記載された多重レベル符号化技術の大きな問題は、これらの技術が、IBOC-AMのDABシステム及び制限された帯域幅の他の通信システムアプリケーションにおいて、最適な性能を実現できないことである。このため、多重レベル符号化技術の改善が要望されている。

【 0 0 1 4 】

【 課題を解決するための手段 】

本発明は、通信システムにおける多重レベル符号化について改善された技術を提供する。本発明によれば、一連のソース符号化された情報ビットが複数の部分に分割され、各部分が多重レベル符号化の異なるレベルに関連づけられる。指定されたサブセットにおけるレベルに対応する情報ビットの部分は符号化され、一方、指定されないサブセットに対応する情報ビットの部分は符号化されないように、少なくとも1つの符号はレベルの全セットのうち指定されたサブセットにおける各レベルの情報ビットの部分に適用される。

【 0 0 1 5 】

与えられたレベルに適用された符号には、例えばリードソロモン(RS)符号のようなブロック符号、重畳符号と連結されたRS符号、又は他の適切な単一若しくは連結された符号がある。情報ビットの符号化された部分及び情報ビットの符号化されない部分はともに、システムにおける送信のための変調シンボルを選択するのに使用される。例えば、本発明の実施形態に示すように、全部でmレベルがあり、mより小さい数のレベルが符号化される場合には、 2^m 変調型の信号セットから変調シンボルが選択される。

【 0 0 1 6 】

本発明によれば、最低レベルから最高レベルまでのmレベルが配列され、指定されたレベルのサブセットは少なくとも最低レベルを含んでいる。特に、指定されたサブセットは最低レベルで始まる隣接した一連の i_{max} を有する。ここで i_{max} は1以上でmより小さい数である。

【 0 0 1 7 】

指定されたサブセットの各レベルに対する情報ビットの部分は、そこに適用される少なくとも1つのブロック符号を有する。最低レベルで始まる隣接した一連の i_{max} に対する情報ビットの部分に適用されるブロック符号が選択され、その結果、隣接した一連の i_{max} において、最低レベルに関連するブロック符号に対する最低符号レートから最高レベルに

10

20

30

40

50

関連するブロック符号に対する最高符号レートまで増加する符号レートを持つようになる。

【0018】

本発明によれば、最低レベル $j = 1, \dots, j_{\max}$ の各々は重畳符号と連結したブロック符号を有する。ここで j_{\max} は1以上で i_{\max} 以下である。

本発明の多重レベル符号化技術は大きな符号利得を実現し、したがって従来技術に対してビットエラーレート (BER) に関する性能を改善できるという利点がある。さらに、本発明の多重レベル符号化技術は、不等エラー保護や時間ダイバシティを満たすのに使用することができる。さらにまた、ブロック符号を用いることにより、本発明はエラーフラグがソース復調器におけるエラー緩和やエラー隠蔽のために有効になることを保証する。

10

【0019】

本発明は、例えばオーディオ、会話、ビデオ及びイメージ情報や様々なその組み合わせを含むどのようなタイプのデジタル情報にも適用することができる。さらに、本発明は、AM及びFMのIBOC DABシステム、インターネット並びに衛星放送システムを含む多くの通信システム等において実現することができる。

【0020】

【発明の実施の形態】

この実施形態においては、AM帯域において動作するハイブリッド帯域内オンチャネル (IBOC) 通信システム用によく適した通信システムを特に例に採って本発明を説明する。しかしながら本発明は、多重レベル符号化技術を有効に適用できるものであれば、いかなる通信システムアプリケーションにも一般的に適用可能であることは言うまでもない。例えば、FM帯域において動作するハイブリッドIBOCシステム、全デジタルDABシステム、インターネットに基づく及び衛星に基づく放送システム等においても本発明を適用できる。

20

【0021】

図2は、本発明の第1の実施形態による通信システム200の送信部の概略ブロック図である。この実施形態では多重レベル符号化を使用し、その中では、与えられたレベルセットのうち指定されたサブセットの各レベルに、異なるRS符号が適用される。図に示すように、通信システム200は、符号器204、32直交振幅変調 (QAM) 変調器206、及び追加のノイズチャネル208を備えている。

30

【0022】

図2の実施形態及び後述する他の実施形態において32QAM変調器を利用しているが、これは単なる例にすぎない。ここに記述された多重レベル符号化技術と結合して使用できるものであれば、いかなるタイプの変調、例えば、 2^m QAM又はMアレイ位相シフトキーイング (MPSK) 変調を用いるものでも一般的に適用可能である。ここで記述された複数の実施形態では 2^m QAMを伴う具体例を示し、その中では説明を簡便にするためにmの値として5を選択しているが、mの値は特定の値に限定されない。

【0023】

符号器204は連続するビット、通常はソース符号器から受け取るソース符号化ビットを符号化する。さらに詳しくは、この実施形態における符号器204は、その一部であるシリアル/パラレル・コンバータ (図示せず) 又は図1のオーディオ符号器102のようなソース符号器に関連する他のものから、 $m = 5$ の1セットの入力ビットを受け取る。 $m = 5$ ビットの各々は、本発明のmビット多重レベル符号化技術の特定の符号化レベルに対応する。最低レベルは与えられたmビットセットの最初のビットに対応し、最高レベルは与えられたmビットセットのm番目のビットに対応する。

40

【0024】

本発明によれば、mビットのうち指定されたサブセットの各々は、最低レベルビットで始まり、符号器要素 $210i$ においてそこに適用されるRS符号に対応する。ここで、 $i = 1, \dots, i_{\max}$ であり、 i_{\max} は1以上m未満である。例えば、図2に示す実施形態においては、mは5であり、 i_{\max} は3である。この場合には、全部で5個のレベルがあり、そ

50

のうち2つのレベルが符号化されないレベルであり、3つのレベルが符号化されたレベルである。

【0025】

他の実施形態においては、 m は5であり、 i_{max} は2である。この場合には、全部で5個のレベルがあり、そのうち3つのレベルが符号化されないレベルであり、2つのレベルが符号化されたレベルである。あるいは i_{max} は4である。この場合には、全部で5個のレベルがあり、そのうち1つのレベルが符号化されないレベルであり、4つのレベルが符号化されたレベルである。

【0026】

さらに他の実施形態において、 m は4で16QAM変調が用いられ、 i_{max} は2である。この場合には、全部で4個のレベルがあり、そのうち2つのレベルが符号化されないレベルであり、2つのレベルが符号化されたレベルである。あるいは、 $m=4$ の場合の実施形態において、 i_{max} は3である。この場合には、全部で4レベルであり、そのうち1つのレベルが符号化されないレベルであり、3つのレベルが符号化されたレベルである。

【0027】

図1の実施形態において、 $m=5$ 、 $i_{max}=3$ である場合には、第1の符号器要素210-1において、第1のRS符号RS1には最低レベルビットすなわちビット1が供給され、第2の符号器要素210-2において、第2のRS符号RS2には次に高いレベルビットすなわちビット2が供給され、第3の符号器要素210-3において、第3のRS符号RS3にはビット3が供給される。 $m=5$ ビットセットの第4及び第5ビットは符号器204において符号化されないままである。

【0028】

32QAM変調器206は符号器204の出力である $m=5$ を入力として受け取り、32QAM型から選択された5ビット変調シンボルを発生する。その結果、変調シンボルはチャンネル208に直接に送信することができる。又は、高域変換、フィルタリング、増幅等のようなよく知られている技術を用いた従来の方法における処理を行った後にチャンネル208に送信する。

【0029】

QAM変調器206における入力ビットのQAMシンボルへのマッピングは、1987年2月のIEEE通信マガジンVol. 25, No. 2, 4~11頁に記載のG. Ungerboeckによる「冗長信号セットをもつトレリス符号化変調パートI入門」、及び1987年2月のIEEE通信マガジンVol. 25, No. 2, 12~21頁に記載のG. Ungerboeckによる「冗長信号セットをもつトレリス符号化変調パートII技術の現状」において記載されたセット分割を用いて実現される。これらの内容はともにこの中で参照される。

【0030】

図3は、図2のQAM変調器206において実行される32QAM信号セットの極めて詳細な分割例を示している。その図は、与えられた変調シンボル発生間隔ごとに変調器に供給される $m=5$ の入力ビットの値に基づいて、与えられたシンボル又は型の点を選択される方法を示している。その図形において、5つの入力ビットは d_0 、 d_1 、 d_2 、 d_3 及び d_4 の記号で表されている。最低ビット d_0 は、32QAM点の2つのサブセットの1つを選択するのに用いられ、残りのビット d_1 、 d_2 、 d_3 及び d_4 はそれらの親のセットから適当なサブセットを選択するのに用いられる。

【0031】

受信されたQAMシンボルの復号化は次の方法で実行される。最初に、最低レベルが符号RS1に対応するRS復号器を用いて復号され、その結果、訂正されたシーケンスは次に高いレベルの復号化に使用される。その復号化はすべてのレベルの復号が完了するまで連続して繰り返される。

【0032】

図2の実施形態の多くの異なる具体例が可能である。例えば、(60, 12)RS符号、

10

20

30

40

50

(60, 50) RS 符号及び(60, 58) RS 符号にそれぞれ対応する RS 1 符号、RS 2 符号、及び RS 3 符号をもつ GF(2⁶) の RS 符号を用いて実施形態を実現できる。別の例としては、(100, 16) RS 符号、(100, 86) RS 符号及び(100, 98) RS 符号にそれぞれ対応する RS 1 符号、RS 2 符号、及び RS 3 符号をもつ GF(2⁸) の RS 符号を用いて実施形態を具体化できる。

【0033】

これらの具体例はともに、符号化されない 16 QAM に関して大きな符号利得を可能にする。さらに詳しくは、10⁻⁵ のビットエラーレート(BER)において、上記した GF(2⁶) 符号は約 2.3 dB の利得を可能にし、上記した GF(2⁸) 符号は約 2.5 dB の利得を可能にすることがシミュレーションで分かっている。多くの他の具体例も可能であることは言うまでもない。

10

【0034】

一般には、図 2 の実施形態における適切な符号レートは次のように選択される。全部で m = 5 のレベルの場合には、5 個のレベルのうち最低レベルは約 0.2 から 0.3 までの範囲にほぼ符号レートを持つように形成される。5 個のレベルのうち次に高いレベルは約 0.8 から 0.9 までの範囲にほぼ符号レートを持つように形成される。5 個のレベルのうち次に高いレベルは約 0.9 よりも大きい範囲に符号レートを持つように形成される。1.0 の符号レートは無符号化、例えば、図 2 の実施形態における QAM 変調器に直接渡されるレベルに対応する。したがって、約 0.9 よりも大きい符号レートを持つレベルは符号化されないレベルである。

20

【0035】

全部で m = 4 のレベルの実施形態の場合には、4 つのレベルのうち最低レベルは約 0.2 から 0.3 までの範囲にほぼ符号レートを持つように形成される。4 個のレベルのうち次に高い 2 つのレベルは約 0.9 及び 0.95 の範囲にそれぞれ符号レートを持つように形成される。さらに、符号化されないレベルは 1.0 の符号レートを持ち、同じく約 0.9 又は 0.95 より大きい符号レートを持つレベルも符号化されない。

【0036】

図 4 は、本発明の第 2 の実施形態による通信システム 400 の送信部の概略ブロック図である。この実施形態は本発明による多重レベル連結符号化の例であり、その中では、与えられたレベルセットの中の指定されたサブセットの各レベルに異なる RS 符号が適用される。また、最低レベルのうち 1 つ又はそれ以上における RS 符号は重畳符号と連結される。

30

【0037】

この場合の実施形態においては、最低レベルにおける RS 符号だけが重畳符号と連結される。図に示す通信システム 400 の部分は、符号器 404、32 QAM 変調器 406、及び付加的なノイズチャネル 408 を備えている。さらに、m = 5 の値が説明の都合上選択されているが、他の値でも可能である。

【0038】

符号器 404 及び QAM 変調器 406 の構成は、図 2 の実施形態に関連して記載されたものと実質的に同じである。図 2 の符号器 204 と同様に、符号器 404 は 3 つの RS 符号器要素を有し、この実施形態において 410-1、410-2 及び 410-3 で示されている。この 3 つの RS 符号器要素は、複数の RS 符号である RS 1、RS 2 及び RS 3 をそれぞれ 3 つの最低レベルの入力ビットに適用し、2 つの最高レベルの入力ビットは符号化されずに変調器 406 に渡される。

40

【0039】

しかしながら、符号器 404 は符号器要素 410-1 の出力に結合する入力を持つ重畳符号器 412 をさらに有する。符号器 412 によって用いられる重畳符号化は最低レベルに対する内部符号に相当する。一方、RS 符号 RS 1 は最低レベルに対する外部符号を提供する。このことによってソフト決定のヴィテルビ復号化を内部符号のために使用でき、これにより割り増しの符号利得を実現する。QAM 変調器 406 における QAM シンボルへ

50

の入力ビットのマッピングもまた、上記した U n g e r b o e c k のセット分割を用いて実行される。

【 0 0 4 0 】

図 4 の実施形態においては、連結された R S 符号及び重畳符号は最低レベルに対してだけに用いられたが、このことは単なる一例にすぎずこれに限定するものではない。さらに一般的には、複数の最低レベル $j = 1, \dots, j_{\max}$ の各々は連結された R S 符号及び重畳符号を持つことができる。ここで、 j_{\max} は i_{\max} 以下、すなわち R S 符号を持つレベル数以下である。

【 0 0 4 1 】

図 4 の実施形態についてのいくつかの具体例を次に説明する。第 1 の例は、重畳符号器 4 1 2 に関してレート $1/2$ の 4 状態重畳符号を用い、R S 1 符号、R S 2 符号及び R S 3 符号を持つ $GF(2^8)$ の R S 符号は、それぞれ $(50, 16)$ R S 符号、 $(100, 86)$ R S 符号及び $(100, 98)$ R S 符号に対応している。第 2 の例は、同じくレート $1/2$ の 4 状態重畳符号を用いているが、R S 1 符号、R S 2 符号及び R S 3 符号を持つ $GF(2^8)$ の R S 符号は、それぞれ $(50, 28)$ R S 符号、 $(100, 74)$ R S 符号及び $(100, 98)$ R S 符号に対応している。

【 0 0 4 2 】

これら 2 つの具体例はともに符号化されない 16 QAM と比較して大きな符号利得を可能にする。さらに詳しくは、 10^{-5} のビットエラーレート (BER) において、上記した第 1 の例では $GF(2^6)$ 符号は約 2.6 dB の利得を可能にし、上記した第 2 の例では $GF(2^8)$ 符号は約 3.4 dB の利得を可能にすることがシミュレーションで分かっている。さらに他の多くの具体例も可能であることは言うまでもない。

【 0 0 4 3 】

図 4 の実施形態の他の具体例の 1 つは、 $m = 5$ ではあるが最低レベルは 2 つだけで、連結された R S 符号及び重畳符号を用いた最低レベルである。R S 符号は $GF(2^5)$ で、その R S 1 符号及び R S 2 符号が、それぞれ $(15, 6)$ R S 符号及び $(30, 24)$ R S 符号に対応している。この具体例においては R S 3 符号は使用されず、対応するレベルは符号化されずに変調器に渡される。この具体例では、16 QAM と比較して、 10^{-5} の BER において約 2.5 dB の利得を可能にすることがシミュレーションで分かっている。

【 0 0 4 4 】

図 4 の関連する上記のいくつかの実施形態は、高いレートの符号化、例えば全体的にほぼ 0.8 程度の符号レートが要求される制限された帯域幅のチャネルについての決定に基づいており、重畳符号は最低レベルのビットだけに適用することが望ましい。しかしながら、前に述べたように、連結された R S - 重畳符号は 1 つ又はそれ以上の追加のレベルに対しても最低レベルと同様に使用することができる。

【 0 0 4 5 】

符号器 4 1 2 における重畳符号の複雑さが増加しても、性能が顕著に改善するものではないことがシミュレーションで分かっている。したがって、アプリケーションにおいては符号の複雑性を最小にすることが望ましく、上記した 4 状態符号は、さらに大きな状態数、例えば 16, 64 又は 256 状態を持つ重畳符号よりも好ましい。

【 0 0 4 6 】

多重レベルの符号器 - 変調器の対である図 2 の 204 - 206 及び図 4 の 404 - 406 は、上記の例におけるように符号利得に対して共同で最適化すると同様に又はそれに代わって、ソース内容に対して共同で最適化できることは注目に値する。

【 0 0 4 7 】

図 5 は、図 4 の実施形態が不等エラー保護を実現するのに利用できる方法を示している。この図において、ソース符号化されたビットの与えられたフレーム 500 は、ビットの 4 つの異なるクラス、すなわちクラス I、クラス II、クラス III 及びクラス IV を有し、それぞれ 502 - 1, 502 - 2, 502 - 3 及び 502 - 4 で示されている。

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

50

ビットの異なるクラスは情報の異なるレベルを持っている。すなわち、クラスIビットはフレーム500で重要度が最も高いビットであり、クラスIVビットはフレーム500で重要度が最も小さいビットである。クラスIビットは、符号器要素410-1及び重畳符号器412によって可能となる連結されたRS-重畳符号を用いて符号化される。クラスIIビット及びクラスIIIビットは、それぞれRS符号器要素410-2及び410-3を用いて符号化される。多重レベル符号化処理における最高の2つのレベルであるクラスIVは、符号化されずにQAM変調器406に渡される。

【0049】

符号器要素410-1において使用されるRS1符号は指定されて、クラスIビットがすべての他のレベルのビットよりも大きな量のエラー保護を有するのを保証する。同様に、符号器410-2において使用されるRS2符号は指定されて、クラスIIビットがクラスIIIビットよりも大きな量のエラー保護を有するのを保証し、符号器410-3において使用されるRS3符号は指定されて、クラスIIIビットがクラスIVビットよりも大きな量のエラー保護を有するのを保証する。

10

【0050】

図5に示した不等エラー保護配列の大きな利点は、各クラスI、II及びIIIが異なる検出能力のエラーフラグを持つことが可能なことであり、これによりソース復号器においてエラー緩和やエラー隠蔽を容易にできる。

【0051】

図6は、ソース符号化フレーム500について不等エラー保護を実行する本発明の他の実施形態を示している。この実施形態においては、符号器要素410-1、410-2及び410-3並びにQAM変調器406を備え、最高のレベルが低いレベルよりも高い信頼性をもつように多重レベル符号が形成される。

20

【0052】

これは使用される特定の多重レベル符号の特徴であり、符号器要素410-1、410-2及び410-3のそれぞれにおいて使用されるRS1符号、RS2符号及びRS3符号のレートは、この特徴を満足するために固定することができる。

【0053】

したがって、重要度が最も低いビット、すなわちクラスIVビットは2つの最低レベルにマップされ、RS1符号及びRS2符号を用いて処理される。クラスIIIビットはRS3符号を用いて処理される。重要度が最も高いビット、すなわちクラスIビット及びクラスIIビットはそれぞれ巡回冗長検査(CRC)符号器602及び604を用いて符号化される。

30

【0054】

この配列は、エラーフラグをクラスIビット及びクラスIIビットのために発生して、ソース復号器におけるエラー緩和及びエラー隠蔽のために使用することができる。RS1符号、RS2符号及びRS3符号は、ビットの他のクラスのためにエラーフラグを発生することができる。CRC符号器602及び604の外形が点線で示されているのは、クラスIビット及びクラスIIビットに対してエラーフラグが要求されない場合にはこのような符号器は削除できるからである。

40

【0055】

図5及び図6に示した配列は単なる例にすぎない。別の構成においては、図5及び図6において点線の外形で示した重畳符号器412は削除することができる。その結果、不等エラー保護は、実質的に図2の実施形態のような連結されていない多重レベル符号化を用いて実現される。

【0056】

さらに、ビットの複数のクラスの数、タイプ及び他の性質は、一般的に特定の符号化アプリケーションに依存して変化することになる。ビットの複数のクラスを多重レベル符号化のレベルにマッピングする技術もまた、各クラスによって要求されるエラー検出の量及びエラー訂正能力に依存することになる。

50

【0057】

図7は、本発明の多重レベル符号化技術を通信システムにおける時間ダイバシティを実現するために使用する方法を示している。この実施形態においては、1セットのソースフレーム700は、フレーム1、フレーム2、フレーム3、フレーム4及びフレーム5の5個のフレームを含み、それぞれ702-1、702-2、702-3、702-4及び702-5で示されている。

【0058】

時間ダイバシティは、送信チャネルにおいて発生するエラーのバーストの影響を軽減するために望ましいことである。例えば、図5及び図6の実施形態において、エラーのバーストが発生した場合には、受信するフレーム500全体がエラーだらけになってしまう。フレームサイズが大きい場合にはこのようなエラーバーストは問題となり、ソース復号器はエラー緩和又はエラー隠蔽ができなくなる。

10

【0059】

時間ダイバシティを実現することによって、与えられるエラーバーストの影響が多くのフレームに分散される。図7の場合には、フレーム702-1、702-2、702-3、702-4及び702-5を本発明の多重レベル符号の異なるレベルにマッピングすることによってこのことが遂行される。

【0060】

フレーム702-1はフレーム700の中で最も短く、フレーム702-2がそれに続いて次に長さが短いフレームである。一方、フレーム702-3、702-4及び702-5は長いフレームである。多重レベル符号における異なる符号化レベルは、通常はそれに関係する異なる符号レートを持っているので、各符号化レベルは固定した数の送信シンボルについて異なる情報ビットの量を搬送する。したがって、少ないビットを持つソース符号化されたフレームは低いレベルで送信でき、大きいフレームは高いレベルで送信できる。

20

【0061】

さらに詳しくは、この実施形態における多重レベル符号は、例えば図4の符号器404及び変調器406に相当する多重レベル連結符号器710を用いて具体化される。最も短いフレーム702-1は最低レベルにマップされ、次に短いフレーム702-2は次に高いレベルにマップされ、それより長いフレーム702-3、702-4及び702-5は次に高いレベルにマップされる。多重レベルの連結された符号器710の動作は、図4に関連して前に述べたものと同じである。他の実施形態においては、図2において示したような多重レベルの連結されない符号器が使用される。

30

【0062】

図7において説明した方法で時間ダイバシティを実現ことは、異なるソース符号化フレームが送信の前に多重化されるので、追加の遅延を持ち込むことになる。しかしながら、IBC-AM及びIBC-FMのようなDABシステムにおいては、この追加の遅延は一般的に問題にならない。

【0063】

本発明の実施形態においては、図5及び図6において説明した不等エラー保護の技術は、図7において説明した時間ダイバシティの技術と合成することが可能である。例えば、図7における1セットのフレーム700のフレーム702の各々は、図5及び図6に示したように、異なる複数のクラスに分割することができる。フレーム702の各々からのクラスIビットは、最大量のエラー保護を実現するレベルに多重化することができる。同様に、フレーム702の各々からのクラスIVビットは、最小量のエラー保護を実現するレベルに多重化することができる。ビットの中間のクラスも同様に、適当なレベルに多重化することができる。

40

【0064】

前に述べたように、ここに記載された多重レベル符号化の実施形態は、通信システムにおいて共通に使用される付加的な要素を含むことができる。すなわち、インターリーブ及び

50

デインターリーブ、アップコンバータ及びダウンコンバータ、フィルタ処理、増幅等を含むことができる。

【0065】

当業者は、ここに記載された多重レベル符号化技術が与えられた場合、受信した多重レベル符号化シンボルを複合化するための相補的動作を実行する能力の受信機要素の適切な配列を簡単な方法で構成することができる。このような受信機要素の一例を次に述べる。

【0066】

図8は、本発明による通信システムの受信部800の一例を示している。受信部800は、図2の通信システム200又は図4の通信システム400において使用することができる。図に示す受信部800は、QAM復調器802、多重レベル復号器804、及びパラレル/シリアル・コンバータ806を備えている。

10

【0067】

チャンネル208又は408から受信した入力QAMシンボルは、QAM復調器802において復調され、その結果、出力は復号器804に供給される。2つの最高レベルに対応するビットはパラレル/シリアル・コンバータ806に直接渡される。3つの最低レベルのビットはRS復号器要素810-1、810-2及び810-3においてそれぞれ処理される。

【0068】

これらの復号器要素810-1、810-2及び810-3は、それぞれ、図2のRS符号器要素210-1、210-2及び210-3又は図4のRS符号器要素410-1、410-2及び410-3において実行された符号化動作に対する相補的な復号化動作を実行する。多重レベル符号器804において、復号器要素810-1の出力は復号器810-2及び810-3にも供給され、復号器要素810-2の出力は復号器810-3にも供給される。

20

【0069】

多重レベル符号器804の最低レベルは、図4の重畳符号器412の重畳符号を復号するのに使用されるヴィテルビ復号器812をさらに有する。ヴィテルビ復号器812が点線の外形で示されているのは、受信部800が図2の送信部と一緒に使用される場合には、このヴィテルビ復号器812は使用されないからである。

【0070】

図2及び図4～図8に示した実施形態は、従来のハードウェア処理及びそれに関連するソフトウェア要素を用いて具体化される。このようなハードウェア処理は、最適にプログラムされたマイクロプロセッサ、デジタル・シグナル・プロセッサ(DSP)、特定用途向け集積回路(ASIC)、又はこれらの一部若しくは組み合わせ、及び他のよく知られたデバイスを備えている。本発明は、上記の1つ又はそれ以上のデバイスに結合されたメモリ内にストアされるソフトウェアの少なくとも一部において具体化することができる。

30

【0071】

本発明は、IBOC-AM又はIBOC-FMシステムの制限された帯域幅の通信チャンネルで送信するために、例えばPAC符号器のようなオーディオ符号器によって発生される圧縮オーディオビットのように、ソース符号化情報ビットの高速レートチャンネル符号化に関連する用途に対して、特によく適した多重レベル符号化技術を提供する。

40

【0072】

本発明の多重レベル符号化技術は、ソース符号化音声情報、イメージ情報又はビデオ情報等の多くの他のタイプに適用できることはもちろんである。さらに、本発明は、実施形態において使用されたRS符号、従来の符号及びCRC符号とは異なる他の符号を用いて具体化することができる。例えば、RS符号はよく知られた他のタイプのブロック符号に置き換えることが可能であり、従来の符号はターボ符号に置き換えることが可能である。

【0073】

さらにまた、本発明は極めて多様な異なるタイプの通信システムアプリケーションに利用することができる。その通信システムには、インターネット及び他のコンピュータネット

50

ワークでの通信、並びに、移動体通信マルチメディア、衛星、無線ケーブル、無線ローカルループ、高速無線接続、及び他のタイプの通信が含まれる。

【0074】

本発明はあらゆるタイプの通信チャネルとともに利用することができる。例えば、周波数チャネル、タイムスロット、符号分割多元接続(CDMA)スロット、非同期転送モード(ATM)若しくは他のパケットベースの伝送システムにおける仮想接続とともに利用することができる。

【0075】

特許請求の範囲に記載した発明の構成要件の後に括弧付きの符号がある場合は、構成要件と実施例と対応づけて発明を容易に理解させる為のものであり、特許請求の範囲の解釈に用いるべきのものではない。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の通信システムの送信部の簡単なブロック図。

【図2】本発明の実施形態による通信システムの送信部の簡単なブロック図。

【図3】図2の実施形態のQAM変調において実行される32QAM信号セットの分割を示す図。

【図4】本発明の実施形態における通信システムの送信部の簡単なブロック図。

【図5】本発明の実施形態における通信システムの送信部の簡単なブロック図

【図6】本発明の実施形態における通信システムの送信部の簡単なブロック図

【図7】本発明の実施形態における通信システムの送信部の簡単なブロック図

【図8】図2及び図4の送信部の用途に適した通信システムの受信部の簡単なブロック図

。

【符号の説明】

102 オーディオ符号器

104 ブロック符号器

108 チャンネル

106 変調器

204, 404 符号器

206, 406 変調器

208, 408 チャンネル

210, 410 リードソロモン(RS)符号要素

412 重畳符号要素

500, 700, 702 フレーム

502 クラス

602 巡回冗長検査(CRC)符号要素

710 多重レベル結合符号器

802 復調器

804 復号器

806 パラレル/シリアル・コンバータ

810 リードソロモン(RS)復号要素

812 ヴィテルビ復号器

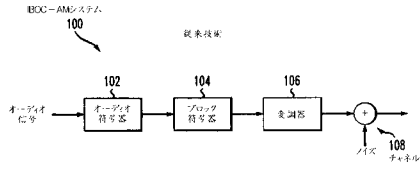
10

20

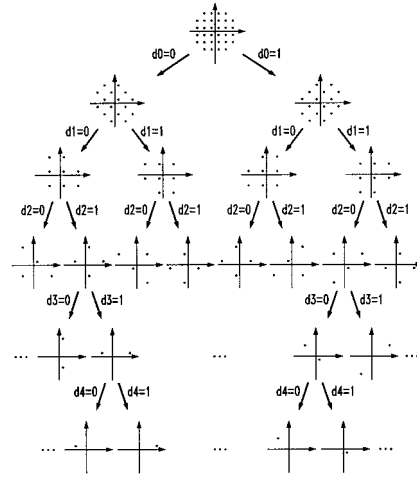
30

40

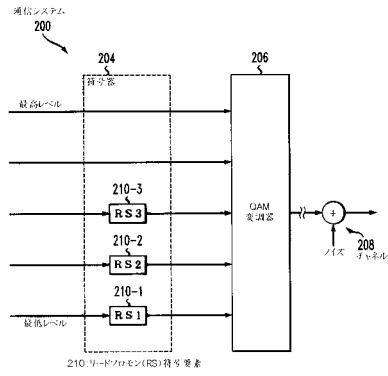
【図1】



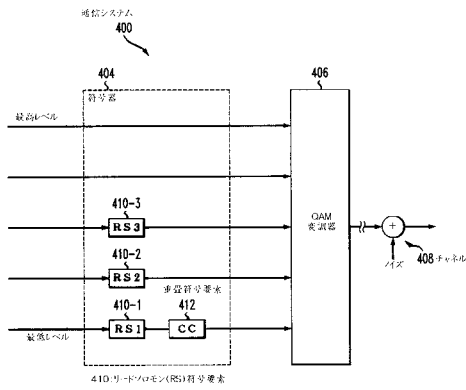
【図3】



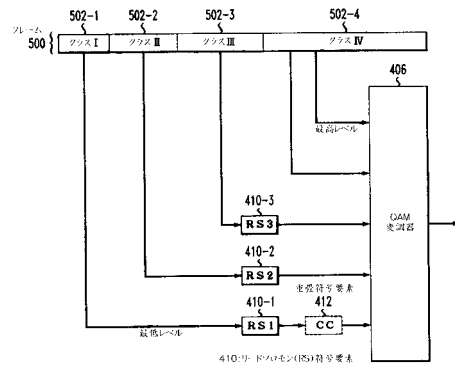
【図2】



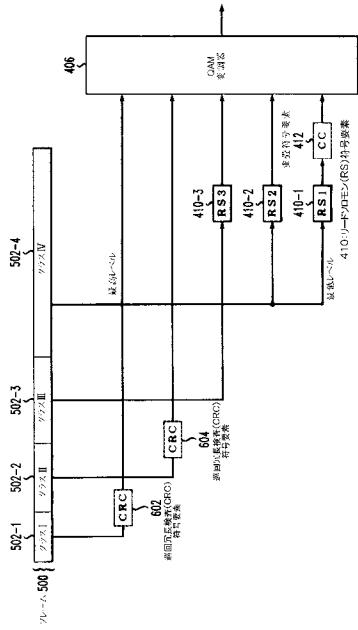
【図4】



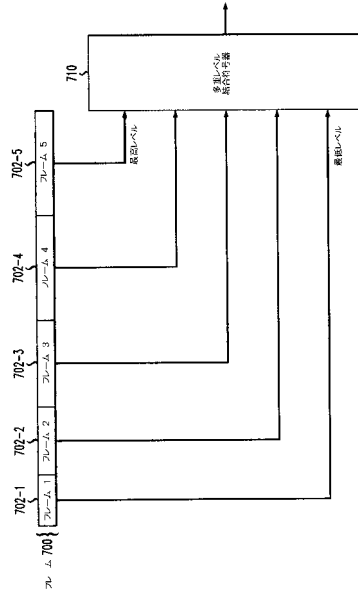
【図5】



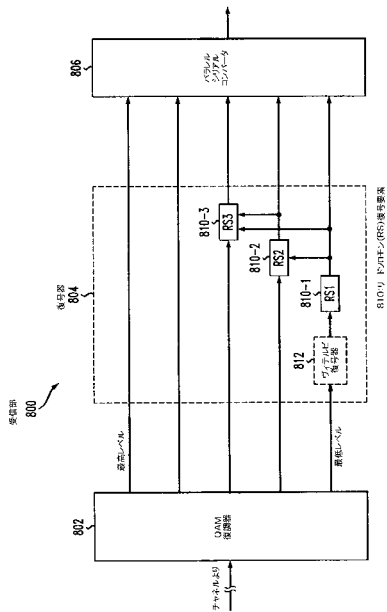
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 ファイ リン ルウ

アメリカ合衆国、07974 ニュージャージー州、マレーヒル、イーサン ドライブ 41、ア
パートメント 1A

審査官 北村 智彦

(56)参考文献 特開平05 - 260104 (JP, A)

特開平06 - 292160 (JP, A)

特開平05 - 175941 (JP, A)

特開昭63 - 237628 (JP, A)

特開平06 - 350661 (JP, A)

特開平06 - 216958 (JP, A)

特開昭62 - 243431 (JP, A)

M.C.Chiu et.al, Low-decoding-complexity TDM coded modulation with unequal error protec
tion, Communications, IEE Proceedings, 1997年12月, Vol.144 No.6, pp.372-380

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04L 27/34

H03M 13/05

H03M 13/15

H04B 14/04

H04L 1/00

(54)【発明の名称】通信システムにおける多重レベル符号化方法及び多重レベル復号化方法並びに通信システムにお
ける多重レベル符号化装置並びに通信システムにおける多重レベル符号化方法のソフトウェアを
記憶した装置