

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3610329号  
(P3610329)

(45) 発行日 平成17年1月12日(2005.1.12)

(24) 登録日 平成16年10月22日(2004.10.22)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

H03M 13/29  
G06F 11/10  
H03M 13/15  
H03M 13/27

H03M 13/29  
G06F 11/10 330N  
H03M 13/15  
H03M 13/27

請求項の数 10 外国語出願 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2001-312914 (P2001-312914)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成13年10月10日 (2001.10.10)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2002-185336 (P2002-185336A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成14年6月28日 (2002.6.28)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成13年10月10日 (2001.10.10)		弁理士 大塚 康德
(31) 優先権主張番号	0012939	(74) 代理人	100112508
(32) 優先日	平成12年10月10日 (2000.10.10)		弁理士 高柳 司郎
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大最小距離を用いたターボ符号化方法及びそれを実現するシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

情報の送信のためのターボ符号化方法であって、次数dの2進係数を有し且つ1に等しい定数項を有する第1の多項式g(x)をあらかじめ決定しておき、まず第1に、前記多項式g(x)の周期Nの所定の倍数をpとすると、前記情報を、長さ

$k = p - d$

の2進系列uの形式で与え、次に、前記系列uの各々について、

- 系列aは、長さpであり、該系列aと関連する多項式

【数1】

$$a(x) = \sum_{i=0}^{p-1} a_i x^i$$

10

がg(x)により割り切れるようにd個の「パディング」ビットによって系列uを拡張することにより求められ、

- 系列bは、 $f_1(x)$ をg(x)との公約数をもたず所定の2進係数を有する第2の多項式とすると、多項式

$$b(x) = a(x) \cdot f_1(x) / g(x)$$

により表現され、かつ

- 系列cは、(i)を0から(p-1)の範囲にある整数iの所定の置換とし、 $g^*(x)$ を

20

、次数 $d$ で且つ1に等しい定数項を伴う所定の2進係数 $(i)$ を有する第3の多項式とし、かつ、 $g^*(x)$ を、 $g(x)$ によりモジュロ2の除算で割り切れるどのような多項式 $a(x)$ であっても $a^*(x)$ はモジュロ2の除算で $g^*(x)$ により割り切れるように選択し、 $f_2(x)$ を $g^*(x)$ との公約数をもたず所定の2進係数を有する第4の多項式とするとときに、多項式

$$c(x) = a^*(x) \cdot f_2(x) / g^*(x)$$

ここで

【数2】

$$a^*(x) = \sum_{i=0}^{p-1} a_i x^{\pi(i)}$$

10

で表現されるように、送信しようとする2進系列 $(a, b, c)$ のトリプレット $\underline{v}$ を生成する符号化方法であって、

厳密に正の整数であり、 $p$ と互いに素の関係にあり、 $N$ を法として2の累乗と合同であり、且つ $p$ を法として2の累乗とは合同でない数 $e$ を用いて、前記所定の置換 $(i)$ を積 $(i \cdot e)$ の $p$ を法とする剰余とし、その結果、 $g^*(x)$ を $g(x)$ と同一とすることを特徴とする方法。

【請求項2】

請求項1記載のターボ符号化方法によって符号化された後に送信された受信系列の復号を可能にすることを特徴とするターボ復号方法。

20

【請求項3】

請求項1記載のターボ符号化方法によって送信しようとするデータの系列を符号化する装置(901)において、

- データの系列 $\underline{u}$ ごとに、系列 $\underline{u}$ を前記 $d$ 個のパディングビットによって拡張することにより、 $\underline{u}$ と関連する前記系列 $\underline{a}$ を得る手段(30)と、
- 前記方法で規定されていた置換を実行することができるインタリーバ $\tau_1$ を有する少なくとも1つのターボ符号器(40)とを有することを特徴とする装置。

【請求項4】

請求項2記載のターボ復号方法を実現するための復号装置(1101)において、

- 前記方法で規定されていた置換を実行することができる2つのインタリーバ $\tau_1$ と、この置換を反転させることができるデインタリーバ $\tau_2$ とを有する少なくとも1つのターボ復号器(300)と、
- 前記送信系列 $\underline{a}$ 、 $\underline{b}$ 及び $\underline{c}$ にそれぞれ対応する受信系列 $\underline{a}'$ 、 $\underline{b}'$ 及び $\underline{c}'$ のターボ復号の終了時に得られる推定系列 $\underline{a}^\wedge$ の最後の $d$ 個のビットを除去することにより、2進系列 $\underline{u}^\wedge$ を生成する手段(335)とを有することを特徴とする復号装置。

30

【請求項5】

符号化デジタル信号を送信する装置(48)において、請求項3記載の符号化装置を有することと、前記符号化系列 $\underline{a}$ 、 $\underline{b}$ 及び $\underline{c}$ を送信する手段(906)を有することとを特徴とする装置。

【請求項6】

符号化デジタル信号を受信する装置(333)において、請求項4記載の復号装置を有することと、前記系列 $\underline{a}'$ 、 $\underline{b}'$ 及び $\underline{c}'$ を受信する手段(1106)を有することとを特徴とする装置。

40

【請求項7】

請求項5又は6に記載の装置を少なくとも1つ有することを特徴とする遠隔通信ネットワーク。

【請求項8】

請求項1または2に記載の方法の実現を可能にするコンピュータプログラムの命令を格納する、コンピュータ又はマイクロプロセッサにより読み取り可能であるデータ格納手段。

【請求項9】

50

一部又は全体が取り出し可能であり、請求項 1 または 2 に記載の方法の実現を可能にするコンピュータプログラムの命令を格納する、コンピュータ又はマイクロプロセッサにより読み取り可能であるデータを格納する手段。

【請求項 10】

命令を含むコンピュータプログラムにおいて、前記プログラムがプログラム可能データ処理装置を制御するとき、前記命令は、前記データ処理装置により請求項 1 または 2 に記載の方法を実現させるコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、送信の忠実度を改善するために、送信するデータをチャンネル符号化する通信システムに関する。特に、本発明は「ターボ符号化」方法並びにこの方法を実現するための装置に関する。

10

【0002】

いわゆる「チャンネル」符号化は、受信器へ送信される「符号語」が形成されるときに、送信すべきデータにある程度の冗長性を導入することから成るということが思い起こされるであろう。受信器では、関連する復号方法によりこの冗長性を適切に利用して送信エラーを検出し、エラーがあればそれを訂正することが可能である。より厳密に言えば、同じ長さの 2 つの 2 進系列の「ハミング距離」はそれら 2 つの系列が異なる 2 進要素を有する場所の数として定義されている。符号語は当該符号化方法により定義される規則に従い、それにより、受信器は受信した語をその受信語から最短のハミング距離をおいた位置にある「正当な」符号語と置き換えることができる。

20

【0003】

様々な符号語の最短ハミング距離が大きくなるほど、このエラー訂正手続きの信頼性が増すことは明らかである。尚、所定の符号語と「空」符号語（全ての 2 進要素がゼロである符号語）との距離は、その所定の符号語の、「2 進重み」と呼ばれる、1 に等しい 2 進要素の数に等しい。このことから、その他のことが同等である場合、符号語（空語を除く）の 2 進重みの最小値が大きいくほど、符号化方法は改善されることが推論される。詳細については、A. Tannenbaum 著「Computer Networks」第 3 版（Prentice-Hall International、ニュージャージー、1996 年、184 ページ）を参照されたい。

30

【0004】

特に、「巡回冗長符号」として知られる符号化方法が知られている。それらの方法においては、次数  $d$  の 2 進係数を有しかつ 1 に等しい定数項を有する「生成多項式」と呼ばれる多項式  $g(x)$  が選択されている。送信される情報の各系列は、可能であればそれを複数のゼロ要素により拡張することにより、固定長  $k$  を有する 2 進系列  $u$  の形式にされる。次に、系列  $u$  を  $d$  に等しい数のビットによって拡張することにより系列  $a$  を形成する。それらのいわゆるパディングビットは、 $a$  と関連する多項式

【0005】

【数 5】

$$a(x) = \sum_{i=0}^{k+d-1} a_i x^i$$

40

【0006】

がモジュロ 2 の除算により  $g(x)$  で割り切れるように選択される。受信器へ送信されるのは（長さ  $p = k + d$  の）系列  $a$  である。次に、受信された符号語の生成多項式による除算の剰余を検査することにより送信エラーを検出する（例えば、先に引用した A. Tannenbaum の著書の 187 ~ 188 ページを参照）。

【0007】

近年、「ターボ符号」と呼ばれる非常に有効な符号化方法が提案されている。この方法に

50

よれば、初期データの系列 u ごとに、以下に説明するように1つだけではなく、3つの系列 a、b 及び c を求めて送信することにより、冗長性が増大する。ターボ符号はいわゆる「畳込み」符号、すなわち、符号器に入力する各ビットがその符号器に一時的に記録されている他のビットと組み合わせられるような符号の一部を形成する。尚、それらの一時的に記録されたビットは、符号器において、先に入力していたビットを処理することにより生成されていたものである。このため、畳込み符号器に入力する系列の符号化の結果は、一般に、先に処理されていた系列によって決まる。

#### 【0008】

先に挙げた系列 b は、「第1の符号器」と呼ばれる装置によって、通常は多項式

$$b(x) = a(x) \cdot f_1(x) / g(x)$$

に基づいて求められる。式中、 $a(x)$  は系列 a と関連する多項式、 $g(x)$  は次数  $d$  の2進係数を有し且つ1に等しい定数項を有する第1の所定の多項式、 $f_1(x)$  は  $g(x)$  と公約数をもたない2進係数を持つ第2の所定の多項式である。多項式  $g(x)$  は上記の数式の分母に現れることから「再帰的多項式」と呼ばれる。

#### 【0009】

系列 a に関しては、u と同一であるとみなすことができるが、多くの場合、「巡回冗長符号」の場合と同様に、系列 u を  $a(x)$  が  $g(x)$  で割り切れるように選択されたパディングビットによって拡張することにより求められる。これは、専門家には知られているように、この整除性が各系列における最後のビットに対してその他のビットと同じ復号の品質を保証するために必要な条件となっているためである。

#### 【0010】

最後に、系列 c は「第2の符号器」と呼ばれる装置によって多項式表現

$$c(x) = a^*(x) \cdot f_2(x) / g^*(x)$$

に基づいて求められる。式中、 $g^*(x)$  は次数  $d$  の2進係数を有し且つ1に等しい定数項を有する第3の所定の多項式であり、 $f_2(x)$  は  $g^*(x)$  と公約数をもたない、2進係数を有する第4の所定の多項式であり、多項式  $a^*(x)$  は2進要素 u 又は a の置換（「インタリービング」として知られる演算）から所定の方式によって得られる2進系列  $a^*$  を表現する。

#### 【0011】

送信されるメッセージの「ターボ復号」は次のように機能する。復号器は、送信される系列 a、b 及び c に対する送信チャネルの雑音の作用によって発生する、a'、b' 及び c' として示される3つの数の系列を受信する。そこで、ターボ復号器は（b' 及び c' を交互に使用する）繰返しプロセスによって、a の推定値  $\hat{a}$  を計算しようとする。この計算の信頼性は選択される繰返しの回数が増すにつれて向上する。パディングビットを選択していたならば、 $\hat{a}$  の最終値が求められた後、u の推定値  $\hat{u}$  を得るためにそこから最後の  $d$  ビットを除去すれば十分であるのは明らかである。

#### 【0012】

第1の符号器において多項式  $g(x)$  により多項式  $a(x)$  を割り切れることの有用性に関して先に述べたことは、再帰的多項式  $g^*(x)$  により多項式  $a^*(x)$  を割り切れるという問題が課されている第2の符号器にも同様に適用されるが、これらの多項式  $a^*(x)$  の各々が  $g(x)$  により割り切れる多項式  $a(x)$  から発しているということを考慮してこの問題を解決しなければならない。周知の解決方法は、まず、系列  $\hat{u}$  を得るために u の2進要素を所定の方式により置換し、次に、 $a^*(x)$  が  $g^*(x)$  で割り切れるように（簡単にするため、 $g^*(x)$  は  $g(x)$  と同一になるように選択されるのが好ましい）、 $\hat{u}$  を  $d$  個のパディングビットによって拡張することにより  $\hat{a}$  を形成することから成る。しかし、このようなターボ符号化方法は、a と  $\hat{a}$  とが互いに無関係に選択されたパディングビットの集合を含んでいるためにターボ符号化の有効性が理想的なものではないという欠点を有する。その結果、送信に際してある程度の信頼性（誤り率で測定した場合）が損なわれる。

#### 【0013】

10

20

30

40

50

キヤノン名義で出願された特許出願EP0928071は、aの2進要素の置換により直接に系列a<sup>\*</sup>を求めるインタリーバによってこの厄介な問題を解決している。更に詳細に言えば、a<sup>\*</sup>は多項式

【0014】

【数6】

$$a^*(x) = \sum_{i=0}^{p-1} a_i x^{\pi(i)}$$

【0015】

により表現されていた。式中、 $\pi(i)$ は0から $(p-1)$ の範囲にある整数*i*の置換の或るクラスに属し、それらのインタリーバの各々について、 $g(x)$ により割り切れるどのような $a(x)$ であっても、多項式 $a^*(x)$ もまた $g^*(x)$ により割り切れるような多項式 $g^*(x)$ を見出すことは常に可能である。従って、系列aが形成されたならば、系列a<sup>\*</sup>を得るために追加のパディングビットを加える必要はない。

10

【0016】

大きな最短距離をとることに加えて、符号化方法に求められる第2の品質は、言うまでもなく、符号化と関連する復号の双方に関して簡単に実現できること、すなわち、採用されるアルゴリズムが簡単であることである。

【0017】

この目的のために、先に挙げた特許出願EP0928071は被整除性を維持しつつ前記の置換のクラスに属する置換の特定の例を提示している。この場合、 $\pi(i)$ として積 $(i \cdot e)$ の*p*を法とする剰余を求める。ここで、*e*は厳密に正の所定の整数であり、*p*と互いに素の関係にあり且つ2を法として*p*の累乗と合同である。その結果、 $g^*(x)$ は単純に $g(x)$ と等しくなる。

20

【0018】

しかし、単純であるという利点を有するこのインタリーバは、系列a及びa<sup>\*</sup>の長さ*p*が再帰的多項式の周期の奇数倍でなければならないという欠点も有する(多項式 $g(x)$ の周期は、この多項式 $g(x)$ がモジュロ2の除算により $(x^N + 1)$ を割り切るような最小の正の整数*N*であると定義される。この周期について既に知られているその他の特性に関しては、F. J. McWilliams及びN. J. A. Sloaneの規範とも言うべき著作「The Theory of Error-Correcting Codes」(1977年、North-Hollandより刊行、第7版が1992年に出版されている)を参照することができる)。

30

【0019】

EP0928071によるインタリーバにより提供される利点を維持する一方で、前記系列の長さの選択肢を広げるため、本発明は、情報の送信のためのターボ符号化方法であって、次数*d*の2進係数を有し且つ1に等しい定数項を有する第1の多項式 $g(x)$ をあらかじめ決定しておき、まず第1に、前記多項式 $g(x)$ の周期*N*の所定の倍数を*p*とするとき、前記情報を、長さ

40

$$k = p - d$$

の2進系列uの形式で与え、次に、前記系列uの各々について、

- 系列aは、長さ*p*であり、該系列aと関連する多項式

【0020】

【数7】

$$a(x) = \sum_{i=0}^{p-1} a_i x^i$$

【0021】

50

が  $g(x)$  により割り切れるように  $d$  個の「パディング」ビットによって系列  $u$  を拡張することにより求められ、

- 系列  $b$  は、 $f_1(x)$  を  $g(x)$  との公約数をもたず所定の 2 進係数を有する第 2 の多項式とすると、多項式

$$b(x) = a(x) \cdot f_1(x) / g(x)$$

により表現され、かつ

- 系列  $c$  は、 $(i)$  を 0 から  $(p-1)$  の範囲にある整数  $i$  の所定の置換とし、 $g^*(x)$  を、次数  $d$  で且つ 1 に等しい定数項を伴う所定の 2 進係数  $(i)$  を有する第 3 の多項式とし、かつ、 $g^*(x)$  を、 $g(x)$  によりモジュロ 2 の除算で割り切れるどのような多項式  $a^*(x)$  であっても  $a^*(x)$  はモジュロ 2 の除算で  $g^*(x)$  により割り切れるように選択し、 $f_2(x)$  を  $g^*(x)$  との公約数をもたず所定の 2 進係数を有する第 4 の多項式とすると、多項式

$$c(x) = a^*(x) \cdot f_2(x) / g^*(x)$$

ここで

【0022】

【数 8】

$$a^*(x) = \sum_{i=0}^{p-1} a_i x^{\pi(i)}$$

10

20

【0023】

で表現されるように、送信しようとする 2 進系列  $(a, b, c)$  のトリプレット  $v$  を生成する符号化方法であって、

厳密に正の整数であり、 $p$  と互いに素の関係にあり、 $N$  を法として 2 の累乗と合同であり、且つ  $p$  を法として 2 の累乗とは合同でない数  $e$  を用いて、前記所定の置換  $(i)$  を積  $(i \cdot e)$  の  $p$  を法とする剰余とし、その結果、 $g^*(x)$  を  $g(x)$  と同一とすることを特徴とする方法を提案する。

【0024】

これに相関して、本発明は、本発明によるターボ符号化方法によって符号化された後に送信された受信系列の復号を可能にすることを特徴とするターボ復号方法に関する。

30

【0025】

従って、本発明によるターボ符号化方法は「インタリーブ」系列  $a^*$  を得るために追加のパディングビットを必要としないが、比較的簡単に実現できるという利点を維持しつつ、広範囲にわたる送信系列の長さ  $p$  に適用可能である ( $M = p / N$  が偶数であっても、奇数であっても差し支えない)。

【0026】

加えて、本発明によるターボ符号化方法は E P 0 9 2 8 0 7 1 により開示されている一般的な意味での置換の枠内に入りつつも、 $M$  を奇数として設定した場合に、E P 0 9 2 8 0 7 1 により開示されている特定の置換の例や、先に述べた置換と比較して、最適値  $e^*$  を 1 つ選択できる数  $e$  の値をより広くとることを可能にする。

40

【0027】

これは、この特定の置換の例が(いくつかの基準の中でも)値  $e$  の集合における各々の値  $e$  が  $p$  を法として 2 の累乗と合同であるという事実により定義される、既にかなり広い範囲にわたる  $e$  の可能値の集合を提供しているためである。しかし、その後の研究により、本発明の発明者は被整除性を維持する置換をも定義するより広い範囲の  $e$  の値を得ることができた。それは、(他にも基準がある中で)  $p$  を法として 2 の累乗と合同ではなく、 $N$  を法として 2 の累乗と合同である整数の場合である。このようにして明らかになった新たな  $e$  の値は E P 0 9 2 8 0 7 1 により開示されている例に従ったターボ符号化と同じ利点を有するターボ符号化を実際に実現できるばかりでなく、具体的な実現の条件に従って、専門家が既知の集合の値と、本発明により供給される更に広い範囲の値の双方で最適値  $e$

50

\* を捜し求めることを可能にする。

【0028】

最短距離の大きな符号を使用することが特に望ましい（冒頭に説明した通り、符号の最短距離はその符号が送信エラーを検出し、訂正するのに適しているか否かを知る上で重要な役割を果たす）。この目的のために、 $e$  の最適値  $e^*$  を判定するときには、

a) 「代表集合」として参照されるものを形成するためにある数の異なる系列  $u$  を選択し、

b)  $p$  より小さい厳密に正である整数であり、 $N$  を法として 2 の累乗と合同であり且つ  $p$  と互いに素の関係にある数  $e$  ごとに、

- 前記代表集合に属する系列  $u$  と関連する 2 進系列の全てのトリプレット  $v$  の総 2 進重み  $P_B$  を計算し、且つ

- この  $e$  の値と関連し、全ての 2 進重み  $P_B$  の中で最小の重みを有する値  $w(e)$  に注目し、且つ

c) 符号化を実現するために、この最小重み  $w$  の最大値と関連する  $e$  の値  $e^*$  を選択するという同じ手続きに従う。

【0029】

このような措置を講ずることにより、本発明による符号は、前記所定の多項式としてどのような多項式を選択したとしても、相対的に大きな最小重みが得られるという利点を有する。

【0030】

本発明の別の面によれば、本発明は様々な装置に関する。

【0031】

すなわち、本発明は、本発明によるターボ符号化方法によって送信すべきデータの系列を符号化する装置であって、

- データの系列  $u$  ごとに、系列  $u$  を前記  $d$  個のパディングビットによって拡張することにより、 $u$  と関連する前記系列  $a$  を得る手段と、

- 前記方法で規定されていた置換を実行することができるインタリーバ  $1$  を有する少なくとも 1 つのターボ符号器とを有することを特徴とする装置に関する。

これに相関して、本発明は、本発明によるターボ復号方法を実現するための復号装置であって、

- 前記方法で規定されていた置換を実行することができる 2 つのインタリーバ  $1$  と、この置換を反転させることができるデインタリーバ  $2$  とを有する少なくとも 1 つのターボ復号器と、

- 前記送信系列  $a$ 、 $b$  及び  $c$  にそれぞれ対応する受信系列  $a'$ 、 $b'$  及び  $c'$  のターボ復号の終了時に得られる推定系列  $a^{\wedge}$  の最後の  $d$  個のビットを除去することにより、2 進系列  $u^{\wedge}$  を生成する手段とを有することを特徴とする復号装置に関する。

【0032】

更に、本発明は、

- 先に簡潔に説明したような符号化装置を有し、且つ前記符号化系列  $a$ 、 $b$  及び  $c$  を送信する手段を有する、符号化デジタル信号を送信する装置、

- 先に簡潔に説明したような復号装置を有し、且つ前記系列  $a'$ 、 $b'$  及び  $c'$  を受信する手段を有する、符号化デジタル信号を受信する装置、

- 先に簡潔に説明したような符号化デジタル信号の送信装置又は受信装置を少なくとも 1 つ有する遠隔通信ネットワーク、

- コンピュータプログラムの命令を格納するコンピュータ又はマイクロプロセッサにより読み取り可能であり、本発明による方法の 1 つを実現することを可能にするデータ格納手段、

- 一部又は全体が取り出し可能であり、コンピュータプログラムの命令を格納するコンピュータ及び / 又はマイクロプロセッサにより読み取り可能であり、本発明による方法の 1 つを実現することを可能にするデータを格納する手段、及び

10

20

30

40

50

- コンピュータプログラムに命令が含まれ、プログラムがプログラム可能データ処理装置を制御するとき、前記命令は、前記データ処理装置が本発明による方法の1つを実現することを意味するようなコンピュータプログラムにも関する。

【0033】

これらの装置、デジタル信号処理装置、遠隔通信ネットワーク、データ格納手段及びコンピュータプログラムにより提供される利点は、本発明による方法が提供する利点と本質的に同じである。

【0034】

本発明のその他の面及び利点は、限定的な意味をもたない一例として示される以下の好ましい一実施例の詳細な説明から明白になるであろう。以下の説明は添付の図面に関連して

10

【0035】

まず初めに、本発明の基礎を成す数学的原理を数値の例を挙げて説明する。そこで、次数  $d = 3$  の多項式

$$g(x) = 1 + x + x^3$$

を再帰的多項式の一例とする。この多項式は  $(x^7 + 1)$  を割り切る (商は  $(1 + x + x^2 + x^4)$  である) が、 $N$  が 1 から 6 であるときの  $(x^N + 1)$  は割り切れない。従って、この多項式  $g(x)$  の周期は 7 に等しい。

【0036】

次に、

20

$$p = 14, \text{ すなわち, } M = p / N = 2$$

に等しい送信系列の長さを例にとる。

【0037】

$e$  の可能値を求めるために、まず最初に、14未満の値に限定された ( $p$  は 14 に等しい)、7 ( $N$  は 7 に等しい) を法として 2 の累乗と合同な整数、すなわち、1、2 又は 4 と合同の整数を求める。これらは、異なる置換が 14 を法とする ( $i \cdot e$ ) の剰余により区別されるために唯一有効な値であり、これに対応する値は 1、2、4、8、9 及び 11 である。最後に、それぞれ 14 との公約数を有する (従って、関連する 14 の指数の置換を引き起こさないと考えられる) 値 2、4 及び 8 を排除することにより、この例については、 $e$  の「有効」値は 1、9 及び 11 であることが分かる。

30

【0038】

ここで検討した例は  $N$  の偶数倍数である長さ、すなわち、EP0928071 による方法とは相容れない長さの系列を含む。そこで、第 2 の例に基づいて、 $M$  が奇数である場合であっても、本発明がこの従来の技術と比較して有利であることを示す。従って、先と同じ多項式  $g(x)$  について、 $p = 63$  (すなわち、 $M = 9$ ) である場合を考える。63 を法として 2 の累乗と合同である (従って、7 を法として 2 の累乗とも合同である) 「有効な」整数  $e$  は、

$$e = 1, 2, 4, 8, 16, 32$$

であることが容易にわかる。しかし、本発明によれば、7 を法として 2 の累乗と合同であるが、63 を法として 2 の累乗とは合同でない整数に対応する値

40

$$e = 11, 22, 23, 25, 29, 37, 43, 44, 46, 50, 53, 58$$

からも  $e$  を選択することが可能である。

【0039】

ここで、例えば、先に検討した  $p = 14$  及び  $e = 9$  の場合について本発明による置換を構成する。 $i$  が 0 から 13 であるときに 14 を法とする ( $9i$ ) の剰余をとると、

$$\begin{aligned} a^*_0 &= a_0, & a^*_1 &= a_{11}, & a^*_2 &= a_8, & a^*_3 &= a_5, & a^*_4 &= a_2, & a^*_5 &= a_{13}, & a^*_6 &= a_{10}, \\ a^*_7 &= a_7, & a^*_8 &= a_4, & a^*_9 &= a_1, & a^*_{10} &= a_{12}, & a^*_{11} &= a_9, & a^*_{12} &= a_6, & \text{及び} & a^*_{13} &= a_3 \end{aligned}$$

(1)

50



であることが容易にわかる。

【0040】

任意のデータの系列、例えば、

$$\underline{u} = (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0)$$

についてのこの置換の効果を検討する。 $\underline{u}$ を3つ( $d$ は3に等しい)のビット(1, 0, 1)によって拡張することにより、

$$\underline{a} = (1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1), \text{ すなわち}$$

$$a(x) = 1 + x^3 + x^7 + x^{11} + x^{13}$$

が得られるが、これは実際に $g(x)$ によって割り切れる(商は $(1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^7 + x^{10})$ に等しい)。等式(1)を使用して、次に、多項式

$$a^*(x) = 1 + x + x^5 + x^7 + x^{13}$$

により表現される系列 $\underline{a}^*$ を得るが、本発明が求める目的に従って、これは実際に $g(x)$ によって割り切れる(商は $(1 + x^3 + x^4 + x^6 + x^7 + x^8 + x^{10})$ に等しい)

。

【0041】

本発明による置換がどのようなものであっても、適切な多項式 $g^*(x)$ は $g(x)$ 以外の何物でもないことがわかる。

【0042】

従って、まず最初に $g(x)$ を選択し、次に $p$ を選択することで、上記の規則を適用することにより、 $e$ の「有効」値の集合「 $E$ 」が求められることが理解できる。その後は、本発明による特定のターボ復号方法を獲得するために、多項式 $f_1(x)$ 及び $f_2(x)$ を選択し、且つ復号後の残留誤り率に関してできる限り有効である $e$ の値を固定するだけで良い。

【0043】

一般的に言えば、本発明の一実施例による方法の選択に至る手続きは、図1を参照して説明する次のようなステップから成るのが好ましい。ステップ1201で、再帰的符号化方法の専門家には良く知られている基準に基づいて、所与の再帰的多項式 $g(x)$ 並びに多項式 $f_1(x)$ 及び $f_2(x)$ を選択する(通常、多項式 $g(x)$ と同じ次数 $d$ の多項式 $f_1(x)$ 及び $f_2(x)$ を求める)。ステップ1202で、多項式 $g(x)$ の周期 $N$ を計算する。ステップ1203では、送信すべき符号化系列 $\underline{a}$ の長さ $p$ を選択する。この長さは、本発明によれば $N$ の倍数でなければならない。関係する送信チャネルと関連する技術的規格に準拠することも、通常、選択の可能性を制限する。ステップ1204では、 $e$ の全ての「有効」値、すなわち、 $N$ を法として2の累乗と合同であり且つ $p$ と互いに素である(すなわち、公約数をもたない)1から $p$ までの間にある整数の集合 $E$ を計算する。ステップ1205では、可能性のあるあらゆるデータ系列を表現するために、各々が長さ $k = p - d$ である2進系列 $\underline{u}$ の集合「 $U$ 」を決定する。この場合、そのような集合をあらかじめ確立された規則に従って生成するか、又はそのような集合が既に記録されているデータバンクを使用するかのいずれかが可能である。ステップ1206では、パディング(先に説明した通り)によって、 $\underline{U}$ に含まれる系列 $\underline{u}$ に対応する全ての系列 $\underline{a}$ を計算して、集合「 $A$ 」を構成する。ステップ1207では、 $E$ に含まれる $e$ の全ての値を順次考慮する。それらの値の各々について、先に挙げた数値の例で行っていたように、全ての関連置換のうち第1の置換を計算する。次に、多項式の乗算及び除算により、「 $A$ 」の要素に対応する全てのトリプレット $\underline{v}$ を計算して、集合「 $V$ 」を構成する。その後、「 $V$ 」の各要素の2進重みPBを計算し、最後に、それら全ての重みPBの中から、この $e$ の特定の値と関連する最小値 $w$ を判定し、関数 $w(e)$ を記録する。最後に、ステップ1208で、最小の重み $w$ をもつ最大値を与える $e$ の値を識別することにより、このターボ符号の $e$ の最適値、すなわち、とり得るうち最大の最短距離と関連する値を求める。

【0044】

図2は、2つの畳込み符号器と、1つのインタリーバ $\pi_1$ (2パリティシステム)とから構成されるターボ符号器により送信を目的とするデータの符号化を実行する本発明による

10

20

30

40

50

符号化装置を示す。

【0045】

前述のように、従来のターボ符号器は図2に示すように配置された2つの再帰的系統的畳込み(RSC)符号器と、1つのインタリーバとから構成されている。ターボ符号器は、入力する2進要素の系列aごとに、出力として、2進要素の3つの系列(a, b, c)を出力として供給する。尚、aはターボ符号器のいわゆる「系統的」出力、すなわち、入力信号と比較して全く修正を施されていない出力であり、bは第1の符号器(RSC1として示す)により符号化された出力、cはインタリーバ<sub>1</sub>を通過した後に第2の符号器(RSC2として示す)により符号化された出力である。

【0046】

本好適な実施例では、データの系列uを搬送する信号はパディングモジュール30に供給される。このモジュール30は、以下に説明する通り、多項式 $g(x)$ の周期Nの倍数である長さpを有し、且つ関連する多項式 $a(x)$ が $g(x)$ により割り切れるような系列aを得るように、パディングビットによって系列uを拡張する働きをする。この結果得られた信号はターボ符号器40に供給される。ターボ符号器は、本発明によるインタリーバ<sub>1</sub>、すなわち、系列aから $g(x)$ により割り切れる置換a<sup>\*</sup>を生成するインタリーバを有する。

【0047】

従って、本発明のこの実施例による方法の結果、各符号器の最終状態は(すなわち、どの系列の符号化の終了時における状態も)初期状態(その系列の符号化の開始時の状態)と同一であるので、同じ系列の全てのビットに対して一様な復号品質が保証される。このような符号器の状態を図3a及び図3bに示す。

【0048】

図3aは、第1のRSC符号器(系列aから系列bを生成する符号器)の動作図であるが、この場合、例えば、

$$f_1(x) = 1 + x^2 + x^3 \text{ 及び}$$

$$g(x) = 1 + x + x^3$$

が求められる。

【0049】

この符号器はメモリに3つのビット $s_1$ 、 $s_2$ 及び $s_3$ を格納している。

【0050】

図3bは、第2のRSC符号器(系列a<sup>\*</sup>から系列cを生成する符号器)の動作図であるが、この場合、例えば、

$$f_2(x) = 1 + x + x^2 + x^3 \text{ 及び}$$

$$g(x) = 1 + x + x^3$$

が求められる。

【0051】

この符号器は3つのビット $s_1^*$ 、 $s_2^*$ 及び $s_3^*$ をメモリに格納している。

【0052】

これら2つのRSC符号器は、図3a及び図3bにはフリップフロップなどの遅延素子の形態をとって示されている。これらの遅延素子の系列は多項式による乗算又は除算により表現される論理的機能を実行する。この表現は従来通りのものであり、専門家には良く知られている。

【0053】

最後に、ターボ符号器40はこのようにして求められた3つのデータ系列a、b及びcを送信器906(図4を参照)へ送信する。

【0054】

ターボ符号の詳細については、次の文献を参照すると有益である。

- C. Berrou, A. Glavieux及びP. Thitimajshima著の論文「Near Shannon Limit Error-Correction

10

20

30

40

50

g Coding and Decoding: Turbo-Codes」、ICC '93、ジュネーブ(アメリカ合衆国ニュージャージー州PiscatawayのIEEEより刊行、1993年)、

- R. de Gaudenzi及びM. Luise著の論文「Audio and Video Digital Radio Broadcasting Systems and Techniques」、Proceedings of the Sixth International Seminar of Tirrenia on Digital Telecommunications、215~226ページ(1993年)、

- J. Hagenauer、P. Robertson及びL. Papke著の論文「Iterative(Turbo)Decoding of Systematic Convolutional Codes with the MAP and SOVA Algorithms」、Informationstechnische Gesellschaft(ITG)Fachbericht、21~29ページ(1994年10月)、 10

- J. Hagenauer、E. Offer及びL. Papke著の論文「Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes」、IEEE Transactions on Information Theory(アメリカ合衆国ニュージャージー州PiscatawayのIEEEより刊行、1996年)、 20

- C. Berrou、S. Evano及びG. Battail著の論文「Turbo-block Codes」、Proceedings of the seminar "Turbo-Coding"(Applied Electronics Department of the Institute of Technology of Lund(スウェーデン)により企画された)(1996年8月)、

- C. Berrou及びA. Glavieux著の論文「Near Optimum Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes」、IEEE Transactions on Communications、第44巻第10号、1261~1271ページ(アメリカ合衆国ニュージャージー州PiscatawayのIEEEより刊行、1996年)。 30

#### 【0055】

図4は、本発明の一実施例によるデジタル信号送信装置48を極めて概略的に示す。この装置はキーボード911と、画面909と、外部情報源910と、無線送信器906と具備し、これらはこの実施例では論理ユニットの形態をとって製造されている符号化装置901の入出力ポート903に全て接続されている。

#### 【0056】

符号化装置901は、

- 中央処理装置900と、
- ランダムアクセスメモリRAM904と、
- 読み取り専用メモリ905と、
- 先に述べた入出力ポート903と

を有し、これらはアドレス・データバス902により互いに接続されている。

#### 【0057】

図4に示す要素の各々はマイクロコンピュータ及び送信システム、より一般的には情報処理システムの専門家には良く知られている。従って、これらの周知の要素についてはここでは説明しない。しかし、

- 情報源910は、例えば、インタフェース周辺装置、センサ、復調器、外部メモリ又は別の情報処理システム(図示せず)であっても良く、また、例えば、2進データの系列の形態をとる、特にIP又はATM型の、音声、サービスメッセージ又はマルチメディアデータを表現する信号の系列を供給することができるであろうということ、及び 40

- 無線送信器 906 は非ケーブル接続チャネルを介してパケット送信プロトコルを実現すると共に、それらのパケットをそのようなチャネルを介して送信するのに適合していることを認識すべきである。

【0058】

ランダムアクセスメモリ 904 は、データ、変数及び中間処理結果を本説明においては該当する値が格納されているデータと同じ名称を付したメモリレジスタに格納する。ちなみに、本説明全体を通して、「レジスタ」という用語はランダムアクセスメモリ又は読み取り専用メモリ内部において小容量の（少量の 2 進データ）メモリエリアと、大容量の（プログラム全体の格納を可能にする）メモリエリアの双方を示すことに注意すべきである。

【0059】

特に、ランダムアクセスメモリ 904 は、

- データの系列  $\underline{u}$  の長さ  $k$  を格納するレジスタ「 $N^{\circ} \_ \underline{d} \_ \underline{a} \_ \underline{t} \_ \underline{a}$ 」と、
- パディングビットによって  $\underline{u}$  を拡張することにより得られた系列  $\underline{a}$  を格納するレジスタ「 $\underline{a}$ 」と、
- インタリーブ系列  $\underline{a}^*$  を格納するレジスタ「 $\underline{a}^*$ 」と、
- ターボ符号化の結果得られた系列  $\underline{a}$ 、 $\underline{b}$  及び  $\underline{c}$  を格納するレジスタ「 $\underline{a}, \underline{b}, \underline{c}$ 」と、
- 送信すべき無線フレーム全体を格納するレジスタ「 $\underline{r} \_ \underline{a} \_ \underline{d} \_ \underline{i} \_ \underline{o} \_ \underline{f} \_ \underline{r} \_ \underline{a} \_ \underline{m} \_ \underline{e}$ 」とを含む。

【0060】

読み取り専用メモリ 905 は、便宜上、格納するデータと同じ名称を付されたレジスタにデータを格納する。すなわち、

- 中央処理装置 900 の演算プログラムをレジスタ「 $\underline{p} \_ \underline{r} \_ \underline{o} \_ \underline{g} \_ \underline{r} \_ \underline{a} \_ \underline{m}$ 」に格納し、
- 多項式  $g(x)$  の係数をレジスタ「 $\underline{g}$ 」に格納し、
- 多項式  $f_1(x)$  の係数をレジスタ「 $\underline{f}_1$ 」に格納し、
- 多項式  $f_2(x)$  の係数をレジスタ「 $\underline{f}_2$ 」に格納し、
- 系列  $\underline{a}$  及び  $\underline{a}^*$  の長さをレジスタ「 $\underline{p}$ 」に格納し、
- インタリーバを定義する置換（先の等式（1）のような置換）をレジスタ「 $\underline{i} \_ \underline{n} \_ \underline{t} \_ \underline{e} \_ \underline{r} \_ \underline{l} \_ \underline{e} \_ \underline{a} \_ \underline{v} \_ \underline{e} \_ \underline{r}$ 」に格納し、
- $g$  の周期の値  $N$  をレジスタ「 $\underline{N}$ 」に格納する。

【0061】

図 5 は、図 4 に示すような装置により供給されるデータを復号することができる復号装置 1101 を示す。受信後の復号は、2 つの復号器と、2 つのインタリーバ  $\underline{1}$  と、デインタリーバ  $\underline{2}$  と、加算器 70 と、決定ユニット 80 とから構成されるターボ復号器により実行される。図 5 に「復号器 1」及び「復号器 2」として示されている復号器は、例えば、BCJR 型の、すなわち、Bah l, Cocke, Jelinek 及び Ravi v アルゴリズムを使用する復号器、又は SOVA 型（英語で「Soft Output Viterbi Algorithm」の略）型の復号器であれば良い。

【0062】

従来のターボ復号器は、第 2 の復号器により生成されるいわゆる「外部からの（ $\underline{e} \_ \underline{x} \_ \underline{t} \_ \underline{r} \_ \underline{i} \_ \underline{n} \_ \underline{s} \_ \underline{i} \_ \underline{c}$ ）」情報を第 1 の復号器へ送信するために、デインタリーバ  $\underline{2}$  の出力を第 1 の復号器の入力端子へループバックすることも要求する。

【0063】

ターボ復号器 300 は受信器 1106（図 6 を参照）から入力される符号化系列  $\underline{a}'$ 、 $\underline{b}'$  及び  $\underline{c}'$  を受信する。復号が終了すると、送信器 906 により送信された系列  $\underline{a}$  の推定である系列  $\underline{a}^{\wedge}$  を切り捨てモジュール 335 へ送信する。この切り捨て器 335 は、本発明の一実施例によれば、 $\underline{a}^{\wedge}$  の最後の  $d$  個のビット（図 2 のモジュール 30 により追加されたパディングビットに相当する）を除去することにより系列  $\underline{u}^{\wedge}$  を生成する。最後に、この系列  $\underline{u}^{\wedge}$  を情報宛先 1110 へ送信する。

【0064】

10

20

30

40

50

図6のブロック線図は、本発明の一実施例によるデジタル信号受信装置333を示す。この装置はキーボード1111と、画面1109と、外部情報宛先1110と、無線受信器1106とを具備し、これらは全てここでは論理ユニットの形態で製造されている復号装置1101の入出力ポート1103に接続されている。

【0065】

復号装置1101は、

- 中央処理装置1100と、
- ランダムアクセスメモリRAM1104と、
- 読み取り専用メモリ1105と、
- 先に述べた入出力ポート1103と

を有し、これらはアドレス・データバス1102により互いに接続されている。

【0066】

図6に示す要素の各々はマイクロコンピュータ及び送信システム、より一般的には情報処理システムの専門家には良く知られている。従って、これら周知の要素についてはここでは説明しない。しかし、

- 情報宛先1110は、例えば、インタフェース周辺装置、表示装置、変調器、外部メモリ又はその他の情報処理システム(図示せず)であっても良く、また、2進データの系列の形態をとる、特にIP又はATM型の音声、サービスメッセージ又はマルチメディアデータを表現する信号の系列を受信できるであろうということ、及び
- 無線受信器1106は非ケーブル接続チャンネルを介してパケットを送信するためのプロトコルを実現し、且つそれらのパケットをそのようなチャンネルを介して送信するのに適合していることに注意すべきである。

【0067】

ランダムアクセスメモリ1104は、本説明においては、データ、変数及び中間処理結果を値が格納されているデータと同じ名称を付されたメモリレジスタに格納する。特に、ランダムアクセスメモリ1104は、

- 受信系列 a、b 及び c をそれぞれ格納するレジスタ「`data_received`」と、
- 図5の復号器2から出力される中間復号系列をそれぞれ格納するレジスタ「`extrinsic_inf`」と、
- 復号系列 a 及び対応するインタリーブ系列 a<sup>\*</sup> を格納するレジスタ「`estimated_data`」と、
- ターボ復号器により既に実行された繰返しの回数の値を格納するレジスタ「`No_iterations`」と、
- 切り捨て器335から発する系列 u の長さを格納するレジスタ「`No_data`」と、
- 受信された無線フレーム全体を格納するレジスタ「`radio_frame`」とを含む。

【0068】

読み取り専用メモリ1105は、便宜上、格納しているデータと同じ名称を付されたレジスタにデータを格納する。すなわち、

- 中央処理装置1100の演算プログラムをレジスタ「`program`」に格納し、
- 多項式  $g(x)$  の係数をレジスタ「`g`」に格納し、
- 多項式  $f_1(x)$  の係数をレジスタ「`f1`」に格納し、
- 多項式  $f_2(x)$  の係数をレジスタ「`f2`」に格納し、
- 系列 a 及び a<sup>\*</sup> の長さをレジスタ「`p`」に格納し、
- インタリーブを定義する置換をレジスタ「`interleaver`」に格納し、
- $g$  の周期の値  $N$  をレジスタ「`N`」に格納し、
- 繰返しの最大回数をレジスタ「`max_No_iteration`」に格納する。

【0069】

10

20

30

40

50

アプリケーションによっては、本発明による信号の送信と受信に対して同一のコンピュータ装置（マルチタスクモードで機能する）を使用すると好都合であろう。この場合、ユニット 901 及び 1101 は物理的に同一になる。

【0070】

本発明による方法は、図 7 に示すように、遠隔通信ネットワーク内で実現できる。図示されているネットワークは、例えば、UMTS ネットワークなどの未来通信ネットワークの 1 つから構成されていても良く、図中符号 64 により指示されるいわゆる「基地局」SB と、それぞれ図中符号 66<sub>1</sub>, 66<sub>2</sub>, . . . , 66<sub>n</sub> により指示されるいくつかの「周辺」局 SP<sub>i</sub> (n を 1 以上の整数とすると、i = 1, . . . , n) とから構成されている。周辺局 66<sub>1</sub>, 66<sub>2</sub>, . . . , 66<sub>n</sub> は基地局 SB から離れた場所にあり、各々の周辺局は無線リンクにより基地局 SB と接続されており、基地局 SB に対して移動自在である。

10

【0071】

基地局 SB と、各周辺局 SP<sub>i</sub> は、図 4、図 5 及び図 6 を参照して説明したような符号化装置 901 と、送信装置と、1 つ以上の変調器、フィルタ及びアンテナを有する従来の送信器を備えた無線モジュールとを具備することができる。

【0072】

本発明による基地局 SB と、各周辺局 SP<sub>i</sub> は図 5 及び図 6 を参照して説明したような復号装置 1101 と、受信装置と、アンテナを備えた無線モジュールとを更に具備することができる。

20

【0073】

基地局 SB と、周辺局 SP<sub>i</sub> は、必要条件に応じて、デジタルカメラ、コンピュータ、プリンタ、サーバ、ファクシミリ装置、スキャナ又はデジタル写真装置を更に具備することができる。

【0074】

最後に、本発明による符号化及び復号のシミュレーションの結果を以下に提示する。まず、この場合、実際に有効であると考えられる最大最短距離に関連する符号に与える e の値を求めようとした。ここで、

$$g(x) = 1 + x^2 + x^3, \quad f_1(x) = 1 + x + x^3, \quad f_2(x) = 1 + x + x^2 + x^3 \text{ 及び } p = 224 \text{ ( } M = 32 \text{ )}$$

30

$w_r(e)$  は、 $a(x)$  が  $g(x)$  で割り切れるような、重み r の系列  $\underline{a}$  と関連する全ての符号化系列  $\underline{v} = (\underline{a}, \underline{b}, \underline{c})$  の最小重みを表す。r = 2 及び r = 3 のときの  $w_r(e)$  の値を e の「有効」値ごとに計算した。その結果を表 1 に示す。

【0075】

$w_2 = 38$  及び  $w_3 = 28$  のとき、 $e = 71$  の値が最適であると考えられることができる。

【0076】

次に、白色ガウス雑音チャネルにおけるターボ符号の性能を e の最適値に対してシミュレートした。チャネルにおける情報ビット当たりの信号対雑音比 (SNR) に従って、その結果を一方ではフレーム当たりの残留エラー確率 (フレームエラーレート、FER) によって表し、他方ではビット当たりの残留エラー確率 (ビットエラーレート、BER) によって表した。それらの結果を図 8 に示す。

40

【0077】

このシミュレーションを実現するために、0.8 dB から 2.8 dB までの SNR のいくつかの値を検討した。それらの SNR の値の各々について、いくつかの数の系列  $\underline{u}$  を無作為に生成し、それらの系列ごとに、本発明に従って対応する符号化系列  $\underline{v} = (\underline{a}, \underline{b}, \underline{c})$  を計算した。その結果生じた各々の「雑音を含む」系列 ( $\underline{a}'$ ,  $\underline{b}'$ ,  $\underline{c}'$ ) について、少なくとも 8 回、多くて 50 回、二重復号繰返しを実行した。最初の 8 回の繰返しの後、2 回の連続する (二重) 繰返しで同じ結果が得られたならば、直ちにシミュレーションを中断した。

【0078】

50

符号の最短距離の確率値を「実験的に」取り出すため、次のような手続きを実行した。復号が50回目の繰返し前に中断され、「推定」系列  $\underline{a}^{\wedge}$  がその元になった系列  $\underline{a}$  と同一でなかった場合、その2進差、すなわち、「誤り系列」  $\underline{d} = \underline{a} + \underline{a}^{\wedge}$  を計算した。次に、本発明に従って対応する符号化系列  $\underline{v} = (\underline{d}, \underline{b}(\underline{d}), \underline{c}(\underline{d}))$  を計算した。最後に、この符号化系列  $\underline{v}$  の2進重みPBを計算し、誤った推定と関連するこのPBの値を記録した。信号対雑音比SNRの検討値ごとに、25個の誤り系列  $\underline{a}$  を求めるために必要であると判明している系列  $\underline{u}$  の数と同じ回数だけこの手続きを繰り返した。

【0079】

シミュレーションが完了したとき、誤った推定と関連するこれらの系列  $\underline{v}$  はいずれも28未満の重みPBを持たないことがわかった。専門家には知られているように、この結果を実現されたSNRの相対的に高い値(図8に示すグラフの形状に従って理解できる)と関連させて考えると、これはこのターボ符号の最短距離が28に等しくなければならないことを極めて明確に示している。

【0080】

【表1】

e	1	9	11	15	23	25	29	37	39	43	51	53
w <sub>2</sub> (e)	14	38	22	22	38	38	22	30	38	22	30	22
w <sub>3</sub> (e)	10	22	26	34	24	26	28	18	26	30	26	32
e	57	65	67	71	79	81	85	93	95	99	107	109
w <sub>2</sub> (e)	38	14	22	38	22	22	22	22	14	22	22	30
w <sub>3</sub> (e)	18	62	26	28	34	32	30	30	62	32	28	24
e	113	121	123	127	135	137	141	149	151	155	163	165
w <sub>2</sub> (e)	22	38	30	14	38	38	30	22	38	30	22	30
w <sub>3</sub> (e)	14	28	26	62	20	22	26	14	20	26	26	22
e	169	177	179	183	191	193	197	205	207	211	219	221
w <sub>2</sub> (e)	38	22	30	38	14	14	30	30	22	30	30	22
w <sub>3</sub> (e)	18	34	18	24	60	96	26	22	32	24	16	12

【0081】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例による特定の符号化方法の選択に至る連続するステップを示す流れ図。

【図2】本発明の一実施例による符号化装置を概略的に示す図。

【図3a】第1の符号器の従来の機能を概略的に示す図。

【図3b】第2の符号器の従来の機能を概略的に示す図。

【図4】本発明の一実施例によるデジタル信号送信装置を概略的に示す図。

【図5】本発明の一実施例によるターボ復号装置を概略的に示す図。

【図6】本発明の一実施例によるデジタル信号受信装置を概略的に示す図。

【図7】本発明を実現することが可能である無線遠隔通信ネットワークの一実施例を概略的に示す図。

【図8】本発明の一実施例による符号化及び復号方法のシミュレーションの結果を示すグ

ラフ。

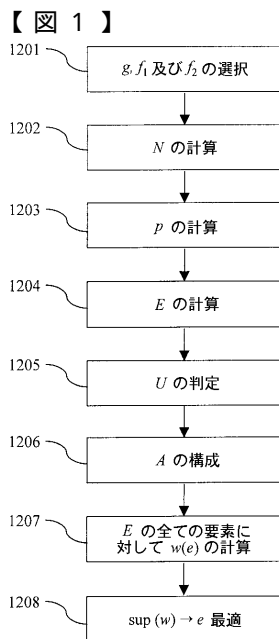


FIG. 1

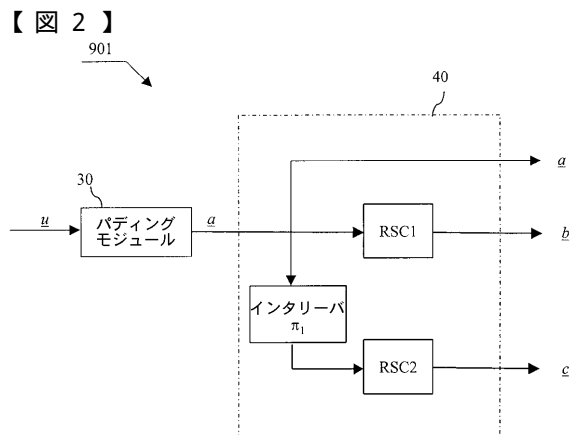


FIG. 2



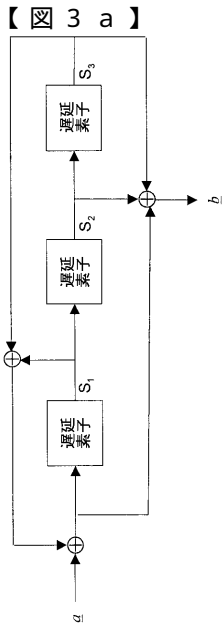


FIG. 3a

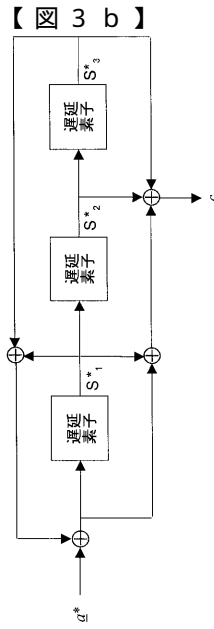


FIG. 3b

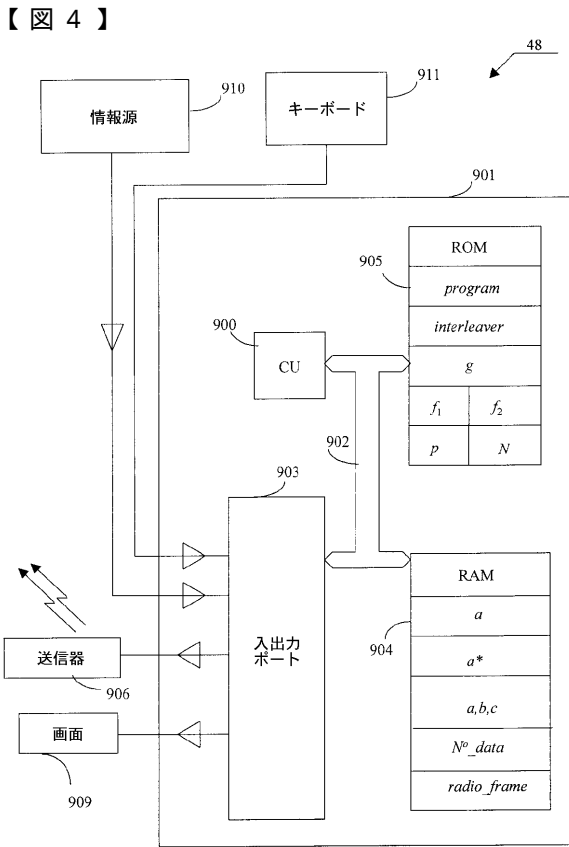


FIG. 4

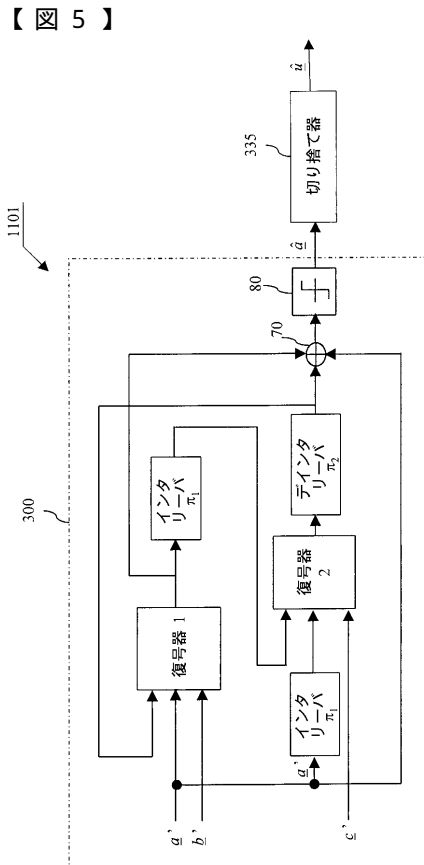


FIG. 5

【 図 6 】

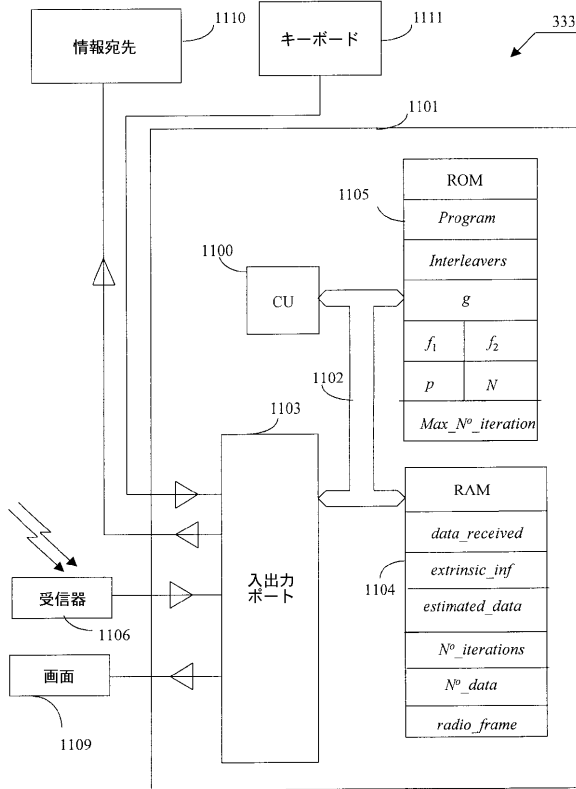


FIG. 6

【 図 7 】

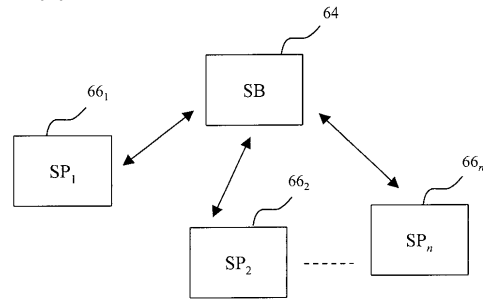


FIG. 7

【 図 8 】

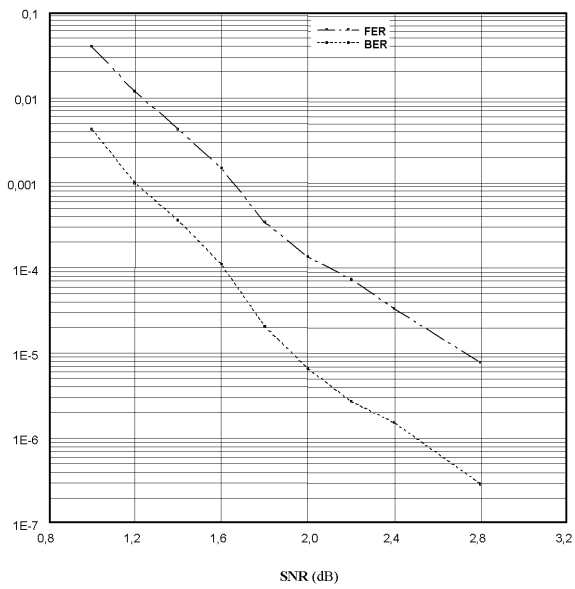


FIG. 8

---

フロントページの続き

(72)発明者 フィリップ ピレー

フランス国 レヌ - アタラント, セデックス セッソン - セヴィニエ 35517, リュ ドゥ  
ラ トゥッシュ - ランベール キヤノン リサーチ センター フランス エス. エー. 内

審査官 田中 庸介

(56)参考文献 特開2000 - 216689 (JP, A)

特開2000 - 224052 (JP, A)

特開2000 - 156646 (JP, A)

仏国特許出願公開第02790621 (FR, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H03M 13/00-13/53