

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5291714号
(P5291714)

(45) 発行日 平成25年9月18日(2013.9.18)

(24) 登録日 平成25年6月14日(2013.6.14)

(51) Int.Cl.

F I

H04 J 11/00 (2006.01)

H04 J 11/00

Z

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-526883 (P2010-526883)	(73) 特許権者	501263810
(86) (22) 出願日	平成20年7月23日 (2008.7.23)		トムソン ライセンシング
(65) 公表番号	特表2010-541377 (P2010-541377A)		Thomson Licensing
(43) 公表日	平成22年12月24日 (2010.12.24)		フランス国, 92130 イッシー レ
(86) 国際出願番号	PCT/US2008/008930		ムーリノー, ル ジャンヌ ダルク,
(87) 国際公開番号	W02009/045244		1-5
(87) 国際公開日	平成21年4月9日 (2009.4.9)		1-5, rue Jeanne d' A
審査請求日	平成23年5月16日 (2011.5.16)		rc, 92130 ISSY LES
(31) 優先権主張番号	60/995,782		MOULINEAUX, France
(32) 優先日	平成19年9月28日 (2007.9.28)	(74) 代理人	100070150
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 伊東 忠彦
		(74) 代理人	100091214
			弁理士 大貫 進介
		(74) 代理人	100107766
			弁理士 伊東 忠重

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 DMB-Tシステムのための時間周波数同期およびフレーム番号検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

受信機において使う方法であって、当該方法は：

受信シンボルのシーケンスを与えるための信号を受信する段階であって、受信される信号は複数のフレームを含むスーパーフレームをもつ関連する信号フレーム構造を有し、各フレームは受信シンボルのグループを有し、各フレームは異なる初期位相を有していてもよい擬似ノイズ・シーケンスをもつヘッダを有する、段階と、

隣接し合うフレーム内の受信シンボルのグループの自己相関を取ることによって、前記スーパーフレーム内の少なくとも一つのフレームについてのフレーム番号を決定する段階であって、シンボルのグループは前記隣接し合うフレームのフレーム・ヘッダの擬似ノイズ・シーケンスを含む、段階とを有しており、

前記決定する段階が：

右シフト自己相関から最大右シフト相関値を判別し；

左シフト自己相関から最大左シフト相関値を判別し；

前記最大右シフト相関値と前記最大左シフト相関値とを比較して、前記フレーム番号を決定するためのルックアップテーブルへのポインタを決定することを含む、方法。

【請求項 2】

前記信号がデジタル・マルチメディア放送 地上波 (Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial) テレビジョン信号であり、前記決定する段階が、フレーム・ヘッダ・

10

20

モード1およびフレーム・ヘッダ・モード3について実行される、請求項1記載の方法。

【請求項3】

受信シンボルのシーケンスを与えるための信号を受信し、ここで、受信される信号は複数のフレームを含むスーパーフレームをもつ関連する信号フレーム構造を有し、各フレームは受信シンボルのグループを有し、各フレームは異なる初期位相を有していてもよい擬似ノイズ・シーケンスをもつヘッダを有する、復調器と；

隣接し合うフレーム内の受信シンボルのグループの自己相関を調べることによって、前記スーパーフレーム内の少なくとも一つの信号フレームについてのフレーム番号を決定するプロセッサであって、自己相関を調べられるシンボルは前記隣接し合うフレームのフレーム・ヘッダの擬似ノイズ・シーケンスを含む、プロセッサとを有する、
装置であって、

10

前記プロセッサは、右シフト自己相関から最大右シフト相関値を、左シフト自己相関から最大左シフト相関値を判別し、両者を比較して前記フレーム番号を決定するためのルックアップテーブルへのポインタを決定する、
装置。

【請求項4】

前記信号がデジタル・マルチメディア放送 地上波 (Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial) テレビジョン信号であり、前記プロセッサが、フレーム・ヘッダ・モード1およびフレーム・ヘッダ・モード3についてのフレーム・タイミングに同期する、
請求項3記載の装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願への相互参照

本願は、2007年9月28日に出願された米国仮出願第60/995,782号の利益を主張するものである。

【0002】

発明の背景

本発明は概括的には通信システムに、より詳細には、たとえば地上波放送、携帯電話 (cellular)、無線忠実度 (Wi-Fi: Wireless-Fidelity)、衛星などの無線システムに関する。

30

【背景技術】

【0003】

近年、地上波テレビジョンのためのデジタル・マルチメディア放送 (DMB-T: Digital Multimedia Broadcasting for Terrestrial Television) 規格が中国におけるデジタル・テレビジョン (DTV) 放送のために公開された (非特許文献1)。DMB-T規格は、受信機が単一搬送波 (SC: single carrier) 変調モードおよび直交周波数分割多重 (OFDM: orthogonal frequency division multiplexing) 変調モード (マルチ搬送波モード) をサポートすることを規定している。単一搬送波モードについては、直交振幅変調 (QAM: Quadrature Amplitude Modulated) シンボルが直接送信される。マルチ搬送波モードについては、QAMシンボルは逆DFT (discrete Fourier transform [離散フーリエ変換]) 演算によって変調される。DMB-T信号は、階層的なフレーム構造をもち、信号フレームが基本的な構成要素を与える。信号フレーム10が図1に示されている。信号フレーム10はフレーム・ヘッダ11およびフレーム・ボディ12を有する。フレーム・ヘッダ11は異なる長さの三つのフレーム・ヘッダ・モードをもつ。図1から観察できるように、これらの長さは420シンボル、595シンボルまたは945シンボルである。フレーム・ボディ12は3780個のシンボルを伝達し、そのうち36シンボルがシステム情報であり、3744シンボルがデータである。DMB-Tシステムでは、時間領域同期OFDM (TDS-OFDM: time-domain synchronous OFDM) 技法が採用されている。よって、フレーム・ヘッダは擬似ノイズ (PN: pseudonoise) ・シーケンスを含む。擬似ノイズ・シーケンスはパイロット信号と

40

50

してはたらくとともに、ヨーロッパで使われるDVB-T(地上波)(たとえば非特許文献2参照)で使われるような典型的なOFDM送信に見出されるような巡回的プレフィックス(cyclic prefixes)に代わる保護区間(guard intervals)としても使われる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Broadcasting System」、NSPRC、2007年8月

【非特許文献2】ETSI EN 300 744 V1.4.1(2001-01)、「Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television」

【非特許文献3】F. Tufvesson, O. Edfors and M. Faulkner、「Time and Frequency Synchronization for OFDM Using PN-Sequence Preambles」、Proc. IEEE VTC、pp.2203-2207、1999年9月

【非特許文献4】P. Dent, E. G. Bottomley, and T. Croft、「Jakes Fading Model Revisited」、Electronics Letters、Vol. 29、No. 13、pp.1162-1163、1993年6月

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記のように、DMB-T信号は信号フレームを有する。信号フレームはフレーム・ヘッダおよびフレーム・ボディを有する。DMB-T規格では三つのフレーム・ヘッダ・モード(モード)が定義されており、各モードについての構造は異なっている。それらの異なるモードのフレーム・ヘッダは擬似ノイズ(PN)・シーケンスを含む。擬似ノイズ・シーケンスは上述したDVB-Tのような典型的なOFDM送信に見出されるような巡回的プレフィックスに代わる保護区間として挿入される。モード1および3におけるPNフレーム・ヘッダはまた、DMB-Tにおける信号フレーム番号を示すためにも設計されている。これに関し、フレーム・ヘッダ・モード1および3において使用されるPNシーケンスの認識は、フレーム番号を検出するために使うことができる。具体的には、本発明の原理によれば、受信機は受信されたシンボルのシーケンスを与えるために信号を受信する。受信された信号は関連付けられた信号フレーム構造を有しており、各フレームは受信されたシンボルのグループを有する。受信機は各フレームについてのフレーム番号を、隣接する信号フレーム内の受信されたシンボルのグループどうしを相関付ける(correlate)ことによって決定する。

【0006】

本発明のある例示的な実施形態では、受信機はDMB-T受信機であり、単一搬送波(SC)型の変調および直交周波数分割多重(OFDM)のようなマルチ搬送波型の変調をサポートする。放送信号を受信すると、受信機は受信された放送信号を受信されたベースバンド信号にダウンコンバートし、隣り合う信号フレーム内の受信シンボルのグループどうしを相関付けることによって、各フレームについてのフレーム番号を判別する。具体的には、受信機は、最大右シフト相関値および最大左シフト相関値を判別する。最大右シフト相関値の大きさが最大左シフト相関値の大きさ以上である場合には、最大右シフト相関値がルックアップテーブルからフレーム番号を取得するために使われる。そうでない場合には、最大左シフト相関値の負の値が、ルックアップテーブルからフレーム番号を取得するために使われる。

【0007】

上記に鑑み、また詳細な説明を読むことから明白となるであろうように、本発明の原理の範囲内にはいる他の実施形態および特徴も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】DMB-Tフレームを示す図である。

【図 2】DMB-Tフレーム・ヘッダを示す図である。

【図 3】本発明の原理に基づく例示的なデータ・セグメントを示す図である。

【図 4】本発明の原理に基づく例示的な実施形態を示す図である。

【図 5】本発明の原理に基づく例示的なフローチャートを示す図である。

【図 6】本発明の原理に基づく受信機の例示的な実施形態を示す図である。

【図 7】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。

【図 8】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。

【図 9】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。 10

【図 10】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。

【図 11】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。

【図 12】本稿に記載されるさまざまな方法についてのパフォーマンス・グラフを示す図の一つである。

【図 13】本発明の原理に基づく例示的なデータ・セグメントを示す図である。

【図 14】本発明の原理に基づくもう一つの例示的なフローチャートを示す図である。

【図 15】本発明の原理に基づく受信機の例示的な実施形態を示す図である。 20

【発明を実施するための形態】

【0009】

本発明の概念のほかは、図面に示される要素はよく知られたもので、詳細に説明することとはしない。また、テレビジョン放送、受信機およびビデオ・エンコードになじみがあることを前提とし、本稿で説明はしない。たとえば、本発明の概念のほかは、NTSC (National Television Systems Committee [全米テレビジョン・システム委員会])、PAL (Phase Alternation Lines [位相交替線])、SECAM (SEquential Couleur Avec Memoire [記憶をもつ逐次カラー])、ATSC (Advanced Television Systems Committee [先進テレビジョン・システム委員会])、中国デジタル・テレビジョン・システム(GB)20600-2006といった現行のおよび提案されているテレビジョン (TV) 規格およびIEEE802.16 30、802.11hなどのようなネットワーキングについての勧告になじみがあることは前提とする。DVB-T放送信号についてのさらなる情報は、たとえば、非特許文献2に見出すことができる。同様に、本発明の概念のほかは、8レベル残留側波帯 (8-VSB: eight-level vestigial sideband)、直交振幅変調 (QAM: Quadrature Amplitude Modulation)、直交周波数分割多重 (OFDM) または符号化OFDM (COFDM) または離散マルチトーン (DMT: discrete multitone) のような伝送概念および無線周波 (RF: radio-frequency) フロントエンドのような受信機コンポーネントまたは低ノイズ・ブロック、チューナーおよび復調器、相関器 (correlator)、リーク積分器 (leak integrator) および平方器 (squarer) のような受信機セクションは前提とされる。同様に、本発明の概念のほかは、転送ビットストリームを生成するためのフォーマットおよびエンコードの方法 (動画像専門 40家グループ (MPEG) -2システム規格 (ISO/IEC13818-1) のような) はよく知られており、本稿で説明することとはしない。また、本発明の概念は、従来式のプログラミング技法を使って実装されてもよいことを注意しておくべきであろう。そのような従来式のプログラミング技法については本稿では説明しない。最後に、図面における同様の符号は同様の要素を表す。

【0010】

前記のように、DMB-Tには三つの異なるフレーム・ヘッダ・モードがある。これらは図2に示されている。フレーム・ヘッダ・モード1 (11-1) は前同期部分 (21)、PN255シーケンス部分 (22) および後同期部分 (23) を含む。前 (21) および後 (23) 同期は、PN255シーケンス (22) の巡回的な延長である。前同期の長さは82シンボ 50

ルであり、後同期の長さは83シンボルである。フレーム・ヘッダ・モード1については、255個の信号フレームのグループがスーパーフレーム（図示せず）をなし、これらの225個のフレームが同じ8次線形シフトレジスタによって生成されるが異なる初期位相をもつPNシーケンスを使う。フレーム・ヘッダ・モード2（11-2）はPN595シーケンスを有し、これは10次の最大長シーケンスを打ち切ったものである。たとえば、フレーム・ヘッダ・モード2（11-2）は、長さ1023のPNシーケンスからの最初の595個のシンボルからなる。フレーム・ヘッダ・モード2については、216個の信号フレームのグループがスーパーフレームをなす。フレーム・ヘッダ・モード1とは異なり、すべてのフレーム・ヘッダが同じPN595シーケンスを含む。最後に、フレーム・ヘッダ・モード3（11-3）はフレーム・ヘッダ・モード1（11-1）の構造と同様である。フレーム・ヘッダ・モード3は前同期（41）、PN511シーケンス（42）および後同期（43）を含む。前（41）および後（43）同期は、PN511シーケンス（42）の巡回的な延長である。前同期の長さは217シンボルであり、後同期の長さは217シンボルである。フレーム・ヘッダ・モード3については、200個の信号フレームのグループがスーパーフレームをなし、これらの200個のフレームが同じ9次線形シフトレジスタによって生成された異なる初期位相をもつPNシーケンスを使う。異なるモードについての異なる構造にもかかわらず、本発明の原理によれば、受信機は、サンプル・シフト値内で少なくとも2信号フレーム離間した受信シンボルのグループどうしの相関を取ることによってフレーム・タイミング同期を実行する。以下の記述では、受信機はすでに通常の技法によってフレーム・ヘッダ・モードを

【0011】

上記したように、フレーム・ヘッダ・モード1および3については、あるスーパーフレーム内の諸信号フレーム・ヘッダは、同じ線形シフトレジスタによって生成されているが異なる初期位相をもつPNシーケンスを使う。これらのPNシーケンスは互いの巡回シフトとなっている。スーパーフレームの各信号フレームについてのPNシーケンスの初期位相は、先述した非特許文献1に挙げられている。コンピュータ検証後、我々は、PNシーケンスが以下の構造をもつことを見出した。最初の信号フレーム内のPNシーケンスを参照PNシーケンスとし、 $P_i(l)$ をフレーム・ヘッダ・モード*i*について参照PNシーケンスに対して*l*位置だけ巡回的に右シフトさせたPNシーケンスであるとする。すると、フレーム・ヘッダ・モード1について、次の関係が成り立つ：

【数1】

$$F_1(l) = \begin{cases} P_1(l/2), & l=0,2,\dots,112 \\ P_1(254-(l-1)/2), & l=1,3,\dots,111 \\ F_1(224-l), & l=113,\dots,224 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 $F_1(l)$ は、フレーム・ヘッダ・モード1について*l*番目の信号フレームにおいて使われるPNシーケンスである。同様にして、フレーム・ヘッダ・モード3については、次の関係が成り立つ：

【数2】

$$F_3(l) = \begin{cases} P_3(l/2), & l=0,2,4,\dots,100 \\ P_3(510-(l-1)/2), & l=1,3,5,\dots,99 \\ F_3(200-l), & l=101,102,\dots,199 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $F_3(l)$ は、フレーム・ヘッダ・モード3について*l*番目の信号フレームにおいて使われるPNシーケンスである。

【0012】

式(1)および(2)において与えられているPNシーケンス構造から、真ん中の二つの信号フ

フレーム（これらはモード1ではフレーム111および113、モード3ではフレーム99および101である）を除いては、一つおきの信号フレームについてのPNシーケンスの巡回シフトは、1位置右へ、または1位置左へであることがわかる。真ん中の二つの信号フレームについては（繰り返すが、これらはモード1ではフレーム111および113、モード3ではフレーム99および101である）、それらの1フレーム隣のPNシーケンスは1位置巡回シフトされているか、不変かのどちらかである。したがって、一つおきの信号フレームについて、フレーム・ヘッダは少なくとも $L_i - 1$ 個の反復されたPNシンボルをもち、 L_i は $i = 1, 3$ としてフレーム・ヘッダ・モード i についてのフレーム・ヘッダの長さである（たとえば、 $L_1 = 420$ シンボル、 $L_3 = 495$ シンボル）。これに鑑み、本発明の原理によれば、タイミング例 m および s サンプル・シフトに関するPNフレーム・ヘッダ相関（FHC: Frame Header Correlation）関数が：

【数3】

$$R_{fnc}[m, s] = \sum_{k=0}^{G_i-2} r[m+k] \cdot r^*[m+k+2M_i+s]; i=1, 3; s=-1, 0, 1 \quad (3)$$

として定義される。ここで、 $r[m]$ はサンプリングされた受信信号であり、 G_i は $i = 1, 3$ としてフレーム・ヘッダ・モード i についてのPNシーケンスの長さである（たとえば、 $G_1 = 255$ シンボル、 $G_3 = 511$ シンボル）。パラメータ $M_i = N + L_i$ は、 $i = 1, 3$ としてフレーム・ヘッダ・モード i についての信号フレームの長さである（たとえば、 $M_1 = 4206$ シンボル、 $M_3 = 4725$ シンボル）。よって、最適フレーム・タイミング m_0 は：

【数4】

$$m_0 = \arg \max_{0 \leq m \leq M_i-1} \max_{-1 \leq s \leq 1} |R_{fnc}[m, s]| \quad (4)$$

によって与えられる。

サンプル・タイミングがシンボル・タイミングに等しいことが想定されていることを注意しておくべきであろう。しかしながら、本発明の概念はそうように限定されるものではなく、サンプル・タイミングはシンボル・タイミングとは異なることもできる。式(3)は概念的に図3に図解されている。受信信号 r はサンプリングされてサンプルのシーケンスを与える。たとえば、サンプル79は($k=0$ における) $r[m]$ を表す。一連のサンプル81($0 \leq k \leq G_i - 2$)は、 $2M_i$ サンプル離れて、すなわち少なくとも2信号フレーム離れて位置し、 s サンプル前方または後方にシフトされている一連のサンプル82($0 \leq k \leq G_i - 2$)からの対応するサンプルを乗算される。ここで、 $s = -1, 0, 1$ である。本質的には、あるサンプル・シフト値内で少なくとも2信号フレーム離間しているスライディング窓相関である。ひとたび m_0 が決定されたら（式(4)）、 m_0 の値は、シンボル単位でフレームがどこで始まるかを表す。

【0013】

ここで図4を参照すると、本発明の原理に基づく装置50の例示的な実施形態が示されている。装置50は任意のプロセッサ・ベースのプラットフォームを表す。たとえば、パソコン(PC)、サーバー、セットトップボックス、携帯情報端末(PDA)、携帯電話、モバイル・デジタル・テレビジョン(DTV)、DTVなどである。これに関し、装置50は、メモリが付随する一つまたは複数のプロセッサを含み（図示せず）、受信機55をも有する。受信機55は放送信号1を（たとえばアンテナ（図示せず）を介して）受信する。この例の目的のためには、放送信号1はデジタル・テレビジョン(DTV)・サービス、すなわちDTVトランスポート・ストリームを表すと想定される。これは少なくとも一つのテレビ・チャンネルのためのビデオ、オーディオおよび/またはシステム情報を含み、その放送信号1はこの情報を、単一搬送波(SC)変調または直交周波数分割多重(OFDM)のようなマルチ搬送波変調のいずれかを使って伝達する。例示的に、DTVサービスはDMB-Tを介して

10

20

30

40

50

伝達されると想定される。しかしながら、本発明の概念はそれに限定されるものではない。この例では、放送信号 1 は少なくとも三つの型のフレーム・ヘッダ・モードを使うので、受信機 55 は、フレーム・タイミング同期を実行するために本発明の原理に基づいて受信された放送信号 1 を処理する。フレーム・タイミング同期を得たあとで、受信機 55 はさらに受信された放送信号 1 を処理してそこから、出力装置 60 に加えるための出力信号 56 を復元する。出力装置 60 は、破線の形で表されているように装置 50 の一部であってもなくてもよい。この例のコンテキストでは、出力装置 60 は、選択されたテレビ番組を視聴することをユーザーに許容するディスプレイである。

【0014】

ここで図 5 を参照すると、装置 50 で使うための本発明の原理に基づく例示的なフローチャートが示されている。ステップ 205 において、受信機 55 が、サンプリングされた受信信号（たとえば先の図 3 参照）からのサンプルに対して、フレーム・ヘッダ相関（式(3)）を実行する。このデータから、受信機 55 はステップ 215 においてピーク値 m_0 を決定する（式(4)）。値 m_0 はどこでフレームが始まるかを表す。ステップ 215 において、受信機 55 はまた、フレーム・タイミング同期が達成されたことを信号で合図する。

【0015】

ここで図 6 に目を転じると、受信機 55 の例示的な部分が示されている。受信機 55 のうち本発明の概念に重要な部分のみが示されている。受信機 55 はダウンコンバータ 110、復調器 115 およびフレーム・タイミング同期器 120 を有する。さらに、受信機 55 はプロセッサ・ベースのシステムであり、図 6 において破線の四角の形で示されているプロセッサ 190 およびメモリ 195 によって表される一つまたは複数のプロセッサおよび付随するメモリを含む。このコンテキストにおいて、コンピュータ・プログラムまたはソフトウェアがプロセッサ 190 によるたとえば上記の図 5 のフローチャートの実行のためにメモリ 195 に記憶されている。プロセッサ 190 は一つまたは複数の記憶プログラム型制御プロセッサを表し、これらは受信機機能専用である必要はない。たとえば、プロセッサ 190 は受信機 55 の他の機能をも制御してもよい。たとえば、受信機 55 がより大きな装置の一部である場合、プロセッサ 190 はこの装置の他の機能を制御してもよい。メモリ 195 は任意の記憶装置、たとえばランダム・アクセス・メモリ（RAM）、読み出し専用メモリ（ROM）などを表し、受信機 55 に内蔵および／または外付けであってよく、必要に応じて揮発性および／または不揮発性である。

【0016】

図 6 のアンテナ 105 は放送信号を受信してそれを受信機 55 に与える。この例では、アンテナ 105 は受信された放送信号 106 をダウンコンバータ 110 に与える。ダウンコンバータ 110 は受信機 55 のフロントエンド処理を表し、たとえば、受信された放送信号 106 に同調し、これをダウンコンバートして、ベースバンドのまたは中間周波（IF: intermediate frequency）の受信信号 111 を受信機 55 によるさらなる処理のための提供するためのチューナー（図示せず）などを含む。受信信号 111 は復調器 115 に加えられる。DMB-T のコンテキストでは、復調器 115 は、 $N > 1$ として N 個の復調モードをサポートする。この例のコンテキストでは、 $N = 2$ であり、一つの復調モードは OFDM モードであり、もう一つの復調モードは SC モードである。この例の目的のためには、受信信号 111 は、フレーム・ヘッダ・モード 1 またはフレーム・ヘッダ・モード 3 のいずれかを使って OFDM 信号を表すと想定される。復調器 115 は受信信号 111 を復調して復調信号 116 を与え、この復調信号 116 が次いでさらに受信機 55 によって、当技術分野で既知の仕方で（省略符号 130 によって表されるように）処理され、出力信号 16 を与える。本発明の原理によれば、フレーム・タイミング同期器 120 は、信号経路 112 を介した復調器 115 からのデータを処理して（図 5 のフローチャートに関連して上述したように）、受信機 55 による使用のためのフレーム・タイミング同期を達成する。これは、図 6 では信号 121 によって図示されている。これは、受信機 55 による使用のために、フレーム・タイミング同期が達成された（たとえば図 5 のステップ 215）ことを信号発信する。図 6 のさまざまな要素が単一のブロックとして表されているが、本発明はそれに

10

20

30

40

50

限定されるものではない。たとえば、それぞれが一つまたは複数の型の復調をサポートする別々の復調器があってもよい。

【 0 0 1 7 】

モード 1 および 3 における PN フレーム・ヘッダは DMB-T における信号フレーム番号を指示するためにも設計されていることを注意しておくべきであろう。これに関し、本発明の原理に基づくフレーム・ヘッダ・モード 1 および 3 において使用される PN シーケンスの認識は、フレーム番号を検出するために使うことができる。実際、式 (1) および (2) を使うと、低計算量のフレーム番号検出器が得られる。さらに、この低計算量フレーム番号検出器は、周波数オフセットの影響を受けない。

【 0 0 1 8 】

フレーム・ヘッダ・モード 1 およびフレーム・ヘッダ・モード 3 についてのそれぞれ $i = 1, 3$ について、 $S_i(l)$ を、(1) および (2) に基づく $F_i(l)$ から $F_i(l+1)$ への巡回的な右シフトの数であるとする。具体的には、フレーム・ヘッダ・モード 1 については、

【 数 5 】

$$S_1(l) = \begin{cases} (-1)^{l+1}(l+1), & 0 \leq l \leq 111 \\ (-1)^{l+1}(224-l), & 112 \leq l \leq 224 \end{cases} \quad (5)$$

であり、フレーム・ヘッダ・モード 3 については、

【 数 6 】

$$S_3(l) = \begin{cases} (-1)^{l+1}(l+1), & 0 \leq l \leq 99 \\ (-1)^{l+1}(200-l), & 100 \leq l \leq 199 \end{cases} \quad (6)$$

である。

$S_i(l)$ の値が負であることは、左への巡回シフトを示すことを注意しておくべきであろう。こうして、 $F_i(l)$ から $F_i(l+1)$ への一意的な巡回シフトがある。また、フレーム・ヘッダ l および $l+1$ について、 $L_i - |S_i(l)|$ 個の反復されるシンボルがあることも注意しておくべきであろう。式 (5) および (6) から、二つのルックアップテーブル (LUT) が構築できる。一方の LUT はフレーム・ヘッダ・モード 1 についてであり、他方の LUT はフレーム・ヘッダ・モード 3 についてである。各 LUT において、各巡回シフト s は、フレーム番号 l の値に関連付けられる。フレーム・ヘッダ・モード 1 については、連続する二つのフレーム・ヘッダ内に少なくとも $Z_1 = 308$ 個の反復シンボルがあり、フレーム・ヘッダ・モード 3 については、連続する二つのフレーム・ヘッダ内に少なくとも $Z_3 = 845$ 個の反復シンボルがある。ここで、 $R_{pnc}^R[s]$ および $R_{pnc}^L[s]$ を、 s サンプルの右および左へのシフトに関する PN 相関関数 (PN correlation functions) とする：

【 数 7 】

$$R_{pnc}^R[s] = \sum_{k=0}^{Z_i-1} r[m_0+k] \cdot r^*[m_0+k+M_i+s]; \quad (7)$$

$$R_{pnc}^L[s] = \sum_{k=0}^{Z_i-1} r[m_0+k+s] \cdot r^*[m_0+k+M_i]$$

$i = 1, 3$ であり、 $R_{pnc}^R[s]$ について $0 \leq s \leq 112$ であり、 $R_{pnc}^L[s]$ について $0 \leq s \leq 112$ である。次いで、

【数 8】

$$s_R = \arg \max_{0 \leq s \leq 112} |R_{pnc}^R[s]|, i = 1, 3, \quad (8)$$

$$s_L = \arg \max_{1 \leq s \leq 112} |R_{pnc}^L[s]|, i = 1, 3,$$

とする。最後に、 $F_i(l)$ から $F_i(l+1)$ への PN シーケンスの推定される巡回シフトは：

【数 9】

$$\hat{s} = \begin{cases} s_R, & \text{if } |R_{pnc}^R[s_R]| \geq |R_{pnc}^L[s_L]| \\ -s_L, & \text{if } |R_{pnc}^R[s_R]| < |R_{pnc}^L[s_L]| \end{cases} \quad (9)$$

10

によって与えられる。

【0019】

式(9)の \wedge 付き s の値は、次いで、適切なLUTから関連付けられたフレーム番号 l を取り出すために使用される。

【0020】

さらなる例示として、式(7)からの $R_{pnc}^R[s]$ が概念的に図13に示されている。たとえば式(4)からの m_0 の値を使ってひとたびフレーム同期が決定されると、反復されるシンボルをもつ、隣り合う信号フレームの部分どうしと一緒に相関付けされる。これは図13において第一のフレームの部分301と次の隣接フレームの部分302によって示されている。

20

【0021】

ここで図14を参照すると、装置50における使用のための本発明の原理に基づく例示的なフローチャートが示されている。ステップ405では、受信機55はフレーム同期を実行する(たとえば、図5に示され、先に述べた方法を使って)。ひとたびフレーム同期が達成されると、受信機55はステップ410において、最大右シフト相関値 s_R および最大左シフト相関値 s_L を決定する(たとえば上記の式(7)および式(8)から)。ステップ415では、これらの値の大きさが比較される。最大右シフト相関値の大きさが最大左シフト相関値の大きさ以上である場合には、最大右シフト相関値が、ステップ420においてルックアップテーブルからフレーム番号を取得するために使われる(式(9))。そうでない場合には、最大左シフト相関値に負号を付けた値が、ステップ425においてルックアップテーブルからフレーム番号を取り出すために使われる(式(9))。このプロセスは、スーパーフレーム内の諸隣接フレームについて続けられる。

30

【0022】

ここで図15に目を向けると、受信機55のもう一つの例示的な部分が示されている。受信機55のうち本発明の概念に重要な部分のみが示されている。受信機55のこの部分は図6に示したものと同様であるが、フレーム番号検出器140が加わっている。フレーム番号検出器140は二つのルックアップテーブル142および143を有する。ルックアップテーブル142はフレーム・ヘッダ・モード1に関連付けられており、そのモードについて、各巡回右シフトをフレーム番号と関連付ける。同様に、ルックアップテーブル143はフレーム・ヘッダ・モード3に関連付けられており、そのモードについて、各巡回右シフトをフレーム番号と関連付ける。本発明の原理によれば、フレーム番号検出器140は信号経路112を介した復調器115からのデータを処理して(図14のフローチャートに関連して上述したように)、受信機55による使用のためのフレーム番号を決定する。これは、図15では信号141によって図示されている。これは、各受信フレームについてのフレーム番号を与える。

40

【0023】

図2に示したように、フレーム・ヘッダ・モード1および3については、フレーム・ヘ

50

ッダはPNシーケンスおよびその巡回的な延長を含む。よって、フレーム・ヘッダ・モード 1 では、フレーム・ヘッダの最初の165個のシンボルは、そのフレーム・ヘッダの最後の165個のシンボルの繰り返しである。同様に、フレーム・ヘッダ・モード 3 では、フレーム・ヘッダの最初の434個のシンボルは、そのフレーム・ヘッダの最後の434個のシンボルの繰り返しである。よって、これらの巡回的な延長の間の相関も、フレーム・タイミング同期を実行するために使うことができる。具体的には、タイミング例mに関する巡回的な延長相関 (CEC: Cyclic Extension Correlation) 関数は:

【数 1 0】

$$R_{cec}[m] = \frac{1}{C_i} \sum_{k=0}^{C_i-1} r[m+k] \cdot r^*[m+k+G_i], \quad i=1,3. \quad (10)$$

10

として定義される。パラメータ $C_1 = 165$ は巡回的な延長されるシンボルの数であり、 $G_1 = 255$ はフレーム・ヘッダ・モード 1 についてのPNシーケンスの長さである。同様に、パラメータ $C_3 = 434$ は巡回的な延長されるシンボルの数であり、 $G_3 = 511$ はフレーム・ヘッダ・モード 3 についてのPNシーケンスの長さである。その際、最適なフレーム・タイミング (信号フレームの先頭におけるサンプル・インデックス) は:

【数 1 1】

$$m_1 = \arg \max_{0 \leq m \leq M_1-1} |R_{cec}[m]| \quad (11)$$

20

によって与えられる。

【0 0 2 4】

周波数オフセットの存在は、タイミング・インデックスに比例する位相回転を引き起こすことを注意しておくべきであろう。よって、周波数オフセット f を、

【数 1 2】

$$\Delta f = \text{Arg}(R_{cec}[m_1]) \cdot \frac{f_s}{2\pi G_i} \quad (12)$$

30

によって推定することが一般的である。ここで、 $f_s = 7.56\text{MHz}$ はDMB-Tシステムのシンボル・レートである (たとえば非特許文献 3 参照)。関数 $\text{Arg}(\cdot)$ は、引数の $\text{mod } 2$ の角である。位相曖昧さのため、式 (12) で与えられる周波数オフセット推定器はその限界があることを注意しておくべきであろう。フレーム・ヘッダ・モード 1 については、この推定器は $|f| < 29647\text{Hz}$ のときに信頼できる推定ができ、フレーム・ヘッダ・モード 3 については、この推定器は $|f| < 14794\text{Hz}$ のときに信頼できる推定ができる。

【0 0 2 5】

提案されるフレーム・タイミング同期器、周波数オフセット推定器およびフレーム番号検出器のパフォーマンスは、コンピュータ・シミュレーションによって実証された。シミュレーション環境は、加法的白色ガウス雑音 (AWGN: additive white Gaussian noise) および二乗平均平方根 (RMS: root mean square) 遅延スプレッドが $1.24\mu\text{s}$ (9.37 サンプル) に等しいマルチパス・レイリー・フェージング・チャネルである。マルチパス・レイリー・フェージング・チャネルについては、各信号経路のエンベロープがレイリー分散しており、各経路のチャネル利得がジェークス (Jakes) ・フェージング・モデルによって生成される (たとえば非特許文献 4 参照)。図 7 および図 8 は、AWGN環境のもとでのフレーム・ヘッダ・モード 1 (図 7) およびフレーム・ヘッダ・モード 3 (図 8) についての推定されたタイミングの標準偏差を示している。標準偏差は SNR が 5dB 付近であるときには 1 サンプル未満であることが観察できる。周波数オフセットは、シミュレーションでは 14kHz に設定されている。図 9 (フレーム・ヘッダ・モード 1 について) および図 1

40

50

0 (フレーム・ヘッダ・モード3について) から見て取れるように、SNRが0dBのとき、二乗平均平方根 (RMS) 残差周波数オフセットは、フレーム・ヘッダ・モード1については300Hzに近く、フレーム・ヘッダ・モード3については100Hzに近い。最後に、フレーム・ヘッダ番号検出に関し、図11 (フレーム・ヘッダ・モード1) および図12 (フレーム・ヘッダ・モード3) において、提案されるアルゴリズムが優秀なパフォーマンスを発揮し、SNRが-3dBより大きいときにはフレーム番号検出誤差が起こりそうもないことが観察できる。フレーム番号検出器において使われるフレーム・タイミングが式(3)および(4)のPNSタイミング同期器から得られていることを注意しておくべきであろう。

【0026】

上記のように、本発明の原理によれば、フレーム・タイミング同期器およびフレーム番号検出器は、フレーム・ヘッダ・モード1および3におけるPNパターンを利用する。フレーム・ヘッダにおける巡回的な延長の性質に基づく合同フレーム・タイミングおよび周波数オフセット推定器も上記した。シミュレーション結果は、すべての提案されるアルゴリズムのパフォーマンスが優れていることを示している。さらに、提案されるアルゴリズムの計算量は非常に少なく、よって提案されるアルゴリズムは実用的なシステムにおいて簡単に適用できる。OFDM信号のコンテキストにおいて記述しているが、本発明の概念は単一搬送波信号にも適用可能である。さらに、フレーム・ヘッダ・モード2については、従来式の関連技法を使うことができることは認識しておくべきである。

【0027】

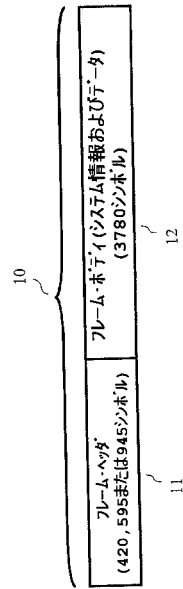
上記に鑑み、以上は単に本発明の原理を例解するものであり、よって、当業者は、本稿に明示的に記載されてはいなくても本発明の原理を具現するものでありその精神および範囲内である数多くの代替的な構成を考案できるであろうことは理解されるであろう。たとえば、別個の機能要素のコンテキストで例解されていても、それらの機能要素は一つまたは複数の集積回路 (IC) において具現されてもよい。さらに、本発明の原理は他の型の通信システム、たとえば衛星、無線忠実度 (Wi-Fi)、携帯電話等にも適用可能であることは注意しておくべきである。実際、本発明の概念は静止または移動受信機にも適用可能である。したがって、付属の請求項によって定義される本発明の精神および範囲から外れることなく、例示的な実施形態に数多くの修正がなされてもよく、他の構成が考案されてもよいことは理解しておくものとする。

10

20

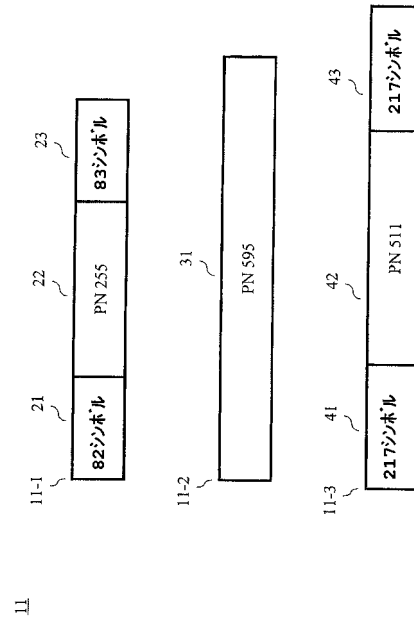
【図 1】

従来技術

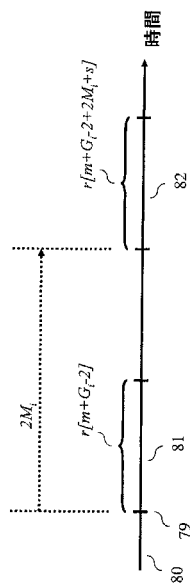


【図 2】

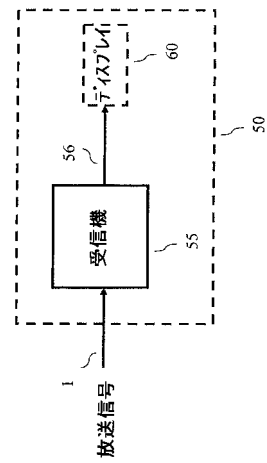
従来技術



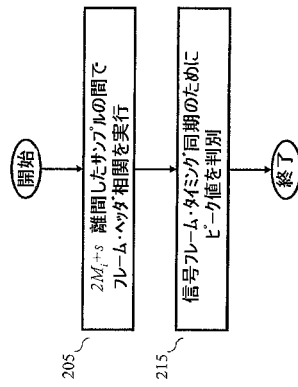
【図 3】



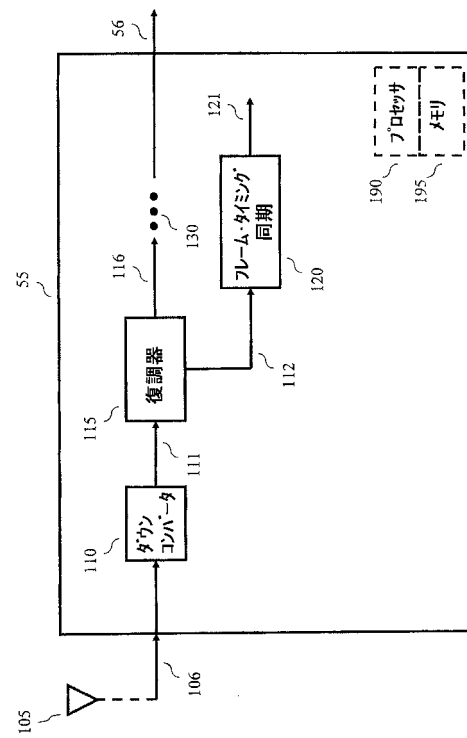
【図 4】



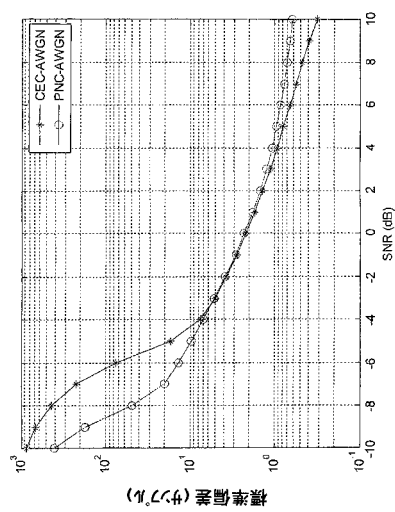
【 図 5 】



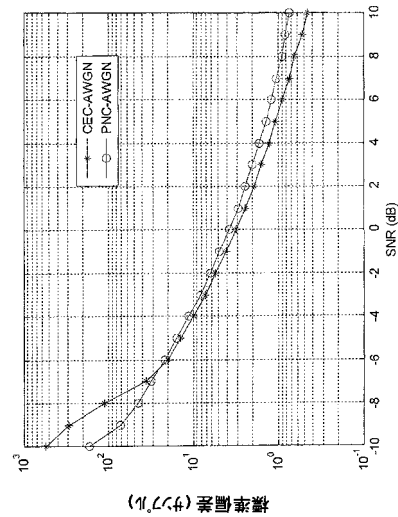
【 図 6 】



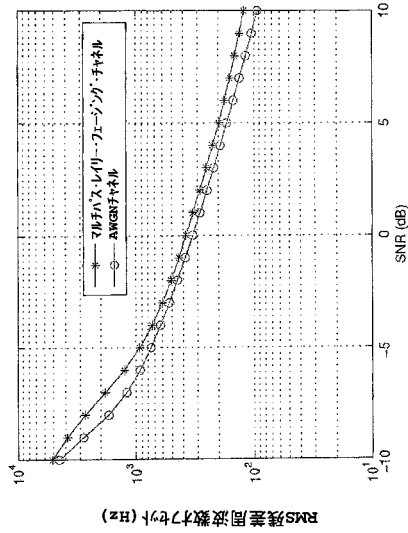
【圖 7】



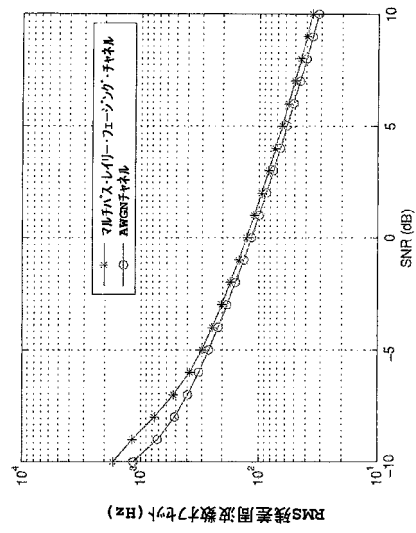
【 図 8 】



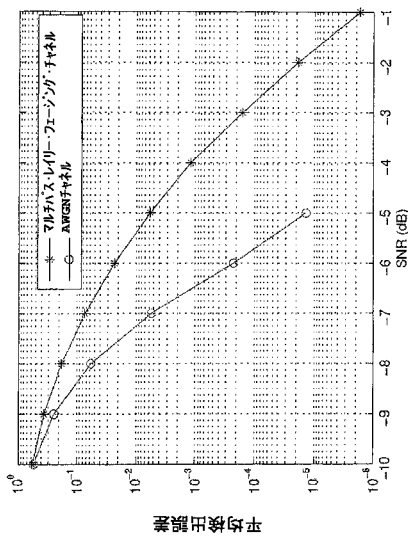
【図 9】



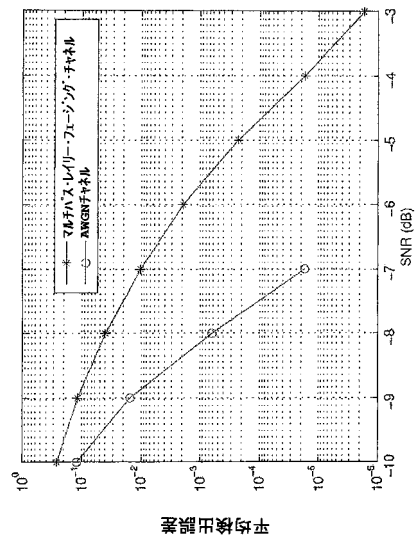
【図 10】



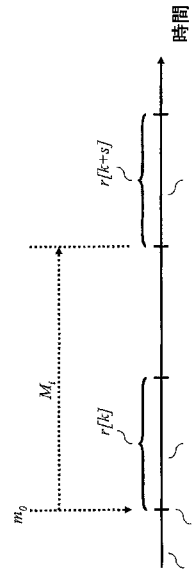
【図 11】



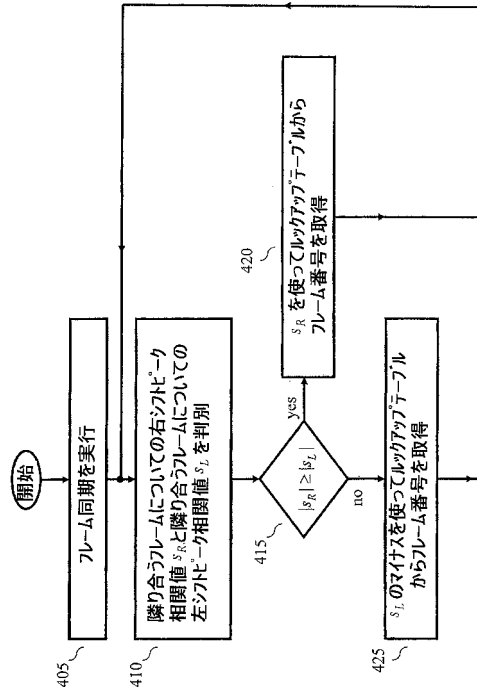
【図 12】



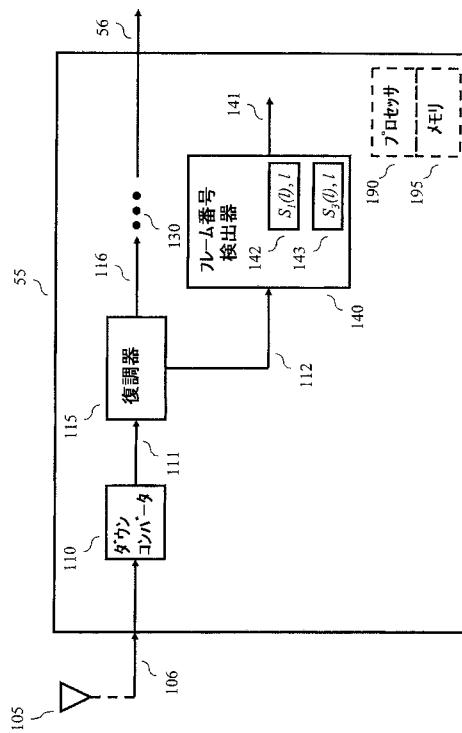
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 チェン, ホウ シン

アメリカ合衆国, ニュージャージー州 08817, エディソン, ヨーク・ドライブ 42, アパートメント 3エイ

(72)発明者 ガオ, ウェン

アメリカ合衆国, ニュージャージー州 08550, ウェスト・ウィンザー, ウォーウィック・ロード 73

審査官 北村 智彦

(56)参考文献 特開2000-078234(JP, A)

特開2003-163647(JP, A)

特表2002-540720(JP, A)

特表2010-541378(JP, A)

特表2010-541376(JP, A)

Wenjun Zhang, Yunfeng Guan, Weiqiang Liang, Dazhi He, Feng Ju, Jun Sun, An Introduction of the Chinese DTTB Standard and Analysis of the PN595 Working Modes, IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, 2007年 3月, VOL.53, NO.1, pp.8-13

Jian Song, Zhixing Yang, Lin Yang, Ke Gong, Changyong Pan, Jun Wang, Youshou Wu, Technical Review on Chinese Digital Terrestrial Television Broadcasting Standard and Measurements on Some Working Modes, IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, 2007年 3月, VOL.53, NO.1, pp.1-7

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 11/00