(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3614717号
(P3614717)
(45)発行日　平成17年1月26日(2005.1.26)　(24)登録日　平成16年11月12日(2004.11.12)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H04L 27/01　H04L 27/00　K

請求項の数 21　(全 28 頁)

(21)出願番号　特願平11-188555
(22)出願日　平成11年7月2日(1999.7.2)
(65)公開番号　特開2000-59455(P2000-59455A)
(43)公開日　平成12年2月25日(2000.2.25)
審査請求日　平成12年10月19日(2000.10.19)
(31)優先権主張番号　09/110081
(32)優先日　平成10年7月2日(1998.7.2)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　596092698
ルーセント　テクノロジーズ　インコーポレーテッド
アメリカ合衆国．０７９７４－０６３６　ニュージャーシィ，マレイ　ヒル，マウンテン　アヴェニュー　６００
(74)代理人　100064447
弁理士　岡部　正夫
(74)代理人　100085176
弁理士　加藤　伸晃
(74)代理人　100106703
弁理士　産形　和央
(74)代理人　100096943
弁理士　臼井　伸一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】二重モードＣＡＰ－ＱＡＭ受信機の無指示始動における自動配置位相回復

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
キャリアレス振幅変調/位相変調（ＣＡＰ）信号または直交振幅位相変調（ＱＡＭ）信号の受信時に使用される改良型装置であって、
ＣＡＰモードおよびＱＡＭモードの二重動作モードを有し、ＣＡＰ動作モードとＱＡＭ動作モードの両方のために１つだけのイコライザを使用する受信機であって、イコライザのタップ係数は、ハイブリッドコスト関数に基づいて更新される受信機からなる改良型装置。
【請求項２】
請求項１記載の装置において、ハイブリッドコスト関数は、自動位相回復を提供する装置。
【請求項３】
請求項１記載の装置において、ハイブリッドコスト関数は、少なくとも２つの成分からなり、一方の成分はＣＡＰ信号に基づくコスト関数を表し、他方の成分はＱＡＭ信号に基づくコスト関数を表す装置。
【請求項４】
請求項３記載の装置において、ハイブリッドコスト関数は、ＣＡＰ信号およびＱＡＭ信号に適用されるものとして、一定係数タイプのアルゴリズム、減少化配置タイプのアルゴリズムまたは多係数タイプのアルゴリズムのいずれかの組み合わせである装置。
【請求項５】

請求項３記載の装置において、ハイブリッドコスト関数の一方の成分は、ハイブリッドコスト関数の他方の成分より頻繁にタップ係数の値を更新するのに使用される装置。
【請求項６】
受信で使用され、受信信号を無指示でイコライズする方法であって、
イコライズされた信号を提供するために、受信信号を無指示でイコライズするイコライザを使用するステップと、
イコライザの関連タップ係数をハイブリッドコスト関数の関数として更新するステップとからなり、ハイブリッドコスト関数は、ｎ個の成分からなり、各成分は、異なるタイプの伝送方式に基づくコスト関数を表し、ｎ＞１である方法。
【請求項７】
請求項６記載の方法において、ハイブリッドコスト関数は、自動位相回復を提供する方法。
【請求項８】
請求項６記載の方法において、ハイブリッドコスト関数は、異なる伝送方式に適用されるものとして、一定係数タイプのアルゴリズム、減少化配置タイプのアルゴリズムまたは多係数タイプのアルゴリズムのいずれかの組み合わせである方法。
【請求項９】
請求項６記載の方法において、一方の伝送方式は、キャリアレス振幅変調／位相変調（ＣＡＰ）であり、他方の伝送方式は、直交振幅変調(ＱＡＭ)である方法。
【請求項１０】
請求項６記載の方法において、ハイブリッドコスト関数の一方の成分は、ハイブリッドコスト関数の他方の成分より頻繁にタップ係数の値を更新するのに使用される方法。
【請求項１１】
請求項６記載の方法において、ハイブリッドコスト関数は、２つの成分からなり、一方の成分は、キャリアレス振幅変調／位相変調（ＣＡＰ）伝送方式に基づくコスト関数を表し、他方の成分は、直交振幅変調(ＱＡＭ）伝送方式に基づくコスト関数を表す方法。
【請求項１２】
請求項１１記載の方法において、ハイブリッドコスト関数は、ＣＡＰ伝送方式およびＱＡＭ伝送方式に適用されるものとして、一定係数タイプのアルゴリズム、減少化配置タイプのアルゴリズムまたは多係数タイプのアルゴリズムのいずれかの組み合わせである方法。
【請求項１３】
請求項１１記載の方法において、ハイブリッドコスト関数のＱＡＭ関連成分は、ハイブリッドコスト関数のＣＡＰ関連成分より頻繁にタップ係数の値を更新するのに使用される方法。
【請求項１４】
請求項１１記載の方法において、ハイブリッドコスト関数のＣＡＰ関連成分は、ハイブリッドコスト関数のＱＡＭ関連成分より頻繁にタップ係数の値を更新するのに使用される方法。
【請求項１５】
請求項６記載の方法において、受信信号は、多数の伝送方式のうちのいずれか１つを表し、さらに、
各タイプの伝送方式に関して、各番号を提供するために平均二乗誤差（平均２乗エラー）タイプの計算を実行するステップと、
各伝送方式に関して各番号を比較することにより、受信信号がどんなタイプの伝送方式を表しているかを決定するステップを含む方法。
【請求項１６】
請求項１５記載の方法において、さらに、予め決められた時間経過後に関連タップ係数を更新するために、決定指示モードを使用するように切り換えるステップを含む方法。
【請求項１７】
請求項１６記載の方法において、決定ステップは、関連タップ係数を更新するために、決

定指示モードを使用するように切り換えるステップを含む方法。
【請求項１８】
請求項６記載の方法において、受信信号は、多数の伝送方式のうちのいずれか１つを表し、さらに、
各タイプの伝送方式に関して、各番号を提供するためにコスト関数タイプの計算を実行するステップと、
各伝送方式に関して各番号を比較することにより、受信信号がどんなタイプの伝送方式を表しているかを決定するステップを含む方法。
【請求項１９】
請求項１８記載の方法において、さらに、予め決められた時間経過後に関連タップ係数を更新するために、決定指示モードを使用するように切り換えるステップを含む方法。
【請求項２０】
請求項１８記載の方法において、決定ステップは、関連タップ係数を更新するために、決定指示モードを使用するように切り換えるステップを含む方法。
【請求項２１】
信号の無指示イコライゼーションのための方法であって、
二重動作モードの受信機で信号を受信し、受信された信号が２つのモードの内の１つで変調されているステップと、
受信信号の変調モードにかかわらずにイコライズされた信号を提供するように、二重動作モードの受信機で、受信信号を無指示でイコライズする単一のイコライザを使用するステップと、
イコライザの関連タップ係数をハイブリッドコスト関数の関数として更新するステップとからなる方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、通信機器に関し、特に受信機における無指示イコライゼーションの使用に関する。
【０００２】
【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】
キャリアレス振幅変調／位相変調（ＣＡＰ）は、帯域幅の効率的な２次元パスバンドラインコードである。（ＣＡＰ通信システムのさらなる情報は、Ｊ．Ｊ．Ｗｅｒｎｅｒ，“Ｔｕｔｏｒｉａｌ ｏｎ Ｃａｒｒｉｅｒｌｅｓｓ ＡＭ／ＰＭ－Ｐａｒｔ Ｉ－Ｆｕｎｄａｍｅｎｔａｌｓ ａｎｄ Ｄｉｇｉｔａｌ ＣＡＰ Ｔｒａｎｓｍｉｔｔｅｒ，”Ｃｏｎｔｒｉｂｕｔｉｏｎ ｔｏ ＡＮＳＩ Ｘ３Ｔ９．５ ＴＰ／ＰＭＤ Ｗｏｒｋｉｎｇ Ｇｒｏｕｐ，Ｍｉｎｎｅａｐｏｌｉｓ，Ｊｕｎｅ ２３，１９９２に見出される。）ＣＡＰは、周知の直交振幅変調（ＱＡＭ）伝送方式に密接に関連している。音声帯域モデムでは、ＱＡＭは、２５年にわたって使用され、ＣＡＰは１５年にわたって使用されている。しかしながら、ＣＡＰは、デジタル的に実行するのがより簡単である。ＱＡＭおよびＣＡＰ伝送方式用の送受信機構造の従来例は、それぞれ図１および図２に示される。
【外１】

図１および図２は共に、２次元符号化を示しており、ここでは、複合符号A_nが送信機に印加され（ここで、$A_n = a_n + j b_n$）、回復される複合符号$\hat{A}_n$が受信機に印加される（ここで、$\hat{A}_n = \hat{a}_n + j \hat{b}_n$）。これらの図において使用されている他の表示法に関して、$g(t)$（たとえば、図１参照）は、ベースバンド形成フィルタ、$e_{In}(t)$および$e_{qn}(t)$は、それぞれ、同相および直交成分のイコライザ、$p(t)$および$\tilde{p}(t)$は、ヒルベルト対を形成するパスバンド形成フィルタのインパルス応答である（たとえば、図２参照。）

【０００３】
ＱＡＭ送受信機とＣＡＰ送受信機の相違を見るために、図１において、従来のＱＡＭ送信機は、ベースバンドパルス形成フィルタと、それに続く変調器からなることに注目されたい。符号間干渉（ｉｎｔｅｒｓｙｍｂｏｌ　ｉｎｔｅｒｆｅｒｅｎｃｅ；ＩＳＩ）と付加的なガウス雑音がない場合として理想化されたＱＡＭ受信機は、まず変調器を使用し、次に整合フィルタを使用してこれらの動作を反対に行う。ＱＡＭ送受信機の等価表現が図３に示され、ここでは、フィルタ動作と変調動作が反対に行われている。フィルタ動作はパスバンドで行なわれるので、これはパスバンド表示として知られている。ＩＳＩを補償するために、整合フィルタは、イコライザで置き換えられている。最後に、図３において変調器と復調器を除去すると、図２のＣＡＰ送受信機をもたらし、これは、ＱＡＭと理論的に同じ性能を達成するが、デジタル的に実行するのがより簡単である。
【０００４】
一般に、ＶＤＳＬ（Ｖｅｒｙ　ｈｉｇｈ　ｒａｔｅ　Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｕｂｓｃｒｉｂｅｒ　ｌｉｎｅ；超高速デジタル加入者線）等の広帯域アクセスアプリケーションの中には、ＣＡＰ受信機とＱＡＭ受信機のどちらも必要とするものがある。この技術において一部は、単純に１台の受信機にＣＡＰ受信機とＱＡＭ受信機の両方を内蔵すること－要するに、ＣＡＰ部（それ自体のイコライザを有する）と別個のＱＡＭ部（それ自体のイコライザを有する）を備えた二重構成受信機を提案していた。事をさらに複雑にすべく、この二重構成受信機は、ＱＡＭ部とＣＡＰ部の両方で無指示イコライゼーション技術の使用を必要とすることがある。この場合には、二重構成受信機にとって、変調形式を確認するのに使用するトレーニング信号はない。それだけでは、二重構成受信機は、まず、ＱＡＭ部のイコライザとＣＡＰ部のイコライザの両方を自主的に１つにまとめ、そして、適切な安定状態動作モードに切り換える前に、変調形式に関する決定を行わなければならない。
【０００５】
他の方法は、上記に引用した“二重モードＣＡＰ－ＱＡＭ受信機の無指示始動”と題する、ワーナー等の米国特許出願に開示されている。この方法では、受信機は、ＣＡＰ動作モードとＱＡＭ動作モードの両方をサポートする１個のイコライザを使用している。
【０００６】
【課題を解決するための手段】
上記に引用した“二重モードＣＡＰ－ＱＡＭ受信機の無指示始動”と題する、ワーナー等の米国特許出願に開示されている受信機構成は、ＱＡＭ信号の正確な復号のための追加の配置位相補償器の使用を要する。しかしながら、この受信機構成は、追加の位相補償器を削除するようにさらに改善することができることがわかった。詳細には、本発明にしたがって、二重モード受信機は、ＣＡＰ信号が送信されたかＱＡＭ信号が送信されたかにかか

わらず、自動配置位相回復を提供するハイブリッドコスト関数を使用する。

【０００７】

本発明の一実施例では、受信機は、無指示始動の間複合コスト関数を使用する適応フィルタを含む。この複合コスト関数は、ある形式の受信信号、たとえばＱＡＭに基づくコスト関数と、他のタイプの受信信号、たとえばＣＡＰに基づくコスト関数の重畳である。

【０００８】

本発明の他の実施例では、受信機は、ある形式の受信信号、たとえばＱＡＭに基づくコスト関数と、他のタイプの受信信号、たとえばＣＡＰに基づくコスト関数を切り換える適応フィルタを含む。

【０００９】

本発明の特徴によれば、（ａ）予想される配置と、（ｂ）どんな形式の信号を受信中かを決定するための受信機のローテイターの前後における値とに関する情報を使用する方法が開示される。

【００１０】

【発明の実施の形態】

本発明の原理を実施した通信システムの一部の例示的な高水準ブロック図は、図４に示される。例示的な目的のためだけに、受信機１０は、ＣＡＰ信号またはＱＡＭ信号のどちらかを受信すると仮定される。ＣＡＰまたはＱＡＭ信号は、通信チャンネル９を介して伝播する間に歪みを受け、符号間干渉（ＩＳＩ）を経験していると仮定される。受信機１０の目的は、このＩＳＩを除去し、さらなる雑音ξ（ｔ）の影響を最小にして、信号ｒ′（ｔ）を提供することにある。本発明の概念は、たとえば、（ａ）二重動作モード（ＣＡＰモードおよびＱＡＭモード）を有し、（ｂ）ＣＡＰ動作モードおよびＱＡＭ動作モードの両方のために１個のイコライザのみを使用する受信機に関して説明される。

【００１１】

しかしながら、本発明概念を説明する前に、適応フィルタの背景情報が提供される。また、ここで使用されているように、適応フィルタは、たとえば分数間隔リニアイコライザ（ｆｒａｃｔｉｏｎａｌ　ｓｐａｃｅｄ　ｌｉｎｅａｒ　ｅｑｕａｌｉｚｅｒ）であるが、以後単に、ＦＳＬＥ、または単にイコライザと呼ばれる。さらに、用語“単一イコライザ構成”は、受信信号をイコライズする適応フィルタを含む。技術上知られているように、このイコライザ構成、つまり適応フィルタは、それ自体、受信信号の異なる成分または組み合わせ用の他のフィルタを含むことができる。たとえば、“単一イコライザ構成”は、図５に示され、４個のフィルタからなる従来の複合イコライザ（交差接続イコライザとしても知られている）、または、図６に示され、２個のフィルタからなる位相分割イコライザなどである。

【００１２】

適応フィルタおよび決定指示イコライゼーション

ＣＡＰ信号の受信用の例示的な位相分割ＦＳＬＥイコライザ１００は、図６に示される。ＦＳＬＥイコライザ１００は、Ｎ次元を有するものとして特徴付けられた入力信号に基づいて動作すると仮定される。この例では、Ｎ＝２、すなわち、入力信号は、２つの成分次元、すなわち同相成分および直交成分からなる。ＦＳＬＥイコライザ１００は、有限インパルス応答（ＦＩＲ）フィルタ１１０および１２０として実行される２個のパラレルデジタル適応フィルタからなる。このイコライザ構成のある程度の細部は、たとえば図７に示される。２個のフィルタ１１０および１２０は、連続するアナログ／デジタルコンバータ（Ａ／Ｄ）１２５サンプル列r_kを蓄積する同じタップ付き遅延線１１５を共有する。Ａ／Ｄ１２５のサンプリングレートｌ／Ｔ′は、典型的に符号レートｌ／Ｔより３倍乃至４倍高く、実信号のサンプリング法則を満足するように選択される。Ｔ／Ｔ′＝ｉ、ここでｉは整数と仮定される。

【００１３】

図７に示されるような２個の適応ＦＩＲフィルタ１１０および１２０の出力は、符号レートｌ／Ｔで計算される。イコライザタップと入力サンプルは、対応するＮ次元ベクトルで

表すことができる。かくして、次に以下の関係が定義される。すなわち、

$r_n^T = [r_k, r_{k-1}, \ldots, r_{k-N},]$ ＝遅延線におけるA／Dサンプルのベクトル (1)

$c_n^T = [c_0, c_1, c_2, \ldots, c_N,]$ ＝同相タップ係数のベクトル (2)

$d_n^T = [d_0, d_1, d_2, \ldots, d_N,]$ ＝直交タップ係数のベクトル (3)

【００１４】

ここで、肩符号Ｔはベクトル反転を表し、肩符号ｎは符号期間ｎＴを示し、ｋ＝（ｉ）（ｎ）である。

【外２】

ＣＡＰベースの位相分割イコライザについて、y'_nと$\tilde{y}'_n$は、それぞれ、同相および直交フィルタの計算された出力である。

$y'_n = c_n^T r_n$ （４）

$\tilde{y}'_n = d_n^T r_n$ （５）

出力y'_nおよびy'_n、つまり等価的に、複合出力$Y'_n = y'_n + j\tilde{y}'_n$のＸ／Ｙ遅延は、信号配置と呼ばれる。

収束後、理想的には、信号配置は、あるわずかな雑音とＩＳＩで改悪された複合符号$A_n = a_n + jb_n$の遅延からなる。

【００１５】

図６に戻ると、ＣＡＰ信号の受信用のＦＳＬＥイコライザ１００は、２つの動作モード、すなわち決定指示モード（安定状態）と始動モード（非安定状態）を有するものとして特徴付けることができる。

【外３】

決定指示動作モードでは、決定装置、すなわちスライサ１３０および１３５は、イコライザ複合出力サンプルY'_nを可能性のある全ての送信複合符号A_nと比較し、Y'_nに最も近い符号$\tilde{A}_n$を選択する。

次いで、受信機はエラーE_nを計算する。ここで、

【数１】

$$E'_n = e'_n + j\tilde{e}'_n = Y'_n - \hat{A}_n, \quad (6)$$

これは、イコライザ１００のタップ係数を更新するのに使用される。最も一般的なタップ

更新アルゴリズムはＬＭＳアルゴリズムである。これは、平均２乗エラー（ｍｅａｎ　ｓｑｕａｒｅ　ｅｒｒｏｒ；ＭＳＥ）を最小にする確率勾配アルゴリズムであり、次のように定義される。

【００１６】

【数２】

$$MSE(Y_n') \triangleq E[|E_n'|^2] = E[|Y_n' - \hat{A}_n|^2] = E[e_n'^2] + E[\tilde{e}_n'^2]. \qquad (7)$$

式（７）において、Ｅ［・］は期待値、ｅ′ｎおよびｅ′ｎは以下の同相および直交エラーである。

【数３】

$$e_n' = y_n' - \hat{a}_n, \text{ and} \qquad (8)$$

$$\tilde{e}_n' = \tilde{y}_n' - \hat{b}_n. \qquad (9)$$

【００１７】

ＣＡＰラインコードのために、位相分割イコライザの２個の適応フィルタのタップ係数は、上述の最小平均２乗（ＬＭＳ）アルゴリズムを使用して更新される。すなわち、

【数４】

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha\, e_n'\, \mathbf{r}_n, \text{ and} \qquad (10)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha\, \tilde{e}_n'\, \mathbf{r}_n, \qquad (11)$$

ここで、αは、タップ調整アルゴリズムで使用されるステップサイズである。

【００１８】

ＣＡＰ信号用の決定指示イコライザのより高水準の表現は、図８に示される。図８に同様に示されるように、ＱＡＭ信号用の決定指示イコライザは、適応フィルタとスライサ間に複合ローテイター（６５）を含む。

【外４】

エラー$E_n = Y_n - \tilde{A}_n$は、フィルタ係数の更新に使用される前にローテイター（６０）で帯域通過させるために戻して変調される。ＱＡＭ信号のために、位相分割イコライザのフィルタは、ＬＭＳアルゴリズムを使用して次の通り更新される。すなわち、

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha \,\mathrm{Re}[(Y_n - \hat{A}_n)e^{j\omega_c nT}]\mathbf{r}_n^T = \mathbf{c}_n - \alpha \,\mathrm{Re}(Y_n' - \hat{A}_n')\mathbf{r}_n^T \quad (12)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha \,\mathrm{Im}[(Y_n - \hat{A}_n)e^{j\omega_c nT}]\mathbf{r}_n^T = \mathbf{d}_n - \alpha \,\mathrm{Im}(Y_n' - \hat{A}_n')\mathbf{r}_n^T, \quad (13)$$

ここで、$Y'_n = Y_n e^{j\omega_c nT}$、$\hat{A}'_n = \hat{A}_n e^{j\omega_c nT}$、およびＲｅ（　）およびＩｍ（　）は、それぞれ、実数部および虚数部を表す。

【００１９】

無指示イコライゼーションおよび配置位相回復

安定状態動作モードと対照的に、始動モードは、タップ係数値を初期値群に収束させるために使用される。いくつかのシステムでは、始動中、トレーニング列（すなわち、予め定められた符号列A_n）が使用される。これから、受信機は、イコライザ出力Y_nと知られている送信符号列A_nを使用することによってかなりのエラーE_nを計算することができる。この場合には、タップ適応は、“理想基準”に対して行なわれたと言われる。

【００２０】

しかしながら、トレーニング列が利用できない場合は、イコライザ１００は、無指示で収束される必要がある。まず、“アイ線図”を開くために、無指示イコライゼーションアルゴリズムが使用される。次いで、アイが十分開かれると、受信機は、たとえば、上術のＬＭＳタップ適応アルゴリズムに切り換わる。無指示イコライゼーションの原理は、イコライザ１００の初期収束を提供するのに式（７）で表されるＭＳＥより良く適している、コスト関数を最小にするタップ適応アルゴリズムを使用することである。

【００２１】

技術上知られている多くの無指示イコライゼーション技術があるが、ここでは、３つの一般的な方法のみが説明される。その１つは、ここでは“減少化配置アルゴリズム”（ｒｅｄｕｃｅｄ ｃｏｎｓｔｅｌｌａｔｉｏｎ ａｌｇｏｒｉｔｈｍ；ＲＣＡ）と呼ばれている（たとえば、Ｙ．Ｓａｔｏ，“Ａ Ｍｅｔｈｏｄ ｏｆ Ｓｅｌｆ－Ｒｅｃｏｖｅｒｉｎｇ Ｅｑｕａｌｉｚａｔｉｏｎ ｆｏｒ Ｍｕｌｔｉｌｅｖｅｌ Ａｍｐｌｉｔｕｄｅ－Ｍｏｄｕｌａｔｉｏｎ Ｓｙｓｔｅｍｓ，”ＩＥＥＥ Ｔｒａｎｓ．Ｃｏｍｍｕｎ．，ｐｐ．６７９－６８２，Ｊｕｎｅ １９７５と、１９８０年１０月７日発行のゴダード（Ｇｏｄａｒｄ）の米国特許第４，２２７，１５２号を参照されたい）。他の技術は、いわゆる“一定係数アルゴリズム”（ｃｏｎｓｔａｎｔ ｍｏｄｕｌｕｓ ａｌｇｏｒｉｔｈｍ；ＣＭＡ）である（たとえば、Ｄ．Ｎ．Ｇｏｄａｒｄ，“Ｓｅｌｆ－Ｒｅｃｏｖｅｒｉｎｇ Ｅｑｕａｌｉｚａｔｉｏｎ ａｎｄ Ｃａｒｒｉｅｒ Ｔｒａｃｋｉｎｇ ｉｎ Ｔｗｏ－Ｄｉｍｅｎｓｉｏｎａｌ Ｄａｔａ Ｃｏｍｍｕｎｉｃａｔｉｏｎｓ Ｓｙｓ

tems,”IEEE Trans. Commun., vol. 28, no. 11, pp. 1867－1875, Nov. 1980と、N. K. Jablon,“Joint Blind Equalization, Carrier Recovery, and Timing Recovery for High－Order QAM Signal Constellations”, IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 40, no. 6, pp. 1383－1398, 1992を参照されたい）。そして、最後の技術は、“多係数アルゴリズム”（multimodulus algorithm；MMA）と呼ばれている（たとえば、Yang, J. and Werner, J. J., The Multimodulus Blind Equalization Algorithms, Proceedings of DSP97, Santorini, Greece, 1997を参照されたい）。

【００２２】

図９は、ＣＭＡ、ＭＭＡおよびＲＣＡが得られるコスト関数のグラフ表現を示す。図９ａに示されるように、ＣＭＡは、２乗信号配置を円に合わせようとする。対応するコスト関数は次の通りである。

【数５】

$$\mathrm{CF}_{\mathrm{CMA}}(Y_n) = E\{(|Y_n|^L - R^L)^2\}, \qquad (14)$$

【００２３】

ここで、Ｌは、ほとんど２が選ばれる。Ｌ＝２に対して、このコスト関数は、$|Y_n e^{j\Phi}|^2 = |Y_n|^2$なので、位相回転に対して変化しない。したがって、出力Y_nをスライサに送る前に、２乗イコライザ出力配置をＸおよびＹ軸に正確に整列させるために、さらに配置位相補償器が必要である。

【００２４】

一方、ＭＭＡおよびＲＣＡは、配置位相回転に対して不変ではない。これらのコスト関数をそれぞれ最小にすることが、２乗イコライザ出力配置とＸおよびＹ軸との正確な整列（９０°を法として）に導くだろう。したがって、追加の位相補償器は必要ない。図９ｂに示されるように、ＭＭＡは、以下のコスト関数を用いて２乗信号配置を正方形輪郭に合わせようとする。

【数６】

$$\mathrm{CF}_{\mathrm{MMA}}(Y_n) = E\{(|y_n|^L - R^L)^2 + (|\tilde{y}_n|^L - R^L)^2\}, \qquad (15)$$

【００２５】

ここで、Ｌは、ほとんど２が選ばれる。同様に、図９ｃに示されるように、ＲＣＡは、以下のコスト関数を用いて、配置を、２乗の頂点における４点の換算セットに合わせようとする。

【数７】

$$\mathrm{CF}_{\mathrm{RCA}}(Y_n) = E\{|Y_n - R\mathrm{csgn}(Y_n)|^2\}, \qquad (16)$$

式（１６）は$\mathrm{csgn}(Y_n) = \mathrm{sgn}(y_n) + j\,\mathrm{sgn}(y_n)$を伴い、ここで、ｓｇｎ（　）はシグナム（ｓｉｇｎｕｍ）関数である.

【００２６】

他の背景として、ＭＭＡおよびＲＣＡ用のＬＭＳ更新式は、以下に与えられる。一例として、従来構成を使用してＣＡＰおよびＱＡＭ信号のために実行される位相分割ＦＳＬＥに

関する更新式は、図１０に示される。ＭＭＡ（Ｌ＝２）について、CF_{MMA}（Ｙ′$_n$）を最小にしようとするＣＡＰ信号に関するフィルタ係数更新式は、以下の通りである。

【数８】

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha(y_n'^2 - R^2)y_n'\mathbf{r}_n^T \quad (17)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha(\tilde{y}_n'^2 - R^2)\tilde{y}_n'\mathbf{r}_n^T. \quad (18)$$

【００２７】

CF_{MMA}（Y_n）を最小にしようとするＱＡＭ信号に関する類似式は、以下の通りである。

【数９】

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha[(y_n^2 - R^2)y_n\cos(\omega_c nT) - (\tilde{y}_n^2 - R^2)\tilde{y}_n\sin(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T \quad (19)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha[(y_n^2 - R^2)y_n\sin(\omega_c nT) + (\tilde{y}_n^2 - R^2)\tilde{y}_n\cos(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T. \quad (20)$$

【００２８】

ＲＣＡについて、CF_{RCA}（Ｙ′$_n$）を最小にしようとするＣＡＰ信号に関するフィルタ係数更新式は、以下の通りである。

【数１０】

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha[y_n' - R\,\mathrm{sgn}(y_n')]\mathbf{r}_n^T \quad (21)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha[\tilde{y}_n' - R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n')]\mathbf{r}_n^T. \quad (22)$$

【００２９】

CF_{RCA}（Y_n）を最小にしようとするＱＡＭ信号に関する類似式は、以下の通りである。

【数１１】

$$\mathbf{c}_{n+1} = \mathbf{c}_n - \alpha[(y_n - R\,\mathrm{sgn}(y_n))\cos(\omega_c nT) - (\tilde{y}_n - R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n))\sin(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T \quad (23)$$

$$\mathbf{d}_{n+1} = \mathbf{d}_n - \alpha[(y_n - R\,\mathrm{sgn}(y_n))\sin(\omega_c nT) + (\tilde{y}_n - R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n))\cos(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T. \quad (24)$$

【００３０】

ＱＡＭ信号の不整合ＣＡＰベースの受信

上述した“二重モードＣＡＰ－ＱＡＭ受信機の無指示始動”と題する、ワーナー等の米国特許出願では、単一イコライザベースのＣＡＰ受信機を、ＱＡＭ信号を復号するのに使用することができることが説明されている。このシナリオは、図１１に示される。ＣＡＰ受信機にローテイターなしで、ＱＡＭ符号が２乗配置から選択された場合は、イコライザの出力は、収束により、f_cＴの２つの異なる値のために図１１に示されるように同心円に属するだろう。したがって、ＣＭＡ、ＭＭＡまたはＲＣＡ等の無指示アルゴリズムは、イコライザタップを収束させるために使用される場合は、（図９に示されるような正方形のものに対抗するものとして）図１２に示されるような円形符号配置により動作しているだろう。たとえ、ＭＭＡおよびＲＣＡが、この場合にアイを連続的に開けることができても、両アルゴリズムは、配置位相回復特性を失う。一例として、図１３に示される、上述したワーナー等の特許出願で提案された装置を用いたＱＡＭ信号の受信を考慮されたい。イコライザが、イコライザ出力にＭＭＡを適用することにより収束される場合は、アイは、連続的に開かれる。しかしながら、正方形を円に合わせる作業は、ＱＡＭ符号配置がローテイター（７０）後正しく方向付けられる見込みをなくさせる。

【００３１】

二重モードＣＡＰ－ＱＡＭ受信機

発明者は、ＣＡＰおよびＱＡＭの両信号のために“アイ”を開けることができ、ローテイターの前または後で正しい配置方向を発生するという追加の特性を有する単一イコライザベースの受信機を設計した。詳細には、本発明によれば、二重モード受信機は、自動位相回復を提供するハイブリッドコスト関数を使用する。また、このハイブリッドコスト関数は、ここでは“二重モードコスト関数”とも呼ばれる。本発明概念にしたがって、二重モードコスト関数を形成するための基本的な方法は、受信機のローテイターの両側で単一モードＣＡＰおよびＱＡＭコスト関数を結合することである。ハイブリッドコスト関数は、ＭＭＡおよびＲＣＡ等の無指示アルゴリズムの配置位相回復特性の利点を持ち、正方形符号配置（以下に説明される）と共に使用される。さらに、この受信機は、どの変調方法が使用されているかを自動的に検出し、適切な決定指示構成（以下に説明される）に切り換える。

【００３２】

本発明概念にしたがって、図４の受信機１０のような、ＣＡＰおよびＱＡＭ二重モード受信機の一部１５０（同様に、ここではＣＡＰ－ＱＡＭ受信機と呼ばれる）は、図１４に示される。本発明概念以外の図１４に示される構成要素は、周知であり、詳細には説明しない。受信機１５０は、イコライザ１５５、ローテイター１６５および二重モードアルゴリズム構成要素１６０からなる。後者は、イコライザ１５５のタップ係数値（図示しない）をローテイター１６５の両側における信号の関数（さらに以下に説明される）として更新する。二重線は、複合信号を表す。

【００３３】

ここで使用されているように、CF^{CAP}は、ＣＡＰ信号に整合されかつローテイターの前でイコライザ出力Y'_nを処理する無指示コスト関数を表す。たとえば、ＣＡＰベースのＲＣＡコスト関数は、次の通りである。

【数１２】

$$CF_{RCA}^{CAP} = CF_{RCA}(Y'_n) = E\{|Y'_n - R\,\mathrm{csgn}(Y'_n)|^2\}. \qquad (25)$$

同様に、CF^{QAM}は、ＱＡＭ信号に整合されかつローテイター出力Y_nを処理する無指示コスト関数を表す。たとえば、ＱＡＭベースのＭＭＡコスト関数は、次の通りである。

【外５】

$$CF_{MMA}^{QAM} = CF_{MMA}(Y_n) = E\{(|y_n|^L - R^L)^2 + (|\tilde{y}_n|^L - R^L)^2\} \quad (26)$$

図１５は、本発明にしたがってＭＭＡの場合に関してＣＦ^{CAP}およびＣＦ^{QAM}を同時に最小にする効果を表す。ＣＡＰ信号が送られると、“アイ”は、CF_{MMA}^{CAP}およびCF_{MMA}^{QAM}の両方を最小にすることにより開かれる。CF_{MMA}^{CAP}の最小化は、２乗配置を正方形輪郭に合わせ、ローテイターの前でＣＡＰ配置（Y'_n）をＸおよびＹ軸と正確に整列させることになる。一方、CF_{MMA}^{QAM}の最小化は、点からなる同心円を正方形輪郭に合わせ、コスト関数を配置位相方向とほぼ無関係にさせることになる。

また、図１５は、ＱＡＭ信号のために反対のことが起こり、“アイ”を開いて、（Y_nの）ローテイターの後で配置方向を補正することになる。イコライザが収束したならば、（以下に説明されるように）変調形式を判定することができ、受信機は、決定指示モードに切り換わる。ＣＦ^{CAP}およびＣＦ^{QAM}を最小にする２つの例示的な方法、すなわち重畳方法および交番方法がここで説明される。（２つの例示的な方法が説明されるが、本発明概念は、これに限らないことに注意すべきである。）

【００３４】

重畳方法

重畳方法は、単一モードＣＡＰベースのコスト関数と単一モードＱＡＭベースのコスト関数の和を最小にすることからなる。これに関して、二重モードハイブリッドコスト関数は次の通り表される。

【数１３】

$$CF^{DM} = CF^{CAP} + CF^{QAM} \quad (27)$$

ハイブリッドコスト関数の成分は、たとえば１つのあり得るハイブリッドコスト関数が式（２８）になるように、混合、整合させることができる。

【数１４】

$$CF^{DM} = CF_{MMA}^{CAP} + CF_{RCA}^{QAM} \quad (28)$$

ＣＦ^{DM}を最小にするために、確率勾配タイプアルゴリズムを使用することができる。

【００３５】

【外６】

たとえば、ＣＦ^{DM}＝ $CF_{MMA}^{CAP}+CF_{MMA}^{QAM}$ のハイブリッドコスト関数について、位相分割ＦＳＬＥタップは、式（２９）および（３０）を使用して更新される。

$$\mathbf{c}_{n+1}=\mathbf{c}_n-\alpha[(y_n'^2-R^2)y_n'+(y_n^2-R^2)y_n\cos(\omega_c nT) -(\tilde{y}_n^2-R^2)\tilde{y}_n\sin(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T \quad (29)$$

$$\mathbf{d}_{n+1}=\mathbf{d}_n-\alpha[(\tilde{y}_n'^2-R^2)\tilde{y}_n'+(y_n^2-R^2)y_n\sin(\omega_c nT) +(\tilde{y}_n^2-R^2)\tilde{y}_n\cos(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T \quad (30)$$

【００３６】
これらの更新式は、本質的に、式（１７）および式（１８）と式（１９）および（２０）の重畳である。本発明概念にしたがって、図４の受信機のような、ＣＡＰおよびＱＡＭ用の二重モード受信機の一部２００（同様に、ここではＣＡＰ－ＱＡＭ受信機と呼ばれる）は、図１６に示される。このブロック図は、ＭＭＡアルゴリズムを使用することおよび正方形配置の使用を仮定することに関する重畳方法の実施例を示している。本発明概念以外に、図１６に示されている構成要素は周知であり、詳細に説明しない。ＣＡＰ－ＱＡＭ受信機の一部２００は、イコライザ２０５と、ローテイター２１０と、フィルタ更新素子２１５および２２０と、加算器２２５とからなる。この説明のために、イコライザ２０５は単一位相分割ＦＳＬＥであると仮定されるが、本発明概念はこれに限らない。
【００３７】
上記に注意したように、他のハイブリッドコスト関数を形成することができる。たとえば、次式（３１）および（３２）を使用して更新されるイコライザを用いて、
【数１５】

$$CF^{DM}=CF_{RCA}^{CAP}+CF_{RCA}^{QAM}$$

$$\mathbf{c}_{n+1}=\mathbf{c}_n-\alpha[(y_n'-R\,\mathrm{sgn}(y_n'))+(y_n-R\,\mathrm{sgn}(y_n))\cos(\omega_c nT) -(\tilde{y}_n-R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n))\sin(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T \quad (31)$$

$$\mathbf{d}_{n+1}=\mathbf{d}_n-\alpha[(\tilde{y}_n'-R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n'))+(y_n-R\,\mathrm{sgn}(y_n))\sin(\omega_c nT) +(\tilde{y}_n-R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n))\cos(\omega_c nT)]\mathbf{r}_n^T, \quad (32)$$

式（３１）および（３２）は、式（２１）および（２２）を（２３）および（２４）と結合することにより形成される。これらの式におけるＲの適切な選択は以下に説明される。
【００３８】
この重畳方法に関する係数更新式のエラー成分は、独立したＣＡＰおよびＱＡＭイコライザのほとんど２倍の多さの加算および乗算を必要とすることに注意すべきである。プロセッサが、符号レートでこれらの追加の作業を実行することができない場合は、２つの可能な解決法が存在する。イコライザのタップ係数を、符号レートより短いレートで更新することができるか、または、以下の交番方法を使用することができるかのいずれかである。

（不幸にして、両解決法は、よりイコライザ収束レートが遅くなるという犠牲を払うことになる。）

【００３９】

交番方法

交番方法は、ＣＦ^{ＣＡＰ}を最小にすることとＣＦ^{ＱＡＭ}を最小にすることを行ったり来たりすることにより形成される。我々は、この二重モードコスト関数を式（３３）のように表すことができる。

【数１６】

$$CF^{DM}(I) = CF^{CAP} \quad \leftrightarrow \quad CF^{DM}(II) = CF^{QAM}, \tag{33}$$

【００４０】

ここで、ＩおよびＩＩは、少なくとも符号期間Ｔの間、持続期間の時間間隔の交番を表す。上記に説明した重畳方法と同様に、単一モードＣＡＰベースの無指示コスト関数と単一モードＱＡＭベースの無指示コスト関数を混合、整合させるうことができる。

【００４１】

【外７】

確率勾配アルゴリズムを使用して、$CF^{DM}(I) = CF^{CAP}_{RCA}$ および $CF^{DM}(II) = CF^{QAM}_{RCA}$ ならば、位相分割ＦＳＬＥタップは、式（２１）および（２２）、続いて式（２３）および（２４）を交番的に使用して更新される。同様に、$CF^{DM}(I) = CF^{CAP}_{MMA}$ および $CF^{DM}(II) = CF^{QAM}_{MMA}$ ならば、イコライザタップは、式（１７）および（１８）、続いて式（１９）および（２０）を交番的に使用して更新される。

【００４２】

交番方法の一例は、ＭＭＡについて図１７に示される。この例の方法では、単一モードコスト関数は、符号ごとを基本として交番される。たとえば、図１７のステップ９０５で、最初の符号が受信される。ステップ９１０で、単一モードＣＡＰ更新式（１７）および（１８）が実行される。ステップ９１５で次の符号に関して、単一モードＱＡＭ更新式（１９）および（２０）は、ステップ９２０で実行される。次の符号に関して、処理は図１７に示されるように繰り返される。この交番方法は、図１８に示されるように受信機の一部２００に関して説明される。

【００４３】

この交番方法は、重畳方法のレートの半分で収束することに注意すべきである。類似した重畳方法および交番方法は、対応する更新式を使用して、図５の交差接続イコライザに関して考案される。交番方法の他の変形が、さらに可能である。たとえば、イコライザは、単一モードＱＡＭ更新式（１９）および（２０）の各実行のｋ倍だけ単一モードＣＡＰ更新式（１７）および（１８）を実行することができる。これは、特に、ＱＡＭ送信機のｋ倍多いＣＡＰ送信機があるマルチポイント　ツー　マルチポイントネットワークに適用可能であろう。同様に、すなわち、ＣＡＰ更新式の各実行のｋ倍だけ単一モードＱＡＭ更新

式を実行して、逆のことが可能である。

【００４４】

定数Ｒの計算

上述のように、本発明の原理にしたがって、定数Ｒの値（たとえば、式（２９）および（３０）を参照されたい）は、ハイブリッドコスト関数を形成するために使用される無指示イコライゼーションアルゴリズムのタイプの関数である。下文に、Ｒの例示的な値が、二重モードＭＭＡおよびＲＣＡ無指示イコライゼーションアルゴリズムに関して与えられる。Ｒのこれらの値は、重畳方法および交番方法の両方に使用することができる。

【００４５】

二重モードＭＭＡに関するＲ

上記に説明したように、本発明概念にしたがって、ＱＡＭベースＭＭＡコスト関数とＣＡＰベースのＭＭＡコスト関数の両方を使用した二重モード受信機のハイブリッドコスト関数は、重畳方法のタップ更新式（２９）および（３０）となた。これらの式について、最安定状態ＲＬは式（３４）に等しいことが示される。

【数１７】

$$\hat{A}'_n = \hat{a}'_n + \hat{b}'_n, \text{ and}$$

$$\hat{A}'_n = \hat{A}e^{j\omega_c nT}$$

ここで、我々は次のように定義している。

【数１８】

$$\hat{A}'_n = \hat{a}'_n + \hat{b}'_n, \text{ and}$$

$$\hat{A}'_n = \hat{A}e^{j\omega_c nT}$$

【００４６】

式（３４）は、チャンネルは、Ｙ′$_n$＝Ａ′$_n$を発生するイコライザで完全に反転され、符号列｛a_n｝および｛b_n｝は、自由に同等に分散され、相互に独立していると仮定している。

【００４７】

Ｌ＝２に対して、次のように示される。

【数１９】

$$R_n^2 = \frac{7E\{a_n^4\} + 3E^2\{a_n^2\}}{8E\{a_n^2\}} + \frac{E\{a_n^4\} - 3E^2\{a_n^2\}}{8E\{a_n^2\}}\cos(4\omega_c nT), \qquad (35)$$

【００４８】

式（３５）は、時間にわたる$R^2{}_n$の平均を使用することによってさらに簡単化することができることが示される。これは、式（３６）を発生する。

【外８】

$$\overline{R^2} = \frac{7E\{a_n^4\} + 3E^2\{a_n^2\}}{8E\{a_n^2\}} \quad (36)$$

コンピュータシミュレーションは、この定数$\overline{R}^2$がR^2_nと同じ収束レートと“アイ”開口能力を生じることが示された。正方形の配置に関して、式（３６）はさらに式（３７）に簡単化することができる。

$$\overline{R^2} = \frac{1}{20}(52m^2 - 27), \quad (37)$$

ここで、mは符号レベルの番号である。

【００４９】

【外９】

mの関数として$\overline{R}^2$の例示的な平均値は、以下の表１に示される。

【表１】

m	*Constellation Size*	$\overline{R^2}$
1	4 points	1.25
2	16 points	9.05
4	64 points	40.25
8	256 points	165.05
16	10244 points	664.25

表1

【００５０】

二重モードＲＣＡに関するＲ

重畳方法のためのタップ更新式（３１）および（３２）を使用した二重モードＲＣＡに関して、式（３８）が示される。

【数２０】

$$R_n = \frac{E\{a_n'^2 + a_n^2\}}{E\{|a_n'| + |a_n|\}} = \frac{2E\{a_n^2\}}{E\{|a_n\cos(\omega_c nT) - b_n\sin(\omega_c nt)| + |a_n|\}}. \quad (38)$$

このＲｎは、ＣＡＰおよびＱＡＭ信号の両方に最適なものである。絶対値の非直線性に起因して、分母は、ａｎのモーメントに関して直接表現することができない。正方形配置に関して、式（３９）のように示すことができる。

【数２１】

$$R_n = \frac{\frac{2}{3}(4m^2 - 1)}{m + \frac{1}{4m^2}\sum_{k=1-m}^{m}\sum_{l=1-m}^{m}|(2k-1)\cos(\omega_c nT) + (2l-1)\sin(\omega_c nT)|}. \quad (39)$$

【００５１】

R_nがm＝２およびm＝８（それぞれ、１６点配置および２５６点配置に対応する）としてプロットされた場合は、R_nは時間と共に振動するのが観測されるだろう。

【外１０】

このように、nにわたるR_nの平均化の特別な簡単化が使用され、これはここでは$\bar{R}$として表される。m関数として$\bar{R}$の例示的な平均値は、以下の表２に示される。

【表２】

m	Constellation Size	$\bar{R}$
1	4 points	1.055
2	16 points	2.560
4	64 points	5.334
8	256 points	10.772
16	10244 points	21.596

表2

【外１１】

シミュレーションは、この関数$\bar{R}$がR_nと同じ収束特性を発生することを示した。

【００５２】

変調形式の決定

説明したように、いくつかの二重モード無指示イコライゼーションアルゴリズムが開示された。図４の受信機１０で使用される本発明の原理による無指示始動手順は、図１９に示される。ステップ５８０で、受信機１０はＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションを使用し、その対応するタップは、イコライザの無指示収束を始めるためにアルゴリズムを更新する。ステップ５８５で、イコライザを収束させるために、ＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションから決定指示モードへ切り換えるかまたはＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションを使用し続けるかの判定が行なわれる。典型的に、これは、技術上、アイが（上述のように）十分に開かれているかどうかの判定と呼ばれる。無指示始動手順のステップ５８５は、スケジュール駆動、イベント駆動またはその両方とすることができ、さらに以下に説明される。スケジュール駆動方法では、アルゴリズムを更新する２つの異なるタップ間の切り換えは、ある決まった回数Ｋの繰り返し（たとえば、カウンタで決定することができる）後に起こる。この方法は、Ｋ回の繰り返し後、一定量のアイ開口を推定する。イベント駆動方法では、切り換えは、一定量のアイ開口が達成された時に起こる。これは、たとえば、ＭＳＥを連続的に監視し、ＭＳＥがあるスレショールドＳ以下になった時に切り換えを行うより、行なわれる。アイが十分に開かれた場合、受信機１０は、ステップ５９０で、決定指示モードに切り換える。（本発明概念の焦点は無指示始動中の単一イコライザの使用であることに注意すべきである。このように、決定指示モードへの遷移が起こると、技術上知られているように、さらなる

更新が生じる。たとえば、ＱＡＭ動作モードにおいて、追加のローテイターが、ＬＭＳを使用してイコライザを更新する場合に使用される必要がある。決定指示構成の一例が図８に示され、ここで、CF_{DD}は、決定指示コスト関数である。）

【００５３】

ステップ５８５で決定指示モードに切り換えるために、本発明にしたがって、受信信号がＣＡＰ信号かＱＡＭ信号かを判定しなければならない。例示の目的のために、ＭＳＥベースの方法、ＭＭＡベースの方法およびＲＣＡベースの方法が、さらに以下に説明される。ＭＭＡベースの方法およびＲＣＡベースの方法は、（ａ）予想される配置と（ｂ）ローテイターの前または後の値とに関する情報を使用することに注意すべきである。

【外１２】

これらの段落に示される式は、結合されるコスト関数のどんな組み合わせにも使用することができる。たとえば、それらは、重畳方法コスト関数 $CF_{RCA}^{CAP}+CF_{RCA}^{QAM}$ を使用するだけに限らず、 $CF_{MMA}^{CAP}+CF_{MMA}^{QAM}$ や $CF_{MMA}^{CAP}+CF_{RCA}^{QAM}$ 等のために使用することができる。

これらの技術は、同様に、交番技術およびその関連コスト関数のために使用することができる。

【００５４】

ＭＳＥベースの方法

受信しているのはＣＡＰ信号かＱＡＭ信号かを決定する方法の１つは、Y'_nに基づくＭＳＥの推定値をY_nに基づくＭＳＥの推定値と比較することである。ＣＡＰラインコードが送信された場合は、安定状態において、イコライザは、ＱＡＭラインコードのために反対にされた不等式を用いて式（４０）を発生する。

【外１３】

$$MSE_{CAP}=E\left\{\left(Y'_n-\hat{A}'_n\right)^2\right\}<MSE_{QAM}=E\left\{\left(Y_n-\hat{A}_n\right)^2\right\}. \qquad (40)$$

ここで、未知量$\hat{A}'_n$および$\hat{A}_n$は、Y'_nおよびY_nのスライスされた変形に相当する。ＭＳＥは正確にはわからないだろうから、ランニングサンプル平均は、

$$\overline{MSE}_{CAP}=\frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(y'_n-\hat{a}'_n\right)^2+\left(\tilde{y}'_n-\tilde{b}'_n\right)^2, \text{ and} \qquad (41)$$

$$\overline{MSE}_{QAM}=\frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(y_n-\hat{a}_n\right)^2+\left(\tilde{y}_n-\hat{b}_n\right)^2. \qquad (42)$$

を使用して、MSE_{CAP}およびMSE_{QAM}を推定することができる。上述したように、無指示始動から決定指示モードへの遷移を行うべき場合を決定するために、２つの方法を使用することができる。すなわち、

１）イベント駆動方法：MSE_{CAP}またはMSE_{QAM}が、それぞれ、実験的に決定されたスレショールド以下に初めて落ちた場合に、ＣＡＰ信号が送信されたかまたはＱＡＭ信号が送信されたかを決定する。

【外１４】

２）スケジュール駆動方法：時間$n_f = n_i + \Delta$において、$\overline{MSE}_{CAP}$または$\overline{MSE}_{QAM}$がより小さくなっているか否かに依存して、ＣＡＰ信号またはＱＡＭ信号が受信されたことを決定する。

決定時間n_fは、無指示二重モードアルゴリズムが安定状態動作を達成するように、実験的に選ばれる。

【００５５】

これらの２つの方法は、決定ルール形式で次の通り表すことができる。

【数２２】

$$\delta_{MSE}^{THRESHOID} = \begin{cases} QAM\ \text{sent} & \text{if } \overline{MSE}_{\text{QAM}} < \tau \text{ first,} \\ CAP\ \text{sent} & \text{if } \overline{MSE}_{\text{CAP}} \end{cases} \quad (43)$$

$$\delta_{MSE}^{TIME} = \begin{cases} QAM\ \text{sent} & \text{if } \overline{MSE}_{\text{CAP}} \geq \overline{MSE}_{\text{QAM}} \text{ at } n = n_f. \\ CAP\ \text{sent} & \end{cases} \quad (44)$$

【外１５】

実際には、スレショールドがどちらかの量で通過されるかどうか、特定の時間に$\overline{MSE}_{CAP}$または$\overline{MSE}_{QAM}$の比較を行う、２つの方法の混合を使用することができる。また、他の決定統計を、二重モードコスト関数から得ることもでき、次のように計算節約になる可能性がある。

【００５６】

ＭＭＡベースの方法

この例示的な方法は、ＭＭＡコスト関数を用いて正方形符号配置を仮定する。さらに、チャンネルはイコライザで完全に反対にされ、また、符号列｛a_n｝および｛b_n｝は、自由に同等に分散され、相互に独立している。次の試験が使用される。

【外１６】

$$\delta_{MSE}^{TIME} = \begin{cases} QAM \text{ sent} & \geq \\ \text{if } \overline{CF}_{MMA}^{CAP} & \overline{CF}_{MMA}^{QAM} \text{ at } n = n_f . \\ CAP \text{ sent} & < \end{cases} \quad (45)$$

ここで、 CF_{MMA}^{CAP} および CF_{MMA}^{QAM} は、以下のサンプル平均を用いて求められる。

$$\overline{CF}_{MMA}^{CAP} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(\left|y_n'\right|^L - R^L\right)^2 + \left(\left|\tilde{y}_n'\right|^L - R^L\right)^2 , \text{ and} \quad (46)$$

$$\overline{CF}_{MMA}^{QAM} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(\left|y_n\right|^L - R^L\right)^2 + \left(\left|\tilde{y}_n\right|^L - R^L\right)^2 . \quad (47)$$

また、式（４３）に類似する $\delta_{MMA}^{THRESHOLD}$ を形成するために、固定スレショールド方法を使用することもできる。

Ｌ＝２に関して、他のより簡単な決定ルールは次の通りである。

【００５７】

【数２３】

$$\delta_{MSE}^{\prime TIME} = \begin{cases} QAM \text{ sent} & \leq \\ \text{if } \overline{TCR}_{MMA}^{CAP} & \overline{TCR}_{MMA}^{QAM} \text{ at } n = n_f . \\ CAP \text{ sent} & > \end{cases} \quad (48)$$

ここで、三相関の推定値は、次の通りとなる。

【数２４】

$$\overline{TCR}_{MMA}^{CAP} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta} y_n'^2 \tilde{y}_n'^2 , \text{ and} \quad (49)$$

$$\overline{TCR}_{MMA}^{QAM} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta} y_n^2 \tilde{y}_n^2 . \quad (50)$$

式（４９）および（５０）のサンプル推定値は、式（４６）および（４７）の半分の多さの乗算を要する。

【００５８】

ＲＣＡベースの方法

ＲＣＡコスト関数の配置位相回復特性は、以下の試験を形成するために使用される。

【外１７】

$$\delta_{RCA}^{TIME} = \begin{cases} QAM \text{ sent} & \geq \\ \text{if } \overline{CF}_{\text{RCA}}^{\text{CAP}} & \overline{CF}_{\text{RCA}}^{\text{QAM}} \text{ at } n = n_f . \\ CAP \text{ sent} & < \end{cases} \quad (51)$$

ここで、CF_{RCA}^{CAP} および CF_{RCA}^{QAM} は、以下のサンプル平均を用いて求められる。

$$\overline{CF}_{RCA}^{CAP} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(y_n' - R\,\mathrm{sgn}(y_n')\right)^2 + \left(\tilde{y}_n' - R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n')\right)^2, \text{ and} \quad (52)$$

$$\overline{CF}_{RCA}^{QAM} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left(y_n - R\,\mathrm{sgn}(y_n)\right)^2 + \left(\tilde{y}_n - R\,\mathrm{sgn}(\tilde{y}_n)\right)^2 . \quad (53)$$

また、類似のスレショールドベースの試験　　を解釈することができる。

【００５９】

完全にイコライズされたチャンネルに関して、より簡単な決定ルールは次の通りである。

【数２５】

$$\delta_{RCA}'^{TIME} = \begin{cases} QAM \text{ sent} & \leq \\ \text{if } \overline{ABS}_{\text{RCA}}^{\text{CAP}} & \overline{ABS}_{\text{RCA}}^{\text{QAM}} \text{ at } n = n_f . \\ CAP \text{ sent} & > \end{cases} \quad (54)$$

ここで、予想される絶対値の推定値は次の通りである。

【数２６】

$$\overline{ABS}_{RCA}^{CAP} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n-n_i+1}^{n_i+\Delta}\left|y_n'\right| + \left|\tilde{y}_n'\right|, \text{ and} \quad (55)$$

$$\overline{ABS}_{RCA}^{QAM} \equiv \frac{1}{\Delta}\sum_{n=n_i+1}^{n_i+\Delta}\left|y_n\right| + \left|\tilde{y}_n\right| . \quad (56)$$

【００６０】

本発明概念の実施例は、図４の受信機１０に使用するために図２０および図２１に示される。図２０は、本発明の原理にしたがってＦＳＬＥを実行するようにプログラムされたデジタルシグナルプロセッサ７００を表す実施例を示す。デジタルシグナルプロセッサ７００は、中央演算処理装置（プロセッサ）７０５とメモリ７１０からなる。メモリ７１０の一部は、プロセッサ７０５で実行される場合に、（上記に説明した）ＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションを実行するプログラム命令を格納するのに使用される。このメモリ部分は７１１として示されている。メモリの他の部分７１２は、本発明概念にしたがってプロセッサ７０５で更新されるタップ係数値を格納するのに使用される。受信信号７０４はプロセッサ７０５に印加され、プロセッサ７０５は、たとえば、重畳方法または交番方法またはそれらの変形を使用して、本発明概念にしたがってこの信号をイコライズし、出力信号７０６を提供すると仮定される。例のみの目的で、出力信号７０６は、イコライザの出力サンプルのシーケンスを表す。（技術上知られているように、デジタルシグナルプロセッサは、出力信号７０６を得る前に、受信信号７０４をさらに処理する

こともある。）例示的なソフトウェアプログラムは、ここでは説明されない。なぜなら、ここで説明されているようにＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションの学習後、このようなプログラムは、当業者の能力内にあるからである。また、交差接続イコライザ等のどんなイコライザ構成も、本発明概念にしたがってデジタルシグナルプロセッサ７００で実行できることに注意すべきである。

【００６１】

図２１は、本発明概念の他の実施例を示す。回路６００は、中央演算処理装置（プロセッサ）６０５と、イコライザ６１０からなる。後者は、たとえば、上記に説明した位相分割ＦＳＬＥであると仮定される。イコライザ６１０は、（たとえば、図７に示されるような）対応するタップ係数ベクトルに関する値を格納する少なくとも１つのタップ係数レジスタを含むと仮定される。プロセッサ６０５は、ＣＡＰ－ＱＡＭハイブリッド無指示イコライゼーションを実行する、図２０のメモリ７１０と同様なメモリ（図示しない）を含む。イコライザ出力サンプルのシーケンスを表すイコライザ出力信号６１１は、プロセッサ６１０に印加される。後者は、イコライザ出力信号６１１を本発明概念にしたがって解析し、たとえば、重畳方法または交番方法またはこれらの変形を用いて正しい解に収束するような仕方でタップ係数の値を適応させる。

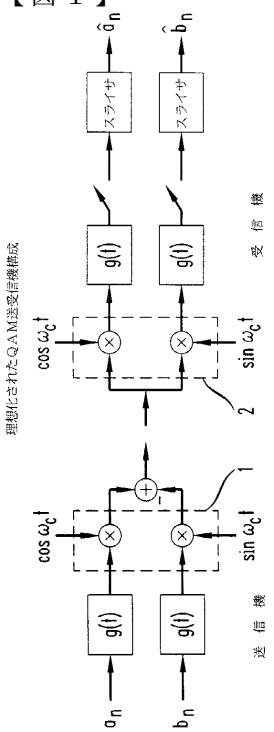
【００６２】

上記は単に本発明の原理を説明しており、したがって、当業者は、ここでは明確に説明されていないが、本発明の原理を具体化し、その精神と範囲内にある多くの他の配置を発明することができることがわかるだろう。たとえば、本発明概念は、ここでは、独立した機能組立ブロック、たとえばイコライザ６１０等で実行されるものとして説明されたが、これらの組立ブロックのいずれか１つまたはそれ以上の機能を、１つ以上の適当にプログラムされたプロセッサまたはプロセッサ回路、たとえばデジタルシグナルプロセッサ、独立回路構成要素、集積回路等を用いて実行することができる。さらに、本発明概念は、単一位相分割イコライザに関して説明されたが、他の形態のイコライザを使用することもできる。

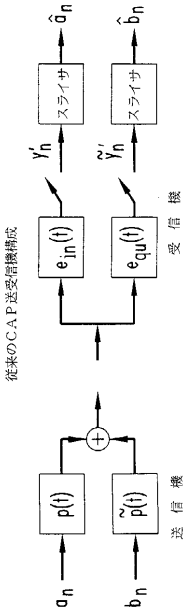
【図面の簡単な説明】

【図１】従来技術のベースバンドＱＡＭ送受信機のブロック図である。
【図２】従来技術のＣＡＰ送受信機のブロック図である。
【図３】従来技術のパスバンドＱＡＭ送受信機のブロック図である。
【図４】本発明の原理を実施した通信システムの一部の例示的なブロック図である。
【図５】交差接続されたイコライザの例示的なブロック図である。
【図６】位相分割イコライザの例示的なブロック図である。
【図７】イコライザで使用される適応フィル他の一部の例示的なブロック図である。
【図８】ＣＡＰ信号およびＱＡＭ信号を受信する決定指示構成例を示す図である。
【図９】３つの無指示イコライゼーション方法の概要を示す図である。
【図１０】ＣＡＰイコライザとＱＡＭイコライザの更新構成例を示す図である。
【図１１】ある状態におけるＱＡＭ信号のＣＡＰに基づく受信を示す図である。
【図１２】ある状態におけるＱＡＭ信号のＣＡＰに基づく受信を示す図である。
【図１３】ある状態におけるＱＡＭ信号のＣＡＰに基づく受信を示す図である。
【図１４】本発明の原理を実施する受信機の一部の例示的なブロック図である。
【図１５】本発明の原理によるハイブリッドコスト関数の動作を示す図である。
【図１６】本発明概念によるイコライザ構成のタップ更新を示すブロック図である。
【図１７】本発明の原理による方法の例示的なフロー図である。
【図１８】本発明概念による他の実施例を示す図である。
【図１９】本発明の原理による無指示始動手順の一例を示す図である。
【図２０】本発明の原理を実施する受信機の一部の例示的なブロック図である。
【図２１】本発明の原理を実施する受信機の一部の例示的なブロック図である。

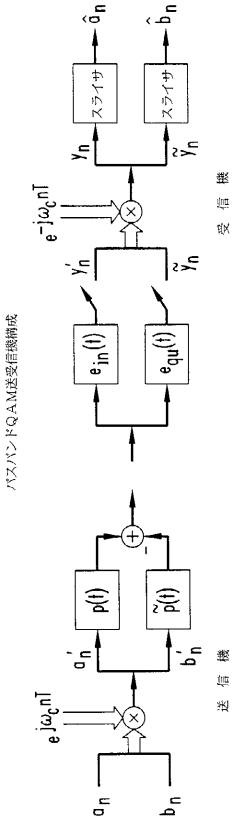
【図１】


理想化されたＱＡＭ送受信機構成
送信機
受信機
スライサ
g(t)
cos ωct
sin ωct
1
2

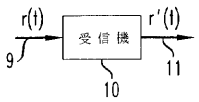
【図２】


従来のＣＡＰ送受信機構成
送信機
受信機
スライサ
p(t)
ein(t)
equ(t)

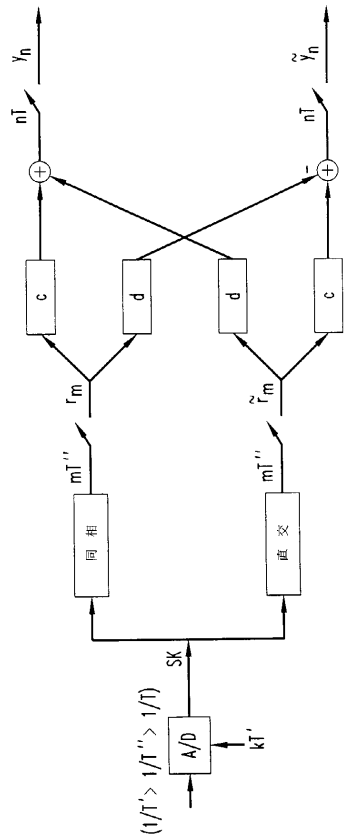
【図３】


バスバンドＱＡＭ送受信機構成
送信機
受信機
スライサ
p(t)
ein(t)
equ(t)

【図４】

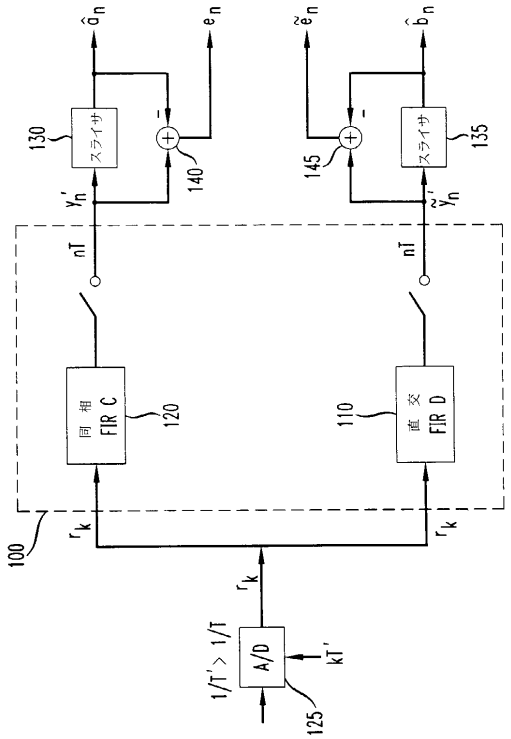

r(t)
受信機
r'(t)
9
10
11

【図５】



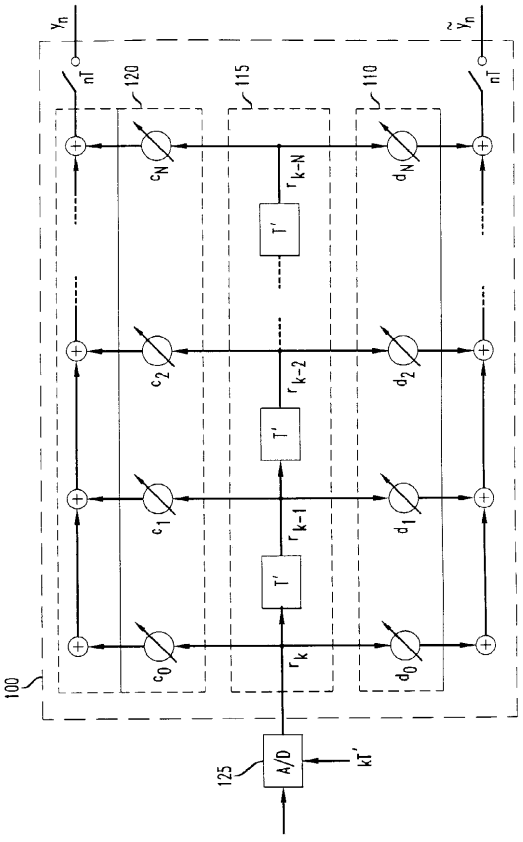
y_n
$\tilde{y}_n$
nT
c
d
d
c
r_m
$\tilde{r}_m$
mT''
同相
直交
SK
A/D
kT'
(1/T' > 1/T'' > 1/T)

【図６】



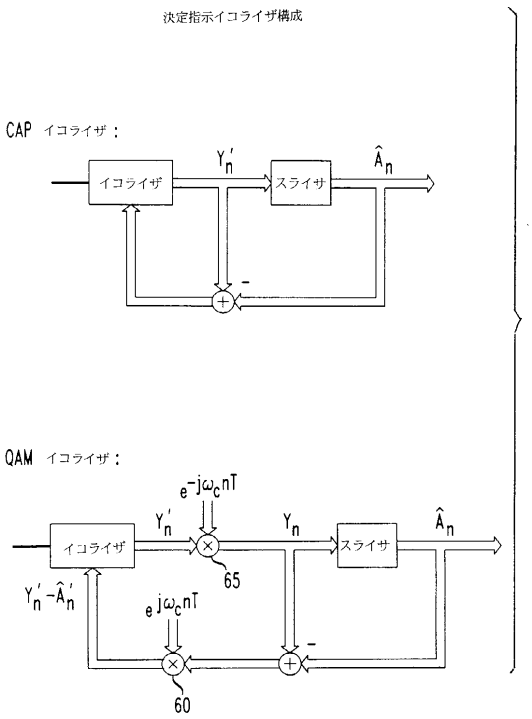
$\hat{a}_n$
e_n
$\tilde{e}_n$
$\hat{b}_n$
130
スライサ
140
145
135
y'_n
$\tilde{y}'_n$
nT
同相
FIR C
120
直交
FIR D
110
100
r_k
A/D
kT'
1/T' > 1/T
125

【図７】



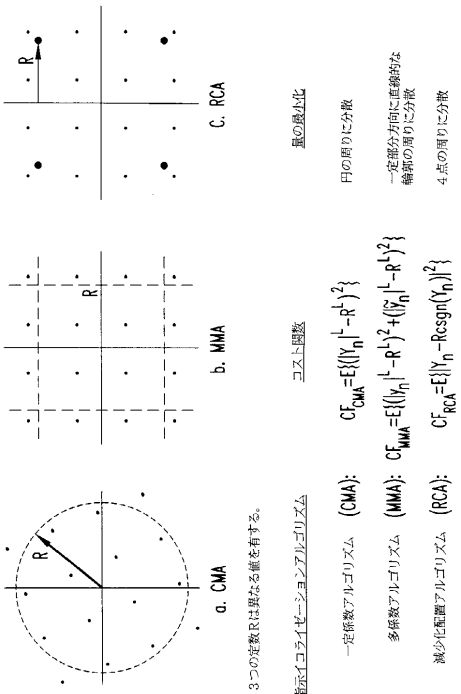
y_n
$\tilde{y}_n$
nT
120
115
110
c_N
d_N
r_{k-N}
T'
c_2
d_2
r_{k-2}
c_1
d_1
r_{k-1}
c_0
d_0
r_k
100
125
A/D
kT'

【図８】

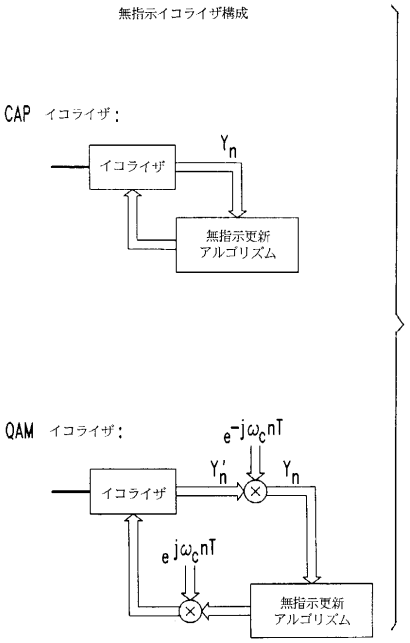


決定指示イコライザ構成
CAP イコライザ：
イコライザ
Y'_n
スライサ
$\hat{A}_n$
QAM イコライザ：
$e^{-j\omega_c nT}$
Y'_n
Y_n
$\hat{A}_n$
$Y'_n - \hat{A}'_n$
$e^{j\omega_c nT}$
65
60

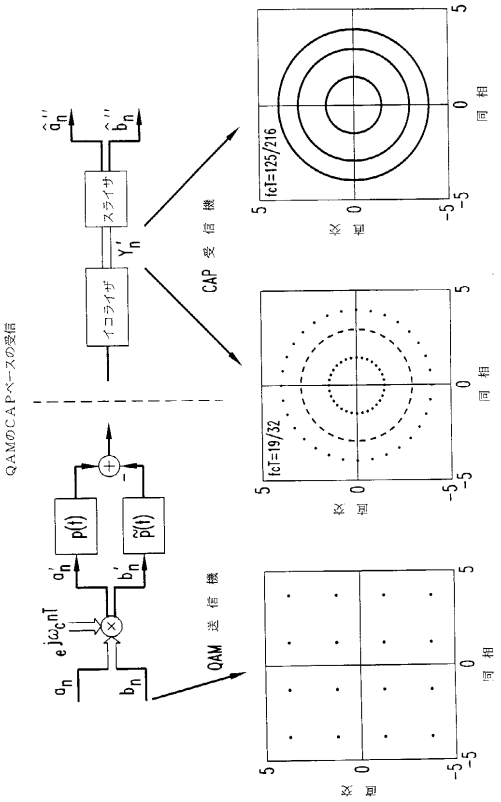
【図９】



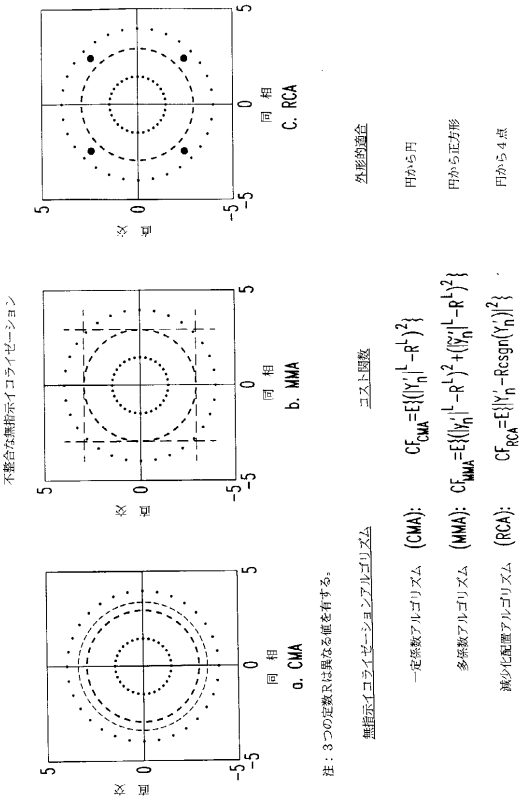
【図１０】



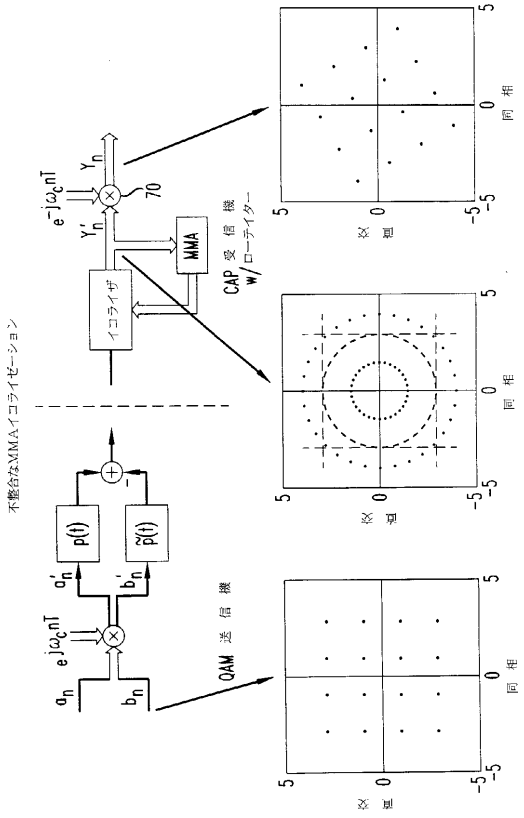
【図１１】



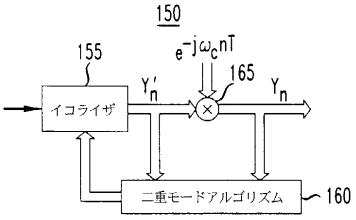
【図１２】



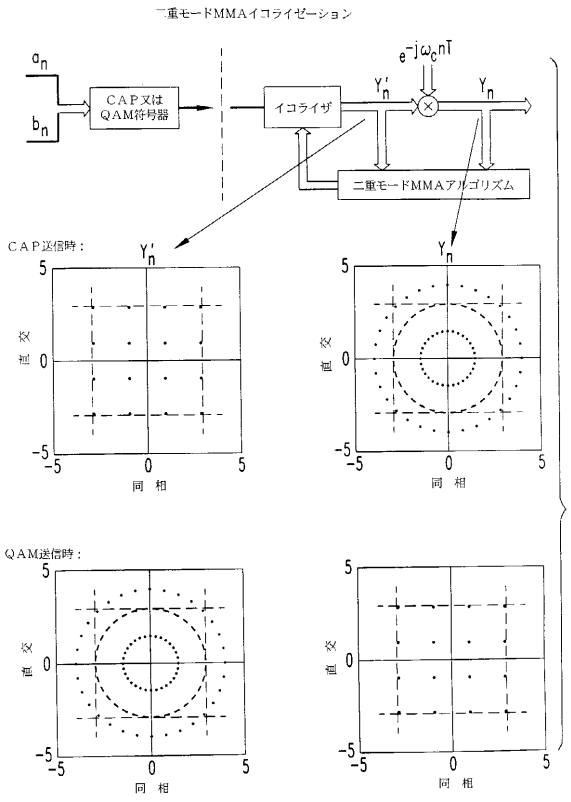
【図１３】



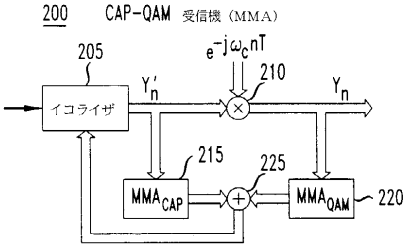
【図１４】



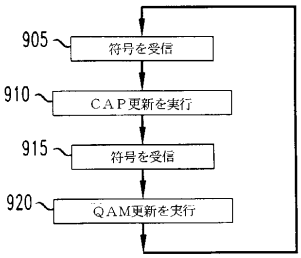
【図１５】



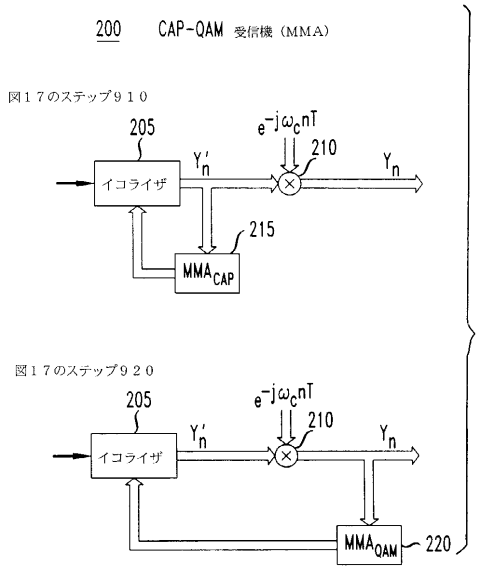
【図１６】



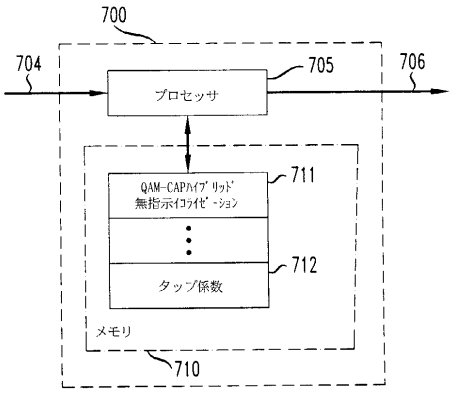
【図１７】



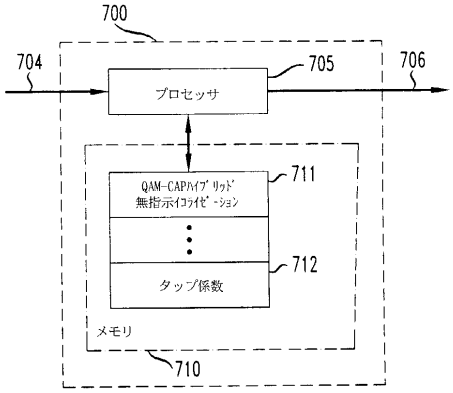
【図１８】



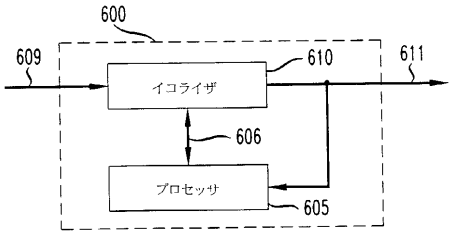
【図１９】



【図２０】



【図２１】



フロントページの続き

(74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
(74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
(74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
(74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
(74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
(74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
(74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
(72)発明者 リー マックキャンドレス ガース
アメリカ合衆国 ０７７３３ ニュージャーシィ，ホルムデル，カーディナル ロード ２

審査官 田中 庸介

(56)参考文献 特開平１０－１６３９２８（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－３０７３２２（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１２６３１５（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１７８３７１（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０８３０７２（ＪＰ，Ａ）
特表２０００－５１４９７８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第９８／００４０７３（WO，Ａ１）
Zhao Cheng-lin 他，An improved algorithm for blind equalization based On the triceptrum，Signal Proceedings，1996，3rd International Conference，米国，１９９６年１０月１４日，Vol.1，p.561－564
Stephan V. Schell 他，Partially blind identification of FIR channels for QAM signals，IEEE Military Communications Conference，米国，IEEE，１９９５年１１月 ５日，p.592－596

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
H04L 27/00-27/38
H04B 1/76,3/04-3/14
H04B 7/005-7/015