

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4199907号
(P4199907)

(45) 発行日 平成20年12月24日(2008.12.24)

(24) 登録日 平成20年10月10日(2008.10.10)

(51) Int.Cl.	F I		
G 1 1 B 20/14 (2006.01)	G 1 1 B 20/14	3 4 1 B	
G 1 1 B 5/09 (2006.01)	G 1 1 B 5/09	3 2 1 A	
G 1 1 B 20/10 (2006.01)	G 1 1 B 20/10	3 2 1 A	
H O 4 B 3/06 (2006.01)	H O 4 B 3/06	C	
	H O 4 B 3/06	B	

請求項の数 18 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2000-177135 (P2000-177135)	(73) 特許権者	503136004
(22) 出願日	平成12年6月8日(2000.6.8)		株式会社日立グローバルストレージテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2001-351338 (P2001-351338A)		神奈川県小田原市国府津2880番地
(43) 公開日	平成13年12月21日(2001.12.21)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成16年3月12日(2004.3.12)		弁理士 井上 学
前置審査		(72) 発明者	澤口 秀樹
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所中央研究所内
		(72) 発明者	西田 靖孝
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 垂直磁気記録再生装置および信号処理回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軟磁性裏打ち層を有する垂直磁気記録二層膜媒体と、磁気抵抗効果型ヘッドを再生ヘッドに用いた垂直磁気記録再生装置であって、

該再生ヘッドから出力される再生信号は、離散信号にサンプルされた後、直流成分を含めた低周波信号成分を遮断する周波数特性を有し、かつ、非対称形状の応答波形特性を伴う雑音白色化フィルタの周波数特性を有するパーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路を介し、該波形等化デジタルフィルタ回路において直流成分を含めた低周波信号成分の遮断とともに高域雑音強調の抑制が行われた後、最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項2】

請求項1に記載の垂直磁気記録再生装置において、

該記録媒体上、最短ビット長間隔で記録される2つの隣接記録磁化反転の対に対する再生信号波形は、該パーシャルレスポンス波形等化回路を介して、(a1, a2, a3, ..., ak, ..., an) (kは、ビット時刻を示す整数、a1, anは、非ゼロ実数 |a1| |an|、a1 + a2 + a3 ... + ak + ... + an = 0) なる非対称な振幅比の波形干渉を各ビット時刻において有する信号波形として出力され、該最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項3】

請求項2に記載の垂直磁気記録再生装置において、

a_1, a_n は、非ゼロ実数： $a_1 + a_2 + a_3 \dots + a_k + \dots + a_n = 0$ ($n \geq 5$)であることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の垂直磁気記録再生装置において、

該記録媒体上、最短ビット長間隔で記録される 2 つの隣接記録磁化反転の対に対する再生信号波形は、該パーシャルレスポンス波形等化回路を介して、 $(a_1, a_2, a_3 - a_1, \dots, a_k - a_{k-2}, \dots, a_n - a_{n-2}, -a_{n-1}, -a_n)$ (k は、ビット時刻を示す整数、 a_1, a_n は、非ゼロ実数) なる振幅比の波形干渉を各ビット時刻において有する信号波形として出力され、該最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の垂直磁気記録再生装置において、

a_1, a_n は、非ゼロ実数であり、 $n \geq 3$ であることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の垂直磁気記録再生装置において、

$a_1 = 4, a_2 = 3, a_3 = 2$ なる整数比をとることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の垂直磁気記録再生装置において、

トランスパーサル型フィルタにより構成される該パーシャルレスポンス波形等化回路は、その乗算タップ係数の和がゼロとなるように変化する、または、調整されるものであることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

【請求項 8】

垂直磁気記録再生信号を、

離散信号にサンプルした後、当該サンプル信号を直流成分を含めた低周波信号成分を遮断する周波数特性を有し、かつ、非対称形状の応答波形特性を伴う雑音白色化フィルタの周波数特性を有するパーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路を介して処理し、該波形等化デジタルフィルタ回路において直流成分を含めた低周波信号成分の遮断とともに高域雑音強調の抑制を行なった後、これを最尤復号器に入力してデータ再生することを特徴とする信号処理回路。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の磁気記録再生信号処理回路において、

軟磁性裏打ち層を有する前記垂直磁気記録媒体からの再生信号を用いることを特徴とする信号処理回路。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の信号処理回路において、

前記垂直磁気記録媒体上、最短ビット長間隔で記録される 2 つの隣接記録磁化反転の対に対する再生信号波形は、該パーシャルレスポンス波形等化回路を介して、 $(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k, \dots, a_n)$ (k は、ビット時刻を示す整数、 a_1, a_n は、非ゼロ実数 $|a_1| = |a_n|$ 、 $a_1 + a_2 + a_3 \dots + a_k + \dots + a_n = 0$) なる非対称な振幅比の波形干渉を各ビット時刻において有する信号波形として出力されること、かつ、これが該最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする信号処理回路。

【請求項 11】

請求項 8 に記載の信号処理回路において、

前記垂直磁気記録媒体上、最短ビット長間隔で記録される 2 つの隣接記録磁化反転の対に対する再生信号波形は、該パーシャルレスポンス波形等化回路を介して、 $(a_1, a_2, a_3 - a_1, \dots, a_k - a_{k-2}, \dots, a_n - a_{n-2}, -a_{n-1}, -a_n)$ (k は、ビット時刻を示す整数、 a_1, a_n は、非ゼロ実数) なる振幅比の波形干渉を各ビット時刻において有する信号波形として出力され、該最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする信号処理回路。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の信号処理回路において、

a_1, a_n は、非ゼロ実数であり、 $n \geq 3$ であることを特徴とする信号処理回路。

10

20

30

40

50

【請求項 13】

請求項 11 に記載の信号処理回路において、
 $a_1 = 4$ 、 $a_2 = 3$ 、 $a_1 = 2$ なる整数比をとることを特徴とする信号処理回路。

【請求項 14】

請求項 8 に記載の信号処理回路において、

トランスバーサル型フィルタにより構成される該パーシャルレスポンス波形等化回路は、その乗算タップ係数の和がゼロとなるように変化する、または、調整されるものであることを特徴とする信号処理回路。

【請求項 15】

請求項 8 に記載の信号処理回路を搭載する半導体集積回路。

10

【請求項 16】

請求項 15 に記載の半導体集積回路を搭載する垂直磁気記録再生装置。

【請求項 17】

軟磁性裏打ち層を有する垂直磁気記録二層膜媒体と、磁気抵抗効果型ヘッドによる再生ヘッドと、該再生ヘッドで検出される再生信号を処理する再生信号処理系とを備えた垂直磁気記録再生装置であって、

前記再生信号処理系は、該再生信号を離散信号にサンプルする回路と、これに後置して直流成分を含めた低周波信号成分を遮断する周波数特性と非対称形状の応答波形特性を伴う雑音白色化フィルタの周波数特性とを有するパーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路と最尤復号器とを有し、前記再生ヘッドから出力される再生信号は、該サンプル回路により離散化された後、該パーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路を介して処理され、前記最尤復号器に入力されてデータ再生されることを特徴とする垂直磁気記録再生装置。

20

【請求項 18】

垂直磁気記録媒体の再生信号を処理するための、該再生信号を離散信号にサンプルする回路と、直流成分を含めた低周波信号成分を遮断する周波数特性と非対称形状の応答波形特性を伴う雑音白色化フィルタの周波数特性とをもつパーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路と、当該パーシャルレスポンス波形等化デジタルフィルタ回路の出力が入力される最尤復号器とを備えたことを特徴とする信号処理回路。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、軟磁性裏打ち層を有する垂直磁気記録二層膜媒体と磁気抵抗効果素子による高感度再生ヘッドを用いた磁気記録再生装置および磁気記録再生信号処理回路に関する。

【0002】

【従来の技術】

高密度磁気記録再生を実現する垂直磁気記録方式においては、単磁極ヘッドと、軟磁性裏打ち層・記録磁性層からなる二層膜構造媒体を組み合わせた記録方式が多く用いられる。この記録方式では、ヘッド主磁極から出る記録磁界は、記録層裏側の裏打ち層に誘導され、再び補助磁極から記録ヘッドへ戻る磁路を形成する。この記録磁界の向きをスイッチすることで、記録磁性層は、記録情報符号に対応する媒体厚さ方向の二つの向きに磁化され、情報記憶が行われる。このような、記録ヘッド・媒体構造による記録では、記録磁性層には、強力かつ急峻な垂直記録磁界を印可することができるため、高い分解能の情報記憶を実現することができる。また、このように磁化記録された垂直磁気記録媒体から、磁気抵抗(MR: Magnet Resistive)効果素子を用いた高感度再生ヘッドにより、磁化情報を再生するとき、ヘッドからの再生信号は、媒体上の記録磁化分布を直にセンスし、これに対応した矩形波状の信号波形となる。

40

【0003】

面内磁気記録方式に対しては、パーシャルレスポンス(Partial-Response)等化方式と最尤(Maximum-Likelihood)復号方式を組み合わせた

50

PRML方式を用いることにより、再生信号のSN品質を改善し、高信頼度なデータ再生を行う信号処理方式が広く用いられている。一方、上記のような、垂直磁気記録方式の再生信号をデータ復調するに好適な信号処理方式は、従来、あまり知られていないが、再生信号が、直流信号成分を多く含み記録磁化分布および記録電流波形と同様の矩形波形状を有することから、光記録再生装置などに使用されるパーシャルレスポンスクラス1、及び、この拡張方式（特開平11-66755）や積分信号検出に類する技術が、いくつか提案されている。

【0004】

また、面内記録方式と同様の信号処理方式を用い、簡便にこれを処理することを目的として、垂直記録媒体からの再生信号を予め微分処理し、擬似的に面内記録方式の再生信号と同様のパルス状信号波形を作り出すことにより、これを従来と同様の信号処理方式により処理する方法などが提案される。

10

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、二層膜記録媒体と単磁極記録ヘッド・MR再生ヘッドによる垂直磁気記録ヘッド媒体系からの再生信号に対して、最も高信頼度なデータ復調を実現できるPRML(Partial-Response Maximum-Likelihood)信号処理方式を提供することにある。パ-シャルレスポンス(PR)波形等化方式に対して、高密度垂直磁気記録方式の再生信号波形や雑音特性に、より適切に整合させるための波形等化条件を与えることにより、信号上の雑音や歪を低減し、後段の最尤(ML)復号におけるデータ復調の誤り率を低減できる手段を提供する。

20

【0006】

前述のように、垂直磁気記録方式における再生信号は、矩形波状の直流信号成分を多く含む信号となるが、再生信号の直流成分近傍には、記録媒体からの種々の雑音や、再生系増幅アンプ回路など信号伝送系の低周波周波数損失による歪など多くの外乱要因が局在する。この影響を排除するため、再生信号の直流信号成分を遮断し、低域信号近傍を抑制する周波数特性をもった波形等化処理を行う。

【0007】

しかし、上記従来技術で述べたパーシャルレスポンスクラス1やこの拡張方式あるいは積分信号検出等の信号処理方式においては直流成分は除去できない。また、等化前に再生信号を微分処理する信号処理方式においては、直流成分はカットされるので低周波領域に存在する雑音・歪の影響は除去出来るものの、微分処理による高域雑音成分が強調され、符号誤り率が増加するという問題があった。

30

【0008】

【課題を解決するための手段】

前述した低周波領域に局在する雑音・歪の影響を除去するため、本発明では、高域等化雑音の増加抑制という効果を保ちつつ波形等化後の信号から直流成分を取り除くことが可能なパーシャルレスポンス波形等化方式、及び波形等化回路を提供する。

【0009】

本発明のパーシャルレスポンス波形等化回路は、入力信号を1ビット遅延させる遅延回路素子を多段接続し、略1ビット遅延させた入力信号の各々に対して所定のタップ係数 $\{h_1, h_2, h_3 \dots h_L\}$ を乗算する複数の乗算器と、タップ係数が乗算された入力信号を加算する加算器により構成されたいわゆるトランスバーサル型フィルタであるが、タップ係数が $h_1 + h_2 + h_3 \dots h_L = 0$ である点に特徴を有する。このようにタップ係数を決定することにより、等化後の信号波形から直流成分をカットすることができる。

40

【0010】

また、最尤復号器へ入力される雑音がより最適に白色化されるので、復調データの誤り率が低下する。更に、本発明の波形等化方式を用いて信号処理を行うことにより、従来開示技術を用いた場合に比べてデータ復調の信頼性がより高く、より低SN品質の再生信号を許容でき、より高密度な情報記憶が実現できる磁気記録再生装置を提供することが可能と

50

なる。

【 0 0 1 1 】

【 発明の実施の形態 】

(実施例 1)

図 1 は、本発明が提供する磁気記録再生装置の基本的実施構成を示している。本実施例において、記録信号処理回路 9 a に入力された情報符号データ 1 { a k } (k は、ビット時刻を示す整数) は、符号器 2 において、ランレングス制約や誤り訂正符号付加のため、所定の符号変換処理が施されて、記録符号データ { b k } に変換される。この記録符号データ { b k } は、記録電流変換処理回路 3 a、及び記録アンプ 3 b を経て、アナログの記録電流信号 { c k } に変換された後、記録垂直磁気記録ヘッド媒体系 4 に供給されて、情報記憶がなされる。

10

【 0 0 1 2 】

この垂直磁気記録ヘッド媒体系 4 においては、記録媒体 6 として、記録磁性層 6 a と軟磁性裏打ち層 6 b を基板 6 c 上に有する二層膜垂直磁気記録媒体を用いる。また、記録ヘッド 5 には、単磁極ヘッドを使用する。この記録ヘッドの主磁極 5 a には、コイル 5 b が巻かれ、このコイル 5 b を通る記録電流によって、記録磁界が誘起される。この記録磁界は、裏打ち層 6 b を通って補助磁極 5 c に戻り、また主磁極 5 a に戻るという磁路を形成し、これにより、記録磁性層 6 a に、急峻な垂直方向の磁界を印可して、媒体厚さ方向に記録媒体を磁化する。このように記録された垂直磁気記録媒体から、シールド膜 7 b との間に置かれた磁気抵抗 (MR : M a g n e t o R e g i s t i v e) 効果素子 7 a を有する再生ヘッド 7 を用いて磁化情報を再生するとき、ヘッドからの再生信号 8 は、図 2 の如く、媒体上の記録磁化分布に対応した矩形波状の信号となる。すなわち、記録符号データ { b k } の 2 つの符号値 { 0、1 } に対応した順、逆方向の 2 値の記録電流信号 { c k } を記録ヘッド 5 に流し、記録媒体 6 を移動させながら、この上に対応する上、下方向の記録磁化を形成 (N R Z 記録) したとき、この記録媒体 6 上を走行する再生ヘッド 7 からは、この記録磁化パターン 1 7 が直にセンスされ、記録磁化方向の遷移位置でステップ状に電圧が変化する、立ち上がりの鈍った矩形波形の再生信号系列 { d k } がアナログ再生出力される。この波形立ち上がりの幅は、垂直磁気記録ヘッド媒体系 4 の構造や特性、記録再生条件などにより決定され、信号の出力電圧とともに高記録密度化を制限する。また、波形上には、種々の要因による雑音を重ねる他、ヘッド媒体系、その他電子部品が有する周波数伝達特性に依存した波形歪が重畳しうる。

20

30

【 0 0 1 3 】

再生信号処理回路 9 b では、この再生信号 8 を再生アンプ 1 0 にて増幅し、低域フィルタ 1 1 によって高周波の不要な雑音や信号成分を除いた後、アナログ / デジタル (A / D) 変換器 1 2 によって、記録符号データ { b k } のビットタイミングで、デジタル値にサンプリングした離散再生信号列 { e k } に変換する。本発明では、この離散再生信号列 { e k } から、最も効率よく高信頼度なデータ符号の復調を行うため、後段の等化器 1 3 により、再生信号 8 に適したパーシャルレスポンス波形等化を施すとともに、この等化器 1 3 からの出力信号を最尤復号器 1 4 によって、最も誤り率の低いと思われる復調データ符号列 { g k } へと変換する。特に、等化器 1 4 では、出力信号波形上の有限ビット長にわたり、既知の波形干渉値を許容することによって、波形処理における高周波信号成分の強調による高域雑音の増加を可能な限り低減するとともに、再生信号 8 が有する直流 (D C) 成分を含めた低域周波数領域での信号歪や雑音の影響を避けるための波形処理を施す。(この詳細については、図 3 を用いて後述する。) また、最尤復号器 1 4 では、ビタビ・アルゴリズムを用いて、等化器 1 3 で付加された既知の波形干渉量を利用することにより、雑音に対してより信頼度の高いデータ復調処理を実現する。復調データ符号列 { g k } は、復号器 1 5 を介して、逆変換処理され、もとの情報符号データ 1 { a k } に対応する再生符号データ 1 6 { a k ' } が再生出力される。

40

【 0 0 1 4 】

図 3 は、図 1 の実施例において、等化器 1 3 におけるパーシャルレスポンス波形処理の詳

50

細を説明したものである。図3(a)において、再生波形19は、記録媒体6上のダイビット記録磁化パターン18(最短ビット間隔で記録された2つの隣接記録磁化反転の対18a)を再生したときの再生ヘッド7からの出力波形である。前述のように、2つの磁化遷移のタイミングで、ヘッド媒体系の周波数特性に依存して立ち上がりの鈍ったステップ応答信号19aが重なりあうことで、孤立したパルス状波形が出力される。上記のヘッド媒体系を有する一般的な垂直磁気記録再生系において、各々のステップ応答信号19aは、 \tanh 型の関数で近似できることが知られており、上記のダイビット再生波形19は、信号振幅Vと立ち上がり幅を決めるパラメータKにより、

$$H(t) = V * \tanh((3.415t) / (K * Tb)) - V * \tanh(3.4514t) / (K * Tb) \quad (1)$$

10

なる式で近似される。これは、該ヘッド媒体系に対するインパルス応答出力波形(記録符号データ{bk}上の孤立ビット“1”に対する応答)と見なすことができ、このダイビット再生波形19の周波数領域でのパワースペクトル20は、図3(b)に示すように、直流成分を中心に、より低域にビット検出のためのエネルギーが集中したものとなる。しかしながら、一方で、再生ヘッド7からの再生信号8は、再生アンプ10などの電子部品・信号伝送路特性を経て、データ再生されることになり、これら周波数特性の劣化による波形歪の影響を受けることは、免れえない。特に再生アンプ10では、広帯域実現上、直流成分を含む低域遮断特性を許容せざるを得ず、その結果、出力信号上において、この低周波信号成分の損失による波形歪は、顕著なものとなる。波形処理の上でのこの低周波波形歪の補償は、過大な補償回路を要するとともに、重畳する雑音成分の過度の強調を招き弊害を生む。

20

【0015】

一方、記録媒体6から再生ヘッド7によりセンスされる媒体雑音のスペクトル20aも直流成分を中心とした低周波領域に局在するため、これと再生信号の低域成分とを分離し、検出することも困難である。これらの問題を避けるため、本発明では、等化器13により、上記のダイビット再生波形19を、図3(b)における等化波形パワースペクトラム21形状を有するような等化波形22へと波形処理する。従来パーシャルレスポンス等化と同様に、再生波形19の持つパワースペクトル20に整合する緩やかな高域遮断特性を許容することで等化处理での高域雑音強調を抑えるとともに、直流成分をゼロとして、低周波信号成分を抑制し、低域遮断特性を許容できる波形へと処理することにより、再生信号上、低周波領域に局在する波形歪や媒体雑音を抑制することができる。このような周波数特性を有する等化信号からは、より雑音や歪の少ない状況でのデータ復調が可能となる。また、等化器13における波形処理での雑音強調が抑えられ、白色に近い雑音周波数特性が維持されるため、後段の最尤復号器14には、より好適な雑音環境が提供され、復調データ符号列{gk}の符号誤り率が低減される。このような周波数特性を有する等化波形22は、図3(a)のように十分な長さnのビット長にわたり、サンプルされた各ビット時刻で既知の非ゼロ波形干渉量(s1、s2、s3、・・・sn)を有する波形形状を選択することにより得ることができる。

30

【0016】

従来のパーシャルレスポンス等化处理では、この値を再生波形19に対して適切に選ぶことにより、緩やかな高域遮断特性を有する等化波形を設定することを実現している。本発明では、さらに再生波形19上、直流信号成分をゼロに抑圧するため、パーシャルレスポンス等化の際に付加する非ゼロ波形干渉量(s1、s2、s3、・・・sn)に以下の式(2)のような拘束条件を付加する。

40

【0017】

$$s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n = 0 \quad (2)$$

式(2)の拘束条件は、等化波形22の周波数表現H(f)(fは周波数)

$$H(f) = s_1 * \exp(-2j f T b) + s_2 * \exp(-2j f^2 T b) + s_3 * \exp(-2j f^2 T b) + \dots + s_n * \exp(-2j f n T b) \quad (3)$$

から、周波数=0でH(0)=0となる条件より容易に導かれる。拘束条件(2)のもと

50

で、再生波形 19 に対して、等化器 13 からの出力雑音エネルギーが最小化されるような雑音白色化フィルタ特性を決定する方法は、多くの古典的フィルタ理論によって与えられており、例えば、引用文献“Design of finite impulse response for the Viterbi algorithm and decision-feedback equalizer, D. G. Messerschmitt, Proceedings of I. C. C., June 1974”などに開示される他、線形予測フィルタの学習アルゴリズムなど、開示される多くのアルゴリズムを用いることにより、現実の再生波形に対して容易に実施することができる。この結果、ある再生波形 19 に対して、等化器 13 によって付与されるパーシャルレスポンス等化処理での適切な波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) が一意に決定され、これを実現するための等化器特性も一意に決定することができる。

10

【0018】

図 4 は、様々なパラメータ K を有する式 (1) の再生波形 19 に対して、設定されるべき最適な波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) の振幅比率を示したものである。波形干渉のビット長 n は、5 以上にとれば、最適に近い等化器特性が得られるが、過度にこれを増やすことは、後段の最尤復号器 14 の実現規模を増加させるので、極力抑えられるべきである。これら最適干渉量の比を近似できる整数比を選ぶことによって、復号器は簡素化される。

【0019】

上記のように決定された最適な波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) に対し、入力される再生波形 19 との関係から等化器 13 の回路パラメータを設定することは、公知のフィルタ設計理論により、極めて容易である。多くの場合、等化器 13 は、図 5 に示されるように、1 ビットの信号を記憶する記憶遅延素子 23 を直列に接続したシフトレジスタと、所定のタップ係数 ($h_1, h_2, h_3, \dots, h_L$; L は、タップ長) をそれぞれの記憶内容に乗じて積和演算を行うための乗算器 24、加算器 25 などから構成されるトランスバーサル型フィルタにより、構成される。拘束条件 (2) のもとでは、直流周波数成分を有する再生波形 19 に対して、タップ係数 h_K ($1 \leq K \leq L$) は、

$$h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_K + \dots + h_L = 0 \quad (4)$$

なる特徴を有する。このタップ係数の拘束条件 (4) のもとで、入力される再生波形 19 と、これに対して出力される既知の波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) から、これを実現するためのフィルタタップ係数 h_L を決定する方法は、引用文献“Introduction to Adaptive Filter (1984), Simon Haykin 著”などに詳説され、一般的に知られる技術である。同引用文献にも開示されるように、オンラインで等化器 13 から出力される信号を観測し、波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) で決まる目標信号との誤差を評価しながら、適応学習回路 26 により、MSE (Mean-Square Error) 法や LSM (Least Mean Square) 法などの適応アルゴリズムを用いて、拘束条件 (4) を満たしつつ、各タップ係数 h_K を逐次更新して最適タップ係数を求めることも可能である。とりわけ、拘束条件 (2) 乃至 (4) を与えることは、この適応タップ学習の動作において、直流成分付近の信号成分の学習推定を不要にするから、直流オフセット変動や低周波歪、直流成分近傍に媒体雑音をもつ実際の記録再生系信号に対して、より安定かつ精度の高い適応学習動作を可能にする。

20

30

40

【0020】

上記のような等化器 13 から出力された信号は、最尤復号器 14 により、ビタビ・アルゴリズムなどを用いてデータ復調される。図 6 は、このビタビ復号の状態遷移トレリス線図の一例 ($n=5$) を示しており、各矢印には、ビット時刻 k で仮定される記録符号データ $\{b_k\}$ とこれに対応する等化器 13 からの出力信号値 $\{f_k\}$ の値が記されている。出力信号値 $\{f_k\}$ は、前述の波形干渉量 ($s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$) が与えられたとき、現時刻 k で過程される符号値 $\{b_k\}$ と、 $(n-1)$ ビット前までの符号値 $\{b_{k-n+1}, b_{k-n+1}, \dots, b_{k-1}\}$ の状態とから、線形畳み込み演算により一意に

50

決定される。したがって、上記トレリス線図の状態数は、 $2^n (n - 1)$ となり、状態数を削減する点からは、等化器 13 での波形干渉のビット長 n を必要十分に抑える必要がある。このトレリス線図の時間的推移が示す全ての状態遷移において、最も確からしい遷移が示す符号系列が復号データとして選択される。

【0021】

本実施例における等化器 13 は、直流成分を含む低域遮断特性を有するため、実再生信号上にしばしば起こる直流成分のオフセットや低周波変動・歪の影響を大きく排除することができる。とりわけ、高密度記録再生系では、再生ヘッド 7 の特性変動、再生ヘッド 7 と記録媒体 6 間の距離の狭小化に伴い、磁気抵抗 (MR: Magneto Resistive) 効果素子 7a と記録媒体 6 の接触による温度上昇で磁気抵抗特性が大きく変化する TA (サーマルアスペリティ: Thermal Asperity) 現象が発生し、このとき、再生信号には、大きな直流オフセット変動が発生する。本発明の等化器 13 は、後段へのこの影響を排除できる。また、拘束条件 (2) を有するパーシャルレスポンス等化波形への最尤復号は、直流周波数成分を検出しないので、このような現象の影響を受けることなく、データ復調を行うことができる。

【0022】

(実施例 2)

図 7 は、本発明の第二の実施例を示すものである。この実施例において、等化器 13 は、 $(1, 0, -1)$ 等化器 28a と $(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$ パーシャルレスポンス干渉量付加回路 28b との 2 つで構成され、 $(1, 0, -1)$ 等化器 28a では、ダイビット再生波形 19 をパーシャルレスポンスクラス 4 の波形干渉 $(1, 0, -1)$ を有する短ビット波形に波形整形した後、 $(s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$ パーシャルレスポンス干渉付加回路 28b で所望のパーシャルレスポンス干渉量を付加する。このとき、等化器 13 全体では、ダイビット再生波形 19 の入力に対して、 $(s_1, s_2, s_3 - s_1, \dots, s_k - s_{k-2}, \dots, s_n - s_{n-2}, -s_{n-1}, -s_n)$ なる干渉量の波形応答を得ることになる。この $(1, 0, -1)$ 等化器 28a の出力を観測しながら、再生信号 8 に対する利得制御信号 29c を自動利得制御回路 29a を用いて適応的に生成し、自動利得アンプ 27 を用いて、再生信号振幅の変動を抑制することができる。

【0023】

同様に、 $(1, 0, -1)$ 等化器 28a の出力を観測しながら、アナログの再生信号 8 に対するサンプルタイミング信号 29d をタイミング抽出回路 29b を用いて検出し、アナログ/デジタル変換器 12 へのサンプリング位相を支持することができる。本発明のように、波形等化处理回路 28b の前段での信号を観測することにより、これら自動利得やタイミング抽出の回路構成は、従来パーシャルレスポンスクラス 4 と同様の簡素なものを用いることができ、また、28a により、直流信号成分の変動を排除することができるから、この影響を回避して、良好な制御動作が可能である。図 5 に示した等化器 28 の構成においても、適応学習回路 26 の入力信号を 28a の出力からとり、 $(1, 0, -1)$ 等化器 28a のみを適応学習させることで、より簡便で効率よい等化波形処理が可能である。このとき、波形等化处理回路 28b は、固定されたタップのトランスバーサル型の積和演算回路で構成することができる。

【0024】

以上のような、磁気記録再生装置、及び、これを搭載した信号処理回路や半導体集積回路を用いることで、軟磁性裏打ち層を有する二層膜媒体と、シールド膜を有する磁気抵抗効果型ヘッドを再生ヘッドに用いた垂直磁気記録ヘッド・媒体系に対して、最適な信頼度での情報データの記録再生が可能となる。また、再生信号の分解能、SN 品質の低下を許容することができるため、より高密度な情報の記録再生が実現できる。

【0025】

【発明の効果】

本発明により、二層膜媒体と高感度 MR 再生ヘッドによる垂直磁気記録方式の再生信号に対し、従来の開示技術を用いた場合に比べ、最尤復号におけるデータ復調の信頼性をより

10

20

30

40

50

高め、より低SN信号品質を許容することができ、より高密度な情報記憶が実現できる磁気記録再生装置、および、これを用いた磁気記録再生信号処理回路が提供できる。

【0026】

また、本発明では、記録媒体からの雑音の影響をより効果的に軽減できる他、再生波形が、再生系増幅アンプ回路などの前段信号処理伝送系の伝達特性による低周波周波数劣化歪を受けることを前提とし、これを抑制する波形等化処理が行えるため、特殊な補償回路などの増加を要せず、この影響を低減して、該前段信号処理伝送系の特性劣化を許容した記録再生信号処理回路を提供することができる。

【0027】

再生信号からの直流再生検出を排除することにより、上記低周波外乱の影響を排除して、等化処理の適応学習が高精度かつ高速となる他、記録媒体とMR再生素子の接触（サーマル・アスペリティ）、ヘッド特性の変動により発生する再生波形の直流オフセットや変動などの、最尤復号データ復調への影響を排除することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の基本的実施例を示す図。

【図2】垂直磁気記録方式の記録再生過程を示す図。

【図3】(a)本発明パーシャルレスポンス波形等化処理を説明する図（時間波形）(b)本発明パーシャルレスポンス波形等化処理を説明する図（周波数スペクトラム）。

【図4】パラメータKとパーシャルレスポンス波形干渉量の関係を示す表。

【図5】等化器の構成を示す図。

【図6】ピタピ復号の状態遷移トレリス線図の一例を示す図（ $n=5$ ）。

【図7】本発明の第二の実施例を示す図。

【符号の説明】

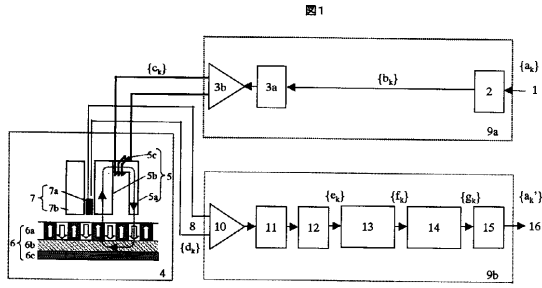
1：情報符号データ、2：符号器、3a：記録電流変換処理回路、3b：記録アンプ、4：垂直磁気記録ヘッド媒体系、5：記録ヘッド、5a：主磁極、5b：コイル、5c：補助磁極、6：記録媒体、6a：記録磁性層、6b：軟磁性裏打ち層、6c：基板、7：再生ヘッド、7a：磁気抵抗（MR）効果素子、7b：シールド膜、8：再生信号、9a：記録信号処理回路、9b：再生信号処理回路、10：再生アンプ、11：低域フィルタ、12：アナログ/デジタル（A/D）変換器、13：等化器、14：最尤復号器、15：復号器、16：再生符号データ、17：記録磁化パターン、18：ダイビット記録磁化パターン、18a：隣接記録磁化反転の対、19：ダイビット再生波形、19a：ステップ応答信号、20：ダイビット再生波形のスペクトル、20a：媒体雑音・低周波歪のスペクトル、21：等化波形のスペクトル、22：等化波形、23：記憶遅延素子、24：乗算器、25：加算器、26：適応学習回路、27：自動利得アンプ、28a：(1, 0, -1)等化器、28b：(s1, s2, s3, …, sn)波形等化処理回路、29a：自動利得制御回路、29b：タイミング抽出回路、29c：利得制御信号、29d：サンプルタイミング信号。

10

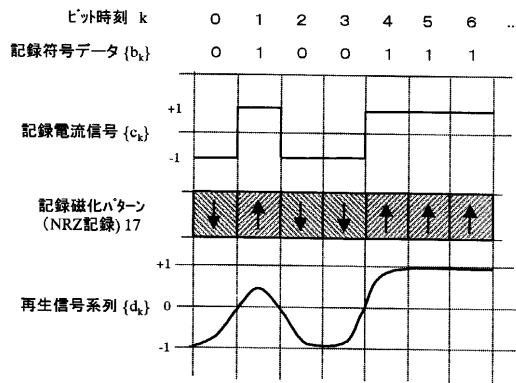
20

30

【図1】



【図2】

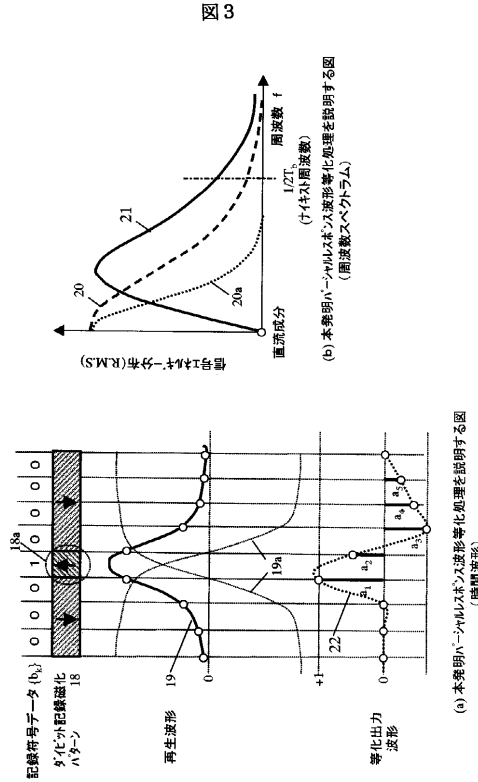


【図4】

K	n=5					n=6					n=7					
	(a1, a2, a3, a4, a5)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	(a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7)	
0.8	(1.0, 0.44, -0.45, -0.63, -0.36)	(1.0, 0.54, -0.28, -0.51, -0.48, -0.27)	(1.0, 0.60, -0.19, -0.39, -0.43, -0.33, -0.21)	(1.0, 0.67, -0.25, -0.38, -0.35, -0.29)	(1.0, 0.74, -0.13, -0.45, -0.50, -0.44, -0.22)	(1.0, 0.81, -0.21, -0.66, -0.63, -0.31)	(1.0, 0.88, -0.06, -0.50, -0.58, -0.50, -0.24)	(1.0, 1.02, 0.04, -0.55, -0.69, -0.57, -0.25)	(1.0, 1.16, 0.15, -0.59, -0.80, -0.68, -0.27)	(1.0, 1.30, 0.28, -0.62, -0.93, -0.74, -0.29)	(1.0, 1.44, 0.42, -0.65, -1.06, -0.93, -0.32)	(1.0, 1.57, 0.58, -0.68, -1.19, -0.94, -0.34)	(1.0, 1.70, 0.74, -0.69, -1.33, -1.05, -0.37)	(1.0, 1.83, 0.90, -0.70, -1.47, -1.16, -0.40)	(1.0, 1.95, 1.06, -0.69, -1.62, -1.27, -0.43)	(1.0, 2.06, 1.23, -0.69, -1.76, -1.39, -0.45)
0.9	(1.0, 0.56, -0.46, -0.71, -0.39)	(1.0, 0.67, -0.25, -0.38, -0.35, -0.29)	(1.0, 0.74, -0.13, -0.45, -0.50, -0.44, -0.22)	(1.0, 0.81, -0.21, -0.66, -0.63, -0.31)	(1.0, 0.88, -0.06, -0.50, -0.58, -0.50, -0.24)	(1.0, 1.02, 0.04, -0.55, -0.69, -0.57, -0.25)	(1.0, 1.16, 0.15, -0.59, -0.80, -0.68, -0.27)	(1.0, 1.30, 0.28, -0.62, -0.93, -0.74, -0.29)	(1.0, 1.44, 0.42, -0.65, -1.06, -0.93, -0.32)	(1.0, 1.57, 0.58, -0.68, -1.19, -0.94, -0.34)	(1.0, 1.70, 0.74, -0.69, -1.33, -1.05, -0.37)	(1.0, 1.83, 0.90, -0.70, -1.47, -1.16, -0.40)	(1.0, 1.95, 1.06, -0.69, -1.62, -1.27, -0.43)	(1.0, 2.06, 1.23, -0.69, -1.76, -1.39, -0.45)	(1.0, 2.16, 1.40, -0.68, -1.90, -1.50, -0.48)	(1.0, 2.26, 1.56, -0.67, -2.03, -1.61, -0.50)
1.0	(1.0, 0.67, -0.45, -0.79, -0.43)	(1.0, 0.81, -0.21, -0.66, -0.63, -0.31)	(1.0, 0.88, -0.06, -0.50, -0.58, -0.50, -0.24)	(1.0, 1.02, 0.04, -0.55, -0.69, -0.57, -0.25)	(1.0, 1.16, 0.15, -0.59, -0.80, -0.68, -0.27)	(1.0, 1.30, 0.28, -0.62, -0.93, -0.74, -0.29)	(1.0, 1.44, 0.42, -0.65, -1.06, -0.93, -0.32)	(1.0, 1.57, 0.58, -0.68, -1.19, -0.94, -0.34)	(1.0, 1.70, 0.74, -0.69, -1.33, -1.05, -0.37)	(1.0, 1.83, 0.90, -0.70, -1.47, -1.16, -0.40)	(1.0, 1.95, 1.06, -0.69, -1.62, -1.27, -0.43)	(1.0, 2.06, 1.23, -0.69, -1.76, -1.39, -0.45)	(1.0, 2.16, 1.40, -0.68, -1.90, -1.50, -0.48)	(1.0, 2.26, 1.56, -0.67, -2.03, -1.61, -0.50)	(1.0, 2.36, 1.71, -0.66, -2.15, -1.71, -0.52)	(1.0, 2.46, 1.86, -0.65, -2.26, -1.81, -0.54)
1.1	(1.0, 0.78, -0.44, -0.88, -0.46)	(1.0, 0.94, -0.15, -0.73, -0.73, -0.33)	(1.0, 1.06, -0.07, -0.81, -0.82, -0.36)	(1.0, 1.19, 0.01, -0.89, -0.92, -0.39)	(1.0, 1.30, 0.10, -0.96, -1.02, -0.42)	(1.0, 1.42, 0.19, -1.03, -1.13, -0.45)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)
1.2	(1.0, 0.88, -0.42, -0.96, -0.50)	(1.0, 1.06, -0.07, -0.81, -0.82, -0.36)	(1.0, 1.19, 0.01, -0.89, -0.92, -0.39)	(1.0, 1.30, 0.10, -0.96, -1.02, -0.42)	(1.0, 1.42, 0.19, -1.03, -1.13, -0.45)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)
1.3	(1.0, 0.98, -0.40, -1.04, -0.54)	(1.0, 1.19, 0.01, -0.89, -0.92, -0.39)	(1.0, 1.30, 0.10, -0.96, -1.02, -0.42)	(1.0, 1.42, 0.19, -1.03, -1.13, -0.45)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)
1.4	(1.0, 1.06, -0.37, -1.12, -0.57)	(1.0, 1.30, 0.10, -0.96, -1.02, -0.42)	(1.0, 1.42, 0.19, -1.03, -1.13, -0.45)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)
1.5	(1.0, 1.14, -0.35, -1.18, -0.61)	(1.0, 1.42, 0.19, -1.03, -1.13, -0.45)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)
1.6	(1.0, 1.21, -0.32, -1.23, -0.64)	(1.0, 1.52, 0.28, -1.09, -1.22, -0.49)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)	(1.0, 2.52, 2.02, -1.71, -2.19, -0.99)
1.7	(1.0, 1.28, -0.31, -1.31, -0.66)	(1.0, 1.62, 0.37, -1.15, -1.32, -0.52)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)	(1.0, 2.52, 2.02, -1.71, -2.19, -0.99)	(1.0, 2.58, 2.17, -1.75, -2.23, -1.03)
1.8	(1.0, 1.34, -0.29, -1.36, -0.69)	(1.0, 1.71, 0.46, -1.20, -1.42, -0.55)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)	(1.0, 2.52, 2.02, -1.71, -2.19, -0.99)	(1.0, 2.58, 2.17, -1.75, -2.23, -1.03)	(1.0, 2.64, 2.32, -1.79, -2.27, -1.07)
1.9	(1.0, 1.39, -0.27, -1.41, -0.71)	(1.0, 1.80, 0.55, -1.25, -1.52, -0.57)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)	(1.0, 2.52, 2.02, -1.71, -2.19, -0.99)	(1.0, 2.58, 2.17, -1.75, -2.23, -1.03)	(1.0, 2.64, 2.32, -1.79, -2.27, -1.07)	(1.0, 2.70, 2.47, -1.83, -2.31, -1.11)
2	(1.0, 1.44, -0.25, -1.45, -0.74)	(1.0, 1.88, 0.63, -1.31, -1.60, -0.60)	(1.0, 1.95, 0.71, -1.36, -1.69, -0.63)	(1.0, 2.02, 0.80, -1.39, -1.77, -0.68)	(1.0, 2.09, 0.96, -1.44, -1.84, -0.71)	(1.0, 2.16, 1.11, -1.47, -1.91, -0.74)	(1.0, 2.22, 1.27, -1.51, -1.97, -0.78)	(1.0, 2.28, 1.42, -1.53, -2.02, -0.82)	(1.0, 2.34, 1.57, -1.59, -2.07, -0.87)	(1.0, 2.40, 1.72, -1.63, -2.11, -0.91)	(1.0, 2.46, 1.87, -1.67, -2.15, -0.95)	(1.0, 2.52, 2.02, -1.71, -2.19, -0.99)	(1.0, 2.58, 2.17, -1.75, -2.23, -1.03)	(1.0, 2.64, 2.32, -1.79, -2.27, -1.07)	(1.0, 2.70, 2.47, -1.83, -2.31, -1.11)	(1.0, 2.76, 2.62, -1.87, -2.35, -1.15)

図4

【図3】



【図5】

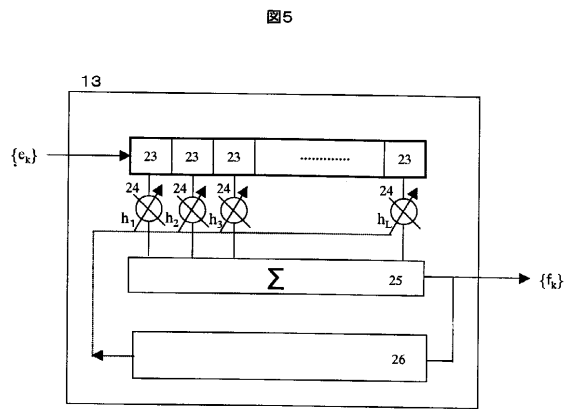
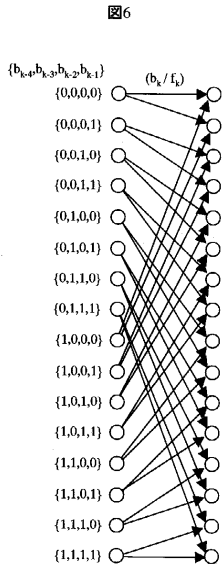
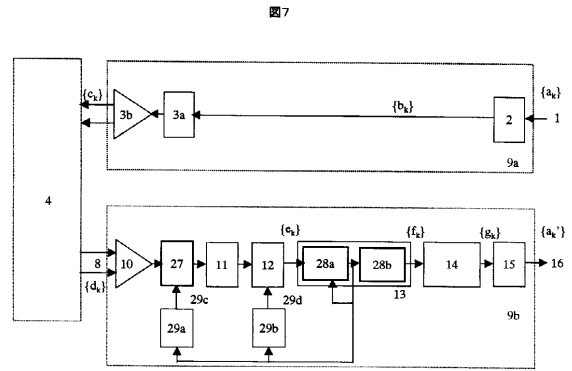


図5

【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 高野 公史
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
- (72)発明者 松下 亨
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

審査官 中村 豊

- (56)参考文献 特開平11-066755(JP,A)
特開平06-231406(JP,A)
特開平09-050602(JP,A)
特開平04-286702(JP,A)
特開平10-111324(JP,A)
特開昭58-045605(JP,A)
国際公開第96/027186(WO,A1)
国際公開第98/015956(WO,A1)
特開平10-162509(JP,A)
特開平10-105908(JP,A)
特開平01-098102(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 20/14
G11B 5/09
G11B 20/10
H04B 3/06