

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6918429号

(P6918429)

(45) 発行日 令和3年8月11日 (2021.8.11)

(24) 登録日 令和3年7月27日 (2021.7.27)

(51) Int. Cl.	F I
G 1 1 B 20/18 (2006.01)	G 1 1 B 20/18 5 0 1 F
G 1 1 B 20/10 (2006.01)	G 1 1 B 20/18 5 7 0 F
H 0 3 M 13/41 (2006.01)	G 1 1 B 20/18 5 3 4 A
	G 1 1 B 20/10 3 2 1 A
	H 0 3 M 13/41

請求項の数 7 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2018-536961 (P2018-536961)	(73) 特許権者	316005926
(86) (22) 出願日	平成29年6月12日 (2017.6.12)		ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2017/021684		神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号
(87) 国際公開番号	W02018/042814	(74) 代理人	100116942
(87) 国際公開日	平成30年3月8日 (2018.3.8)		弁理士 岩田 雅信
審査請求日	令和2年4月16日 (2020.4.16)	(74) 代理人	100167704
(31) 優先権主張番号	特願2016-168028 (P2016-168028)		弁理士 中川 裕人
(32) 優先日	平成28年8月30日 (2016.8.30)	(72) 発明者	白石 淳也
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		神奈川県厚木市旭町四丁目14番1号 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内
		審査官	中野 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信号品質評価装置、信号品質評価値生成方法、再生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行う P R M L 復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、

前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部と、を備えた信号品質評価装置。

10

【請求項 2】

前記第1の演算部は、パスメトリック差分の分布に近似した正規分布からパス選択エラーレートの推定値を求める

請求項1に記載の信号品質評価装置。

【請求項 3】

前記第2の演算部は、最尤パスと第2パスのパスメトリック差分の値が所定の閾値以下となる場合の最尤パスと第2パスのビット相違数を用いて平均エラービット数を求める

請求項1に記載の信号品質評価装置。

【請求項 4】

20

前記評価値生成部は、前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から求めた推定ビットエラーレートをジッタ換算した評価値を生成する

請求項1に記載の信号品質評価装置。

【請求項5】

記録媒体からビット情報の再生信号を再生する再生部と、

前記再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号によるPRML復号処理を行って2値化データを復号する復号部と、

前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、

前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部と、を備えた再生装置。

【請求項6】

前記復号部では、ブランチメトリックの計算のために用いられる基準レベルが前記再生信号のレベルに応じて可変的に設定される適応型ビタビ検出器により最尤復号が行われる請求項5に記載の再生装置。

【請求項7】

ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算手順と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算手順と、

前記第1の演算手順および前記第2の演算手順での演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成手順と、を備えた

信号品質評価値生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、例えば記録媒体からの再生信号などに対しPRML (Partial Response Maximum Likelihood) による復号処理を行う場合に好適な信号品質評価装置、信号品質評価値生成方法、及びこのような信号品質評価装置を備えて情報の再生を行う再生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば記録媒体の一例としての光ディスクでいえば、CD (Compact Disc)、DVD (Digital Versatile Disc)、BD (Blu-ray Disc (登録商標)) が広く普及しているが、これらは高密度記録化の歴史を示すものでもある。

特にBDレベルの高密度記録となると、ビット検出方法としてパーシャルレスポンス最尤 (PRML) 検出とよばれる手法が用いる方法が一般的となってきた。

【0003】

公知のように、PRMLとは、パーシャルレスポンスという過程と最尤検出という技術を組み合わせた技術である。パーシャルレスポンスとは、1ビットの入力に対して、1ビットよりも長く出力を返す過程、すなわち、出力を複数の入力ビットで決定する過程のことをいい、特にブルーレイディスクなどの光ディスクでよく用いられるような、再生信号が、連続する4ビットの情報ビットの入力に対してこれらを順に1、2、2、1を乗じて

10

20

30

40

50

加算した信号として得られる過程は、 $PR(1, 2, 2, 1)$ と表現される。

また、最尤検出とは、二つの信号列間にパスメトリックとよばれる距離を定義して、実際の信号と想定されるビット系列から予想される信号との間の距離を調べて、その距離が最も近くなるようなビット系列を検出する方法である。なお、ここで、パスメトリックとは、同じ時刻での2つの信号の振幅差の二乗を全時刻にわたって加算した距離として定義される距離である。また、この距離を最小とするビット系列の探索には、ビタビ検出をもちいる。

これらを組み合わせたパーシャルレスポンス最尤検出は、記録媒体のビット情報から得られた信号をイコライザとよばれるフィルタでパーシャルレスポンスの過程となるように調整し、得られた再生信号と想定されるビット系列のパーシャルレスポンスとの間のパスメトリックを調べて、その距離が最も近くなるようなビット系列を検出する方法である。

【0004】

光ディスクの再生信号品質の評価方法としては、PRML検出原理に基づき、ビタビ検出器のパス選択の余裕度（パス選択マージン）を示す、メトリック差分（SAM値とも呼ばれる）の分布を用いる方法がすでに一般的になっている。

例えば下記の特許文献1, 2, 3, 4等で、従来の光ディスクの高密度記録時にもPRMLのエラーレートと良好な相関をもつ信号品質評価方法が示されている。

そのいずれにおいても、実際に使用されるPRMLのクラスにおいて、統計的にエラー発生頻度の高い幾つかのエラーパターンを抽出し、その各々に対し指標値を求め、それらを統合して指標値を構成している。

これは、エラーパターン毎に、メトリック差分の分布（分布平均値および分散）が異なるため、単一の分布として取り扱う事が出来ない理由による。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3857685号公報

【特許文献2】特許第3711140号公報

【特許文献3】特許第4750488号公報

【特許文献4】国際公開第2010/001588号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一方、従来の光ディスクからさらに線方向密度を上げ、例えばBD相当で記録層1層につき40GBを超えるような超高密度記録を行うことが検討されている。この場合には、チャンネルの周波数特性、特に高域成分の顕著な劣化がおり、再生信号の符号間干渉がさらに強まるため、より拘束長が長く、かつチャンネルの周波数特性に適合したPRMLクラスを新たに導入しなければ、十分な再生性能を確保できない。このとき、支配的なエラーパターンも再生チャンネルの周波数特性及び、PRMLのクラス変更に伴い、従来条件と変化する。

具体的には光学的振幅伝達関数(MTF)の高域カットオフのため、短マーク再生信号振幅は極度に低下し、最短マークだけでなく、二番目に短いマークの再生信号振幅もほとんど得られない。

【0007】

このため、従前の信号品質評価手法が適切とはいえない状況となっている。

従来は、PRMLの最尤復号でのエラーパターンは、ビット単位か、高々最短マークの1ビットシフトで理解できていた。すなわち、信号品質を表現するのに、これらのエラーパターンだけを考慮することで充分であった。

ところが、BD相当で40GBを超えるような超高密度記録条件では、上記の状況のため、PRMLの最尤復号でのエラーパターンとしては、記録マーク、スペースの極性反転をも含む、ブロック的な誤りが新たに多く発生するようになっている。そして全体のエラ

10

20

30

40

50

ーレートでこれらのエラーパターンの寄与が支配的にもなっている。ブロック的なエラーパターンは、エラー伝搬的性質を持つので、場合によっては10クロック区間以上の、非常に長い区間にわたってエラーが発生することもある。

このことから、例えば最短マークの1ビットシフト等のエラーパターンのみを検出して評価値を生成しても、実際のエラーレートを反映しているとはいいいにくい評価値になってしまう。

【0008】

そこで本開示では、高密度記録がより進んでも、高い対エラーレート相関、即ち高い精度をもちうる信号評価の手法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0009】

本技術に係る信号品質評価装置は、ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部とを備える。

パス選択のエラーが生ずるのは、パスメトリック差分が負値となる場合であるが、それは測定不能である。そこでパスメトリック差分の分布からパス選択エラーレート（パスマージエラーレート）を推定する。即ちパスメトリック差分が負値となる頻度である。これにパスマージ時のビット相違数から求めた平均ビットエラー数を乗じることで、ビットエラーレートを推定する。そのビットエラーレートから評価値を生成する。

20

この場合、あらかじめ特定したいいくつかのエラーパターンを対象に評価値を算出するものではなく、すべての起こりうるエラーパターンを網羅した評価値が得られる。

【0010】

上記した本技術に係る信号品質評価装置においては、前記第1の演算部は、パスメトリック差分の分布に近似した正規分布からパス選択エラーレートの推定値を求めることが考えられる。

30

パスメトリック差分の分布は距離の異なる非常に多くのエラーパターンの重ね合わせであり、非正規分布となる。しかし値がゼロに近い部分については、正規分布に比較的良く近似できる。この近似された正規分布からパスマージエラーレート（即ちパスメトリック差分が0未満となる出現頻度）を推定する。

【0011】

上記した本技術に係る信号品質評価装置においては、前記第2の演算部は、最尤パスと第2パスのパスメトリック差分の値が所定の閾値以下となる場合の最尤パスと第2パスのビット相違数を用いて平均エラービット数を求めることが考えられる。

パスメトリック差分（パス選択マージン：SAM値）およびビット相違数（パス選択エラービット数）はサンプル毎に求まる瞬時値である。一般的にパス選択マージン値（SAM値）が小さい場合、検出エラーに近いあるいは検出エラーを起こしたサンプルとみなすことが出来る。パス選択エラービット数についても、検出エラーに近いサンプルに対してその平均値を求める方が実際の検出エラー時の振る舞いに近い結果が得られると考えられる。そこでSAM値に対してある閾値以下のサンプルに対し、平均パス選択エラー数を求める。

40

【0012】

上記した本技術に係る信号品質評価装置においては、前記評価値生成部は、前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から求めた推定ビットエラーレートをジッタ換算した評価値を生成することが考えられる。

評価値をジッタ表現とすることで従来の評価値との値の互換性を確保できる。

50

【0013】

本技術に係る再生装置は、記録媒体からビット情報の再生信号を再生する再生部と、前記再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号によるPRML復号処理を行って2値化データを復号する復号部と、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部と、を備える。

10

即ち再生部と復号部を有する再生装置において、第1の演算部、第2の演算部、評価値生成部を備えた信号品質評価装置を搭載する。

【0014】

上記した本技術に係る再生装置においては、前記復号部では、ブランチメトリックの計算のために用いられる基準レベルが前記再生信号のレベルに応じて可変的に設定される適応型ビタビ検出器により最尤復号が行われることが考えられる。

即ち第1の演算部、第2の演算部、評価値生成部を備えた信号品質評価装置は、適応型ビタビ検出器での復号を行う場合にも用いられる。

【0015】

本技術に係る再生方法は、ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算手順と、前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算手順と、前記第1の演算手順および前記第2の演算手順での演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成手順と、を備える。

20

これによりエラーパターンを特定せずに、すべての起こりうるエラーパターンを網羅した評価値を算出する。

【発明の効果】

30

【0016】

本開示によれば、高密度記録の再生信号について、高い対エラーレート相関、即ち高い精度をもちうる信号評価の指標となる評価値が得られるという効果がある。

なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本技術の実施の形態の再生装置のブロック図である。

【図2】RF信号に対する最尤パスと第2パスの説明図である。

【図3】メトリック差分の分布を重ね合わせて示した説明図である。

40

【図4】評価値とエラーレートの相関の説明図である。

【図5】11ISIのエラーパターンの説明図である。

【図6】11ISIのエラーパターンのハミング距離と二乗ユークリッド距離の説明図である。

【図7】実施の形態の信号品質評価部のブロック図である。

【図8】実施の形態のメトリック差分の簡易化の説明図である。

【図9】実施の形態のSAM分布の説明図である。

【図10】実施の形態と比較例の実験結果の説明図である。

【図11】他の実施の形態の信号品質評価部のブロック図である。

【図12】実施の形態の適応型ビタビ検出器のブロック図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、次の順序で実施の形態の再生装置を説明する。なお再生装置1に搭載される信号品質評価部10が請求項という信号品質評価装置の例となる。

<1. 再生装置構成>

<2. メトリック差分を用いた評価値生成の一例>

<3. 信号品質評価部の構成及び動作>

<4. 信号品質評価部の他の構成例>

<5. 適応型ビタビとの組み合わせ>

<6. まとめ及び変形例>

10

【0019】

<1. 再生装置構成>

図1は実施の形態に係る信号品質評価装置（信号品質評価部10）を備えた再生装置1の構成例を示している。

この場合の再生装置1は、記録媒体の一例としての光ディスク90からの信号再生を行うとともに、その再生信号品質評価の指標となるための評価値d-M L S Eを求める構成とされる。

【0020】

再生装置1は、例えばリムーバブルメディアとされる光ディスク90からビット情報を再生する光ピックアップ2、光ピックアップ2で読み取られた信号を再生信号（R F信号）に変換するプリアンプ部3を備える。

20

また再生装置1は、再生信号（R F信号）について処理を行うA G C（Automatic Gain Control）部4、波形等化部5、A / D変換部6、P L L（Phase Locked Loop）部7を備える。

また再生装置1は、P R M L復号処理を行うために、P R（Partial Response）等化部8及び最尤復号部9を備え、さらに信号品質評価部10、光ディスクコントローラ部15を備える。

【0021】

再生される光ディスク90としては、例えばB D相当で33.4 G B容量を達成する高密度ディスクであったり、さらにB D相当で80 G B容量を達成する次世代高密度ディスクである。なお、ここでのB D相当とは、ブルーレイディスクの物理条件下において1つの記録層の容量が80 G Bとなるという意味である。

30

特に本実施の形態では、1つの記録層の容量が80 G B程度とされた、記録線密度が非常に高い記録媒体からの再生信号についても、適切な再生信号評価を行う指標が得られるようにしている。

【0022】

再生装置1において、光ピックアップ2は、対物レンズを介してレーザ光を光ディスク90の記録層に収束させ、その反射光を受光して、光ディスク90から読み出したビット情報を示すアナログ信号としての再生信号（R F信号）を生成する。

40

プリアンプ部3は、再生信号を所定のゲインで増幅してA G C部4に出力する。

A G C部4は、プリアンプ部3からの再生信号の振幅を、A / D変換部6からの出力に基づいて増幅又は減衰させて調整し、波形等化部5へ出力する。

波形等化部5は、再生信号の高域を遮断するL P F（Low Pass Filter）特性と、再生信号の低域を遮断するH P F（High Pass Filter）特性とを有しており、再生信号波形を必要な特性に整形してA / D変換部6に出力する。

【0023】

波形等化部5から出力された再生信号は、A / D変換部6でサンプリングされ、デジタルデータに変換される。

P L L部7は、A / D変換部6からの出力に基づいて、P L L処理により波形等化後の

50

再生信号に同期される再生クロックを生成する。A/D変換部6におけるサンプリングは、PLL部7で生成される再生クロックのタイミングで行われる。なお図示は省略しているが、再生クロックは、PRML復号のためPR等化部8や最尤復号部9、さらには信号品質評価部10、光ディスクコントローラ部15でも用いられる。

【0024】

デジタルデータ化された再生信号に対して、PR等化部8及び最尤復号部9によってPRML復号が行われ、復号結果としての2値化データDDが得られる。

PR等化部8は、チャンネルレスポンスを、例えばPR(1, 2, 2, 1)、PR(1, 2, 2, 2, 1)などのターゲットレスポンスに等化する。即ちデジタル再生信号に対して高域雑音の抑制及び意図的な符号間干渉の付加を行う。

10

また例えば光ディスク90としてBD相当40GB以上の高密度記録を考えた場合、PR等化部8としては、例えばPR(1, 2, 3, 3, 3, 2, 1)のターゲットレスポンスとする。

さらに光ディスク90としてBD相当80GB以上の高密度記録の場合を考えた場合、PR等化部8としては、より拘束長が長い、例えば11ISI(Inter-Symbol Interference: 符号間干渉)のPR(3, 6, 9, 13, 16, 17, 16, 13, 9, 6, 3)のターゲットレスポンスとする。

このPR等化部8によって等化処理が施された再生信号RF(EQ)は、最尤復号部9に供給される。

【0025】

20

最尤復号部9は、例えばビタビ検出器として構成される。

ビタビ検出は、所定の長さの連続ビットを単位として構成される複数のステートと、それらの間の遷移によって表されるブランチで構成されるビタビ検出器が用いられ、全ての可能なビット系列の中から、効率よく所望のビット系列を検出するように構成されている。

実際の回路では、各ステートに対してパスメトリックレジスタとよばれるそのステートにいたるまでのパーシャルレスポンス系列と信号のパスメトリックを記憶するレジスタ、および、パスメモリレジスタとよばれるそのステートにいたるまでのビット系列の流れ(パスメモリ)を記憶するレジスタの2つのレジスタが用意され、また、各ブランチに対してはブランチメトリックユニットとよばれるそのビットにおけるパーシャルレスポンス系列と信号のパスメトリックを計算する演算ユニットが用意されている。

30

【0026】

このビタビ検出器では、さまざまなビット系列を、上記のステートを通過するパスのひとつによって一対一の関係で対応付けることができる。また、これらのパスを通過するようなパーシャルレスポンス系列と、実際の信号(再生信号)との間のパスメトリックは、上記のパスを構成するステート間遷移、すなわち、ブランチにおける前述のブランチメトリックを順次加算していくことで得られる。

さらに、上記のパスメトリックを最小にするようなパスを選択するには、この各ステートにおいて到達する2つ以下のブランチが有するパスメトリックの大小を比較しながら、パスメトリックの小さいパスを順次選択することで実現できる。この選択情報をパスメモリレジスタに転送することで、各ステートに到達するパスをビット系列で表現する情報が記憶される。パスメモリレジスタの値は、順次更新されながら最終的にパスメトリックを最小にするようなビット系列に収束していくので、その結果を出力する。

40

【0027】

最尤復号部9による復号結果として得られる2値化データDDは光ディスクコントローラ部15に出力される。

光ディスクコントローラ部15では、2値化データDDについてデコード処理、エラー訂正処理等を行って光ディスク90からの再生データを復調する。

信号品質評価部10は、詳細は後述するが、最尤復号部9から各時点で逐次、パス選択マージン(SAM)と、パス選択エラービット数を入力して、再生信号品質評価のための

50

評価値 $d - M L S E$ を生成し、評価値 $d - M L S E$ を光ディスクコントローラ部 15 に出力する。光ディスクコントローラ部 15 では、評価値 $d - M L S E$ により、再生信号品質の評価を行うことができる。

【0028】

< 2. メトリック差分を用いた評価値生成 >

ここで本実施の形態の信号品質評価部 10 の構成の説明に先立ち、メトリック差分を用いた指標値のこれまでの生成手法の概要や高密度記録への対応の技術的事情について説明しておく。

【0029】

10

既に公知のように、PRML によるビット検出手法は、正しいビット系列から得られるパーシャルレスポンス系列と再生信号とのユークリッド距離（すなわち、正しいビット系列に対するパスメトリック）と、誤りのあるビット系列から得られるパーシャルレスポンス系列と再生信号とのユークリッド距離（つまり誤りのあるビット系列に対するパスメトリック）の大小関係を比較する。そして、より近い、すなわちパスメトリックの値のより小さいものをより確かなパスとして残し、この操作の繰り返しで最終的に生き残ったパス（最尤パス）を検出結果とするアルゴリズムとなる。

【0030】

このようなアルゴリズムによると、最終的な生き残りパスの選択候補となった、パスメトリックの値の小さい上位 2 つのパス（最尤パス P_a と第 2 パス P_b とする）について、それらのパスメトリックの差が大きければ、生き残ったパスはより確からしく、小さければより紛らわしい、つまりは検出誤りの可能性が大きい、ということになる。この点について図 2 を参照して説明する。

20

【0031】

図 2 A、図 2 B は、最尤パス P_a と第 2 パス P_b と、実際の再生信号（PR 等化部 8 で PR 等化された再生信号 $R F (E Q)$ ）との関係を示した図である。

なお、ここでは図示及び説明の簡略化のため、PR (1, 2, 2, 1) の場合で示している。

この図 2 A、図 2 B において、縦軸の「+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3」の各値は、PR (1, 2, 2, 1) において想定される各基準レベルの値を示している。

30

ここで、図示する最尤パス P_a と第 2 パス P_b とは、最終的に再生信号 $R F (E Q)$ との比較が行われる 2 つのパスであるとみることができる。つまりは、最尤パス P_a に対するパスメトリックの値と、第 2 パス P_b に対するパスメトリックの値が比較され、より値の小さい方のパスが生き残りパスとして選択されるというものである。

なお、パスメトリックとは、この図 2 で言えば、図中黒丸により示す各サンプリングタイミングで得られる再生信号 $R F (E Q)$ の各サンプリング値に対する、最尤パス P_a （或いは第 2 パス P_b ）における対応するサンプリングタイミングで得られるそれぞれの値とのユークリッド距離の和、すなわちブランチメトリックの和である。

【0032】

そして、図 2 A と図 2 B とを比較すると、図 2 A の場合は最尤パス P_a と再生信号 $R F (E Q)$ とのユークリッド距離が十分に近く、逆に第 2 パス P_b と再生信号 $R F (E Q)$ のユークリッド距離は十分に遠い関係となっている。つまり、最尤パス P_a に対するパスメトリックの値が十分に小さく、第 2 パス P_b に対するパスメトリックの値が十分に大きなものとなっているもので、これによってこの場合の検出パスとなる最尤パス P_a は、より確からしいパスであると判断できる。

40

これに対し、図 2 B では、図 2 A の場合よりも最尤パス P_a と再生信号 $R F (E Q)$ とのユークリッド距離が拡大して、第 2 パス P_b と再生信号 $R F (E Q)$ のユークリッド距離が近づく関係となっている。つまりこの場合、最尤パス P_a に対するパスメトリックの値は図 2 A の場合よりも大きくなり、逆に第 2 パス P_b に対するパスメトリックの値がより小さくなることで、この場合の検出パスとしての最尤パス P_a の確からしきは低下する

50

。換言すれば、この場合は他方の第2パスP bの確からしさが増すこととなって、この第2パスP bの方が最尤のパスである可能性が高くなる。従って最尤パスP aとしての検出パスは、第2パスP bとして示されるパスに対して誤検出されたパスである可能性が高くなる。

【0033】

このように、最尤パスP aに対するパスメトリックの値が、第2パスP bに対するパスメトリックの値よりも充分に小さくなる場合（両パスメトリックの差が大きい場合）には、より確からしいビット検出が実行されていると判断できる。

また、逆に最尤パスP aに対するパスメトリックの値がより大きくなって、第2パスP bに対するパスメトリックの値が小さくなる程（両パスメトリックの差が小さくなる程）

10

、最尤パスP aとしての検出パスは誤りである可能性が高いと判断することができる。
PRMLの手法が採られる場合の検出精度（再生信号品質）は、このようにして最尤パスP aに対するパスメトリックの値と、第2パスP bに対するパスメトリックの値との差、すなわちメトリック差分を求めることで見積もることができる。

【0034】

ここで、このようなメトリック差分（SAM）を以下のように定義する。

【数1】

$$SAM = \sum_i (PB_i - R_i)^2 - \sum_i (PA_i - R_i)^2$$

20

なお「PB_i」「PA_i」「R_i」は、それぞれ同じサンプリングタイミングでの第2パスP b、最尤パスP a、再生信号RF（EQ）の値を表している。

すなわち、この場合のメトリック差分（SAM）は、第2パスP bに対するパスメトリックの値から、最尤パスP aに対するパスメトリックの値を減算した値として定義される。

【0035】

このようなメトリック差分（SAM）は、上式右辺の最尤パスP aに対するパスメトリックの値が「0」となるとき、すなわち最尤パスP aと再生信号RF（EQ）とが完全に一致したときに最大値が得られる。つまり、このメトリック差分（SAM）は、その値が大きい程検出精度が高い（つまり信号品質が良好である）ことを示す情報となる。

30

また従ってSAM値はパス選択マージンの値ともなる。

【0036】

また先の図2より、このように最尤パスP aと再生信号RF（EQ）が完全に一致するということは、この場合の第2パスP bに対するパスメトリックは、最尤パスP aと第2パスP bとのユークリッド距離となることがわかる。従って上記のようなメトリック差分（SAM）の最大値としては、最尤パスP aと第2パスP bとのユークリッド距離の値となる。

【0037】

また、最小値は、最尤パスP aに対するパスメトリックの値と第2パスP bに対するパスメトリックの値とが同値となる場合の「0」であり、すなわち図2の場合で言えば最尤パスP aと第2パスP bとの間で、再生信号RF（EQ）がちょうど中間となるような位置で得られている場合である。つまり、このメトリック差分（SAM）の値「0」によっては、最尤パスと第2パスの何れもが同等に確からしいことを示すものであり、従って最も誤りの可能性が高いことを示していることになる。

40

【0038】

これらのことからメトリック差分（SAM）は、最尤パスP aと第2パスP bとのユークリッド距離の値（最大値）に近いほど検出精度が高いことを示し、逆に「0」（最小値）に近いほど検出精度が低く、誤りの可能性が高いことを示す情報となることがわかる。

【0039】

50

このように上記〔数1〕によるメトリック差分（SAM）のような、最尤パスPaに対するパスメトリックの値と、第2パスPbに対するパスメトリックの値との差分の値によれば、PRML復号処理におけるエラー発生率を見積もることができる。

例えば、このような最尤パスPaに対するパスメトリックの値と第2パスPbに対するパスメトリックの値との差分としてのメトリック差分の値について、例えばその分散値などの統計的な情報を得ることで、エラーレートを見積もることができる。

【0040】

ところで、PRMLの手法を採る場合においては、実際に検出エラーとなりうる最尤パスと第2パスとの相違パターン（エラーパターン）が、或る程度限られたものとなるという事情が、比較的短いISIの場合にはあった。

一例を挙げれば、第2パスのビット系列のパターンが、最尤パスのビット系列のパターンに対してエッジが1ビット分シフトするなどの1ビットエラーや、最短マークである2Tマークの消滅などによる2ビットエラーなどが挙げられる。

【0041】

光ディスクの再生についてPRML復号が採用された初期の段階では、実際にエラーとして現れるエラーパターンは、ほぼ100%1ビットエラーに限定されていた。従って、この唯一のエラーパターンである1ビットエラーのみについてメトリック差分の分布を求めることで、適正に信号品質を評価することができた。

しかしながら、その後、光ディスクの高記録密度化が進むにつれて、実際のエラーとして現れ得るエラーパターンが単一でなく、複数のパターンがエラーに寄与するようになってきた。

そこで、実際に使用されるPRMLのクラスにおいて、統計的にエラー発生頻度の高い幾つかのエラーパターンを抽出し、その各々に対し評価値を求め、それらを統合して評価値を構成する手法が検討された。

これは、エラーパターン毎に、メトリック差分の分布（分布平均値および分散）が異なるため、単一の分布として取り扱う事が出来ない理由による。

【0042】

図3には、それぞれ異なるユークリッド距離を持つエラーパターンについてのメトリック差分（SAM）の分布例を示す。なおこの図において、縦軸はサンプルの頻度、横軸はメトリック差分（SAM）の値を示している。

この図3においては、例えば3つのエラーパターンPTk（kは1～3）が実際のエラー発生に主に寄与するものとし、それらのメトリック差分（SAM）の分布の例を示している。

例えば、図中SAM1として示す分布は、最尤パスPaのビット系列と第2パスPbのビット系列とで相違しているビット数が1ビット分となる所謂1ビットエラーに該当するエラーパターンPT1についてのメトリック差分（SAM）の分布であるとする。また、SAM2として示す分布は例えば最短マークシフト等による2ビットエラーに該当するエラーパターンPT2についてのメトリック差分（SAM）の分布、さらにSAM3は3ビットエラーに該当するエラーパターンPT3についてのメトリック差分（SAM）の分布などとして例示できる。

なお、図中「SAM全体」と示す分布は、これら3つの分布SAM1～SAM3についての重ね合わせを示している。

【0043】

この際、上記のように最尤パスPaと第2パスPbとで相違するビット数が異なることで、それぞれのエラーパターンPT1～PT3では、最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離が異なるものとなっている。

ここで、これら最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離は、各パスが辿る値どうしの差の2乗を求めた上で、それらの和を求めることで計算できる。

従ってこの際、各エラーパターンPTkでのユークリッド距離「 d_k^2 」は、最尤パスPa、第2パスPbにおける同じサンプリングタイミングでの値をそれぞれPA_i、PB_iと

10

20

30

40

50

すると、
【数 2】

$$d_k^2 = \sum_i (PA_i - PB_i)^2$$

で表すことができる。

【0044】

また、メトリック差分（SAM）の分布がガウス分布であるとの仮定の下では、各分布の平均値は、そのエラーパターンPTkでの最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離 d_k^2 の値となる。つまり、このようにメトリック差分（SAM）の分布がガウス分布であるとすれば、分布の平均値は最も良好な信号品質となるときのメトリック差分（SAM）の値となっているはずである。

10

そして、このように最も良好な信号品質となるときのメトリック差分（SAM）の値となるのは、先の【数 1】によるメトリック差分（SAM）の計算式によれば、最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離の値である。

ここでは、エラーパターンPT1での最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離をユークリッド距離 d_1^2 とし、エラーパターンPT2、エラーパターンPT3での最尤パスPaと第2パスPbとのユークリッド距離を、それぞれユークリッド距離 d_2^2 、ユークリッド距離 d_3^2 と表記している。

20

【0045】

この図3において横軸に示すメトリック差分（SAM）の値が「0」となる部分は、先のメトリック差分（SAM）についての説明から理解されるように、最尤パスPaに対するパスメトリックと第2パスPbに対するパスメトリックの値とが同値となる部分であり、従って最も検出誤りの確率が高いところである。

そして、このメトリック差分（SAM）の値が「0」となる部分を超える（下回る）部分は、実際に検出エラーとなる部分を示し、PRMLにおいてこの部分は観測不能な部分となる。つまり、このようにメトリック差分（SAM）の値が「0」を超えて負の値となるということは、最尤パスPaに対するパスメトリックの値よりも第2パスPbに対するパスメトリックの値の方が小さくなることを意味するが、PRMLの検出手法では、パスメトリックの値が最小となるパスを最尤パスとして検出するので、このようにメトリック差分（SAM）の値が負の値となることはあり得ない。従って、この検出エラーとなる部分は、実際に観測することが不可能となる。

30

【0046】

このように、PRMLでは検出エラーとなる部分を実際に観測することができないことから、一例として以下のような考えに基づき評価値を得ることが検討された。

図4Aは、或るエラーパターンPTkでのメトリック差分（SAM）の分布（SAMk）を示している。

なお、この図も図3と同様に縦軸にはサンプルの頻度、横軸にはメトリック差分（SAM）の値をとっている。

40

この図に示されるように、メトリック差分（SAM）の値について所定の閾値（Th_k）を設定し、これを下回るメトリック差分（SAM）の値の出現頻度（F_k）を求めることで、エラーレートを見積もるものとする。

【0047】

このような閾値Th_kを下回るメトリック差分（SAM）の値の出現頻度F_kは、メトリック差分（SAM）<0となる部分（ビットエラーレートBER）と相関関係にある。

すなわち、例えば信号品質が悪化したとして、ビットエラーレートBERが上昇したとすると、そのときの分布SAMkは、例えば図4Aに示すように裾野が比較的広がったような分布となるが、これに伴っては、上記した出現頻度F_k（図中F_kの部分の面積）も

50

増加する傾向となる。つまり、ビットエラーレート bER の上昇に伴い、出現頻度 F_k も上昇する。

また一方、図 4 A の場合よりも良好な信号品質とされビットエラーレート bER が低下する場合には、例えば図 4 B に示されるように分布 SAM_k はより先鋭な形状となる。この場合には出現頻度 F_k も減少し、従ってビットエラーレート bER の低下に応じて出現頻度 F_k の値は低下することがわかる。

このように閾値 Th_k を下回るメトリック差分 (SAM) の値の出現頻度 F_k により、ビットエラーレート bER と相関する指標が得られる。

【0048】

例えば評価値算出の対象とするエラーパターン $PT1$ 、 $PT2$ 、 $PT3$ の各メトリック差分 (SAM) の分布 ($SAM1$ 、 $SAM2$ 、 $SAM3$) について、それぞれ適切に閾値 Th_k を設定し、閾値 Th_k を下回るメトリック差分 (SAM) の値の出現頻度 F_k を検出し、それらを総合すれば、ほぼ実際のビットエラーレートに対して相関性の高い評価値が得られるものとなる。

【0049】

なお、以上は、特定のエラーパターン検出を行い、そのメトリック差分の分布を求めて、評価値を算出する考え方の一例である。

即ち、起こりうるエラーパターンを数種類に限定し、パターン毎に求められる推定エラーレートを足し合わせることで全体エラーレートを推定し、信号品質の定量化を行っていた。

ところが、さらなる高密度記録の進行により、この手法でも対応できない事情が生じた。高密度記録に対応するために長 ISI 化も進行している。

例えば 9 ISI 以上などの長 ISI でのビタビ検出では、検出距離の競合するパターンが非常に数多く存在し、その結果として実際に非常に多くのエラーパターンが出現する状況となっている。

エラーパターン毎に演算を行う方法では一部のサンプルのみでしか評価できないため、精度の悪化が懸念される状況となっている。

【0050】

例えば図 5、図 6 は次世代の高密度ディスクシステムで採用が検討されている 11 ISI である $PR(3, 6, 9, 13, 16, 17, 16, 13, 9, 6, 3)$ のエラーパターンを示している。

図 5 は、24 ビット区間の各種のエラーパターンとして、二乗ユークリッド距離の小さい順にパターン番号を付してパターン番号 1 ~ 32 のエラーパターンを示している。各エラーパターンについては、二乗ユークリッド距離、ハミング距離 (エラービット数)、エラーパターンを示している。ここではパターン番号 32 までしか示していないが、パターン番号 33 以降も存在する。

図 6 はパターン番号 500 までの範囲で、各エラーパターンのハミング距離と二乗ユークリッド距離を示している。

【0051】

この図 5、図 6 に見られるように、11 ISI の様な長拘束長のビタビ検出器では、異なるハミング距離 (ビット相違 = エラーパターン) でありながら、ビタビ検出に置いて競合する (二乗ユークリッド距離が近い) パターンが数多く (数十から数百) 存在する。

また度数の観点でも明確な閾値を設定することが出来ない、ロングテール状に分布する状況となっている。

すると、いくつかの支配的なエラーパターンを対象とする方式を採ると、新たなエラーパターンの追加が追いつかず、もしくは支配的なエラーパターンが特定しきれず、実際には対応できないような状況となっている。この状況は将来的に拘束長がさらに長くなることによって続くと考えられる。

そこで、本実施の形態では、エラーパターンを特定して処理を行うという考え方をやめ、あらゆるエラーパターンに対応し、かつ実際のエラーレートに高い相関が得られる手法

10

20

30

40

50

を提案する。

以下説明していく本実施の形態の信号品質評価部 10 では、エラーパターンを特定せずに再生信号品質の指標となる評価値 $d-MLSE$ を算出できるようにしている。

【0052】

< 3. 信号品質評価部の構成及び動作 >

図 7 に信号品質評価部 10 の構成を示している。信号品質評価部 10 は分布算出部 21、マージエラー推定部 22、平均値算出部 23、ビットエラー推定部 24、換算部 25 を有する。

信号品質評価部 10 に対しては最尤復号部 9（ビタビ検出器）の内部演算結果から、パス選択マージン（メトリック差分（SAM））およびパス選択エラービット数が供給される。

【0053】

分布算出部 21 には最尤復号部 9 から瞬時値としてのパス選択マージン（メトリック差分（SAM））が逐次供給される。分布算出部 21 は SAM 値の分布（ヒストグラム）を求める。

【0054】

ここでメトリック差分（SAM）の簡易化について触れておく。

SAM 値は本来は [数 1] に示したように最尤パス Pa と第 2 パス Pb とのメトリック差分だが、これを求めるのは多くのリソースが必要となる。そこで仮判定で簡易化した SAM 値を得るようにする。

図 8 にステート S00, S01, S10, S11 を遷移する最尤パス Pa と第 2 パス Pb の例を示している。

$\Gamma_{i,j}$ はブランチ i、時刻 j のパスメトリックである。

$\Lambda_{i,j}$ はステート i、時刻 j のステートメトリックである。

時刻 j の簡易 SAM (δ_j) の定義を [数 3] に示す。

B_i はステート i に遷移するブランチの集合である。

【0055】

【数 3】

$$\delta_j = \min_{i \neq k, k \in B_{i_m}} \{|\Gamma_{i,j} - \Gamma_{k,j}|\}$$

$$i_m = \underset{i}{\operatorname{argmin}} \Lambda_{i,j} : \text{最小ステート (仮判定)}$$

【0056】

なお、このような簡易 SAM を用いることは一例に過ぎない。本来の SAM 値を用いても良いことは当然であるし、簡易的な SAM 値の算出手法は他にも各種存在する。

図 7 の分布算出部 21 は、入力された SAM 値（簡易 SAM 値の場合もある）について各値の度数をカウントし、分布を求める。

図 9 に SAM 分布の例を示している。横軸が SAM 値、縦軸が出現頻度である。なお縦軸は対数スケールで示している。●が各 SAM 値の度数である。

上述のように SAM 値がゼロに近い場合ほど、エラーの可能性は高くなる。

【0057】

図 7 の信号品質評価部 10 における平均値算出部 23 には、最尤復号部 9 から瞬時値としてのパス選択エラービット数が逐次供給される。平均値算出部 23 はパス選択エラービット数の平均値（平均エラービット数 η ）を算出する。

パス選択エラービット数は、パス選択エラーがあったときにエラーとなるビットの数であり、即ちパスメモリに記憶された最尤パス Pa と第 2 パス Pb のビット系列で相違しているビットの数といえる。

【0058】

平均パスメモリビット相違数を平均エラービット数 η とする。

パスマージあたりの平均エラービット数 η は、時刻 j のビット相違数 η_j から、次のように表される。

【0059】

【数4】

$$\eta_j = N_1(Y_{i,j} \wedge Y_{k,j})$$

$$\eta = \langle \eta_j \rangle = \sum_j^N \frac{\eta_j}{N}$$

10

【0060】

$y_{i,j}$ はブランチ i 、時刻 j のパスメモリビット列（パス選択情報）である。

$N_1(\quad)$ はバイナリ表現でのビット 1 の数を求める関数である。

【0061】

図7の信号品質評価部10におけるマージエラー推定部22は分布算出部21が算出したSAM分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める演算を行う。即ち、SAM分布のうちSAM値がゼロに近い領域を正規分布とみなして誤差関数により推測する演算を行う。

20

分布算出部21により例えば図9のようなSAM分布が得られるが、SAM分布は距離（平均、分散）の異なる非常に多くのエラーパターンの重ね合わせであり、非正規分布である。

一方、信号評価のために求めたいのは、SAM値の負の確率の総和である。しかし先に述べたようにSAM値の負の領域は測定不能である。

ここでクリティカル（SAM値がゼロに近い）部分については、正規分布に比較的良く近似できる。そこで、SAM値の小さい領域を切り取って、正規分布でフィッティングする。これが図9に実線で示す正規分布の曲線（ $N[\rho, \mu, \sigma^2]$ ）である。

この近似された正規分布からパスマージエラーレート（ $SAM < 0$ の出現頻度）を推定する。このエラーレートを実際のエラー率と等しいと推定する。

30

具体的には、推定パスマージエラーレート $spmER$ を次の【数5】の演算で求める。

【0062】

【数5】

$$spmER = \frac{\rho}{2} * erfc\left(\frac{\mu}{\sqrt{2\sigma^2}}\right)$$

【0063】

ρ はSAM分布の全体の面積（●の値の積分値）を“1”に正規化した場合の、正規分布曲線で規定される面積の割合である。

μ は正規分布の平均値、 σ は標準偏差である。

40

$erfc(\quad)$ は相補誤差関数である。

【0064】

図7のビットエラー推定部24は、マージエラー推定部22の演算結果と平均値算出部23の演算結果から信号品質評価値としての推定ビットエラーレート $sbER$ を求める。本実施の形態では、さらに信号品質評価値として推定ビットエラーレート $sbER$ をジッタ換算した評価値 $d-MLSE$ を出力する。

このためにビットエラー推定部24及び換算部25が評価値生成部として機能する。

【0065】

ビットエラー推定部24には、マージエラー推定部22からは上述の推定パスマージエラーレート $spmER$ が供給され、平均値算出部23からは平均エラービット数 η が供給

50

される。ビットエラー推定部 24 は、推定パスマージエラーレート s_{pmER} に平均エラービット数 η を乗じることで、ビットエラーレートを推定する。即ち推定ビットエラーレート s_{bER} は、

【0066】

【数6】

$$sbER = \eta * spmER$$

として求める。

【0067】

このように得られた推定ビットエラーレート s_{bER} は、換算部 25 に供給される。

換算部 25 は、最終的な信号評価値として、推定ビットエラーレート s_{bER} からジッタ換算した評価値 $d-MLSE$ を次のように求める。

【0068】

【数7】

$$d-MLSE \equiv \frac{1}{2\sqrt{2}erfc^{-1}(2sbER)}$$

【0069】

この演算によって得られた評価値 $d-MLSE$ が図 1 の光ディスクコントローラ部 15 に供給される。

【0070】

図 10 は実験結果例を示している。BD 相当で 80GB 容量の次世代ディスクでの実験結果である。縦軸はエラーレート、横軸は評価値で、理論曲線は理論上のエラーレートと評価値の関係を示す。

ここで●は実施の形態の方式で得られた評価値 $d-MLSE$ の値とエラーレートを示している。○は比較例として、先に述べたようにいくつかの特定したエラーパターン（6 種類）を用いて評価値を求める方式の場合の、評価値の値とエラーレートを示している。

【0071】

比較例の場合、推定エラーレートが過小評価される。つまり評価値に対し実測エラーレートが高くなる。また一部の振る舞いから全体を推定する関係で、相関が悪化してしまう。即ちばらつきが大きくなる。

一方本実施の形態の方式の評価値 $d-MLSE$ の場合、検出器が複雑化（拘束長が大きくなり、内部状態が増える）しても、すべてのエラーパターンが網羅されるため、推定値と実測値が非常によく一致し、相関も改善する結果が得られている。

以上のように実施の形態の信号品質評価部 10 では、比較的簡単な演算で、精度の高い評価値 $d-MLSE$ を得ることができている。

【0072】

ところで図 7 には、信号品質評価部 10 の構成においてハードウェア（H/W）に担わせる部分と、ソフトウェア（S/W）に担わせる部分を示している。

この場合、分布算出部 21、平均値算出部 23 をハードウェアで構成し、マージエラー推定部 22、ビットエラー推定部 24、換算部 25 はソフトウェア（ファームウェア）で実現する例を示している。

【0073】

最尤復号部 9（ビタビ検出器）の内部でのパス選択マージン（SAM）の演算とその分布（ヒストグラム）の計測、及びパス選択エラービット数の演算及びその平均値の演算はそれぞれチャネルクロック相当のレートが必要となるため、リアルタイム処理を実現するためにはハードウェアで実装するのが望ましい。

一方、誤り数推定（マージエラーおよびビットエラー）以降の演算については、統計処理後の結果を用いるためスループットは低くてよいものの、対数や誤差関数などの複雑な

10

20

30

40

50

関数を用いたり、二次関数へのフィッティング等の高度な演算処理が必要となる。従ってこれらはソフトウェアでの実装が適していると考えられる。

もちろんこれは一例である。信号品質評価部10の全てをハードウェアで実装したり、全てをソフトウェアで実装することも可能である。

【0074】

<4. 信号品質評価部の他の構成例>

図11に信号品質評価部10の他の構成例を示す。なお図7と同一部分については同一符号を付して説明を省略する。

この例では、図7の構成に加えて閾値判定部26を有する。この閾値判定部26は、パス選択マージン(SAM)を入力し、SAM値が所定の閾値 t_h 以下であるか否かを確認する。そしてSAM値が閾値 t_h 以下でない場合、イネーブル信号 e_n を平均値算出部23に出力する。

平均値算出部23は、イネーブル信号 e_n が供給されたタイミングのパス選択エラービット数は、平均値を求めるためのサンプルから除外する。

【0075】

図9に閾値 t_h の例を示した。閾値 t_h は固定値でもよいし可変値でもよい。

例えば閾値 t_h は、それ以下であれば検出マージンが小さいと考えられる値を設定すればよい。また等化PRクラスから求まる最小ユークリッド距離等の確定的な値を用いても良い。さらにパス選択マージンの分布を見ながら得られる適応的な値を用いてもよい。例えば分布の最頻値とするなどである。

【0076】

パス選択マージン(SAM)およびパス選択エラービット数はサンプル毎に求まる瞬時値である。

一般的にパス選択マージン(SAM)が小さい場合、検出エラーに近い、あるいは検出エラーを起こしたサンプルとみなすことが出来る。

パス選択エラービット数についても、検出エラーに近いサンプルに対してその平均値を求める方が実際の検出エラー時の振る舞いに近い結果が得られると考えられる。

そのため、閾値 t_h を設定し、SAM値に対して閾値 t_h 以下のサンプルに対し、平均パス選択エラー数を求めるようにする。

このようにサンプルを選別することで計測結果の信頼度を高める。ひいては最終的な評価値 $d-MLSE$ の精度も向上が期待できる。

【0077】

<5. 適応型ビタビとの組み合わせ>

図12に、適応型ビタビ検出器を用いた場合の最尤復号部9の構成を示している。最尤復号部9を適応型ビタビ検出器とした場合も、本実施の形態の信号品質評価部10は好適である。適応型ビタビ検出器については例えば特許第4622632号公報に開示されている。

【0078】

図12の最尤復号部9は、PR等化部8からの再生信号 $RF(EQ)$ から、各ブランチに対してブランチメトリックを計算するブランチメトリック計算ユニット(BMC)32と、ブランチメトリックを取り込んでブランチを比較してパスの選択を行いパスメトリックの更新を行うパスメトリック更新ユニット(ACS)33と、選択されたパス情報に従いパスメモリの更新を行うパスメモリ更新ユニット(PMEM)34を備える。

そして適応型のビタビ検出動作の実現のため、再生信号 $RF(EQ)$ のレベルに応じた基準レベルを生成するための適応型基準レベル生成回路35が備えられている。

【0079】

この場合、ブランチメトリック計算ユニット32は、PR等化部8からの再生信号 $RF(EQ)$ の値と、適応型基準レベル生成回路35から設定される各基準レベルの値(基準

10

20

30

40

50

レベルデータ）とに基づき、各ブランチに対応するブランチメトリックを計算する。

【0080】

適応型基準レベル生成回路35は、再生信号RF(EQ)とパスメモリ更新ユニット34からの2値化データDDとに基づき、ブランチメトリック計算ユニット32に設定されるべき基準レベルデータを生成する。

この場合の適応型基準レベル生成回路35には、採用されるPRのクラスに対応して設定される基準レベルの数xに応じて設けられたx個のローパスフィルタが設けられる。そして、これらのローパスフィルタに対し、再生信号RF(EQ)の値を、2値化データDDのパターンに応じて分配して入力し、これによって基準レベルごとに再生信号RFの値を平均化する。その結果が基準レベルデータとして出力される。

10

【0081】

このように実際の再生信号RFに適応した基準レベルデータが得られることで、そのPRのクラスで想定される理想的な再生信号RF(EQ)が得られなかった場合にも、ブランチメトリック計算ユニット32にて計算されるブランチメトリックとして適正な値を得ることができ、これによって2値化データDDの信頼性の向上を図ることができる。

【0082】

実施の形態の信号品質評価部10が、このような適応型ビタビ検出器と組み合わせられて用いられる場合、ビタビ検出器の内部基準レベルが入力信号に応じて変化し、その結果検出時のユークリッド距離も変化する状況になっている。

特許第4622632号公報に開示されている信号評価手法では、このような状況において評価値の精度(対ビットエラー演算)を維持するために追加の演算が必要となっている。

20

これに対して上述の信号品質評価部10の場合、メトリックの差分として定義されるパス選択マージン(SAM)の演算時に適応ビタビでの変化分が既に織り込まれており、以降の演算でユークリッド距離による正規化を必要としない構成となっている。このため、特別な演算の導入なしに適応ビタビとの組み合わせが可能であり、より簡易な構成で精度の高い評価値生成が可能となっている。

【0083】

<6. まとめ及び変形例>

30

実施の形態の信号品質評価部10は、ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスPaと二番目に尤度の高い第2パスPbのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値(推定パスマージエラーレートspMER)を求めるマージエラー推定部22(第1の演算部)を備える。また信号品質評価部10は、最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスPaと第2パスPbのビット相違数(パス選択エラービット数)から、誤検出における平均エラービット数を求める平均値算出部23(第2の演算部)を備える。さらに信号品質評価部10は、マージエラー推定部22の演算結果である推定パスマージエラーレートspMERと、平均値算出部23による演算結果である平均エラービット数ηから、推定ビットエラーレートsbERを求め、推定ビットエラーレートsbERに応じた評価値d-MLSEを生成する評価値生成部(ビットエラー推定部24及び換算部25)とを備える。

40

このような構成によれば、あらかじめ特定したいいくつかのエラーパターンを対象に評価値を算出するものではなく、すべての起こりうるエラーパターンを網羅した評価値が得られる。これにより簡易な演算で、より精度の高い(実エラーレートと相関の高い)信号評価が可能となる。特にエラーパターンを限定しないため、起こりうるエラーパターンが多様な再生処理系に対して非常に有効である。

また、エラーパターンを特定するものではないため、エラーパターンを判定するパターンフィルタも不要である。そして処理上の計測としては分布算出部21の度数カウンタが必要となるのみである。従って構成も複雑化しない。特に拘束長が長くなることに応じて

50

回路規模が大規模化するといったことも生じない。

また信号品質の評価値となる推定ビットエラーレート $s b E R$ 、或いはその換算値である評価値 $d - M L S E$ の算出過程で距離演算が不要である。従って任意の $P R$ クラスに対応できる構成でもある。

【0084】

実施の形態の信号品質評価部 10 は、マージエラー推定部 22（第 1 の演算部）は、パスメトリック差分の分布に近似した正規分布からパス選択エラーレートの推定値（推定パスマージエラーレート $s p m E R$ ）を求めるようにしている（図 9 参照）。

パスメトリック差分の分布は距離の異なる非常に多くのエラーパターンの重ね合わせであり、非正規分布となる。しかし値がゼロに近い部分については、正規分布に比較的良く近似できる。この近似された正規分布からパスマージエラーレート（即ちパスメトリック差分が 0 未満となる出現頻度）を推定する。これにより簡易な演算手法で精度の高いパスマージエラーレートを得ることが可能となる。

【0085】

実施の形態において図 11 で示した構成の信号品質評価部 10 は、平均値算出部 23（第 2 の演算部）は、最尤パスと第 2 パスのパスメトリック差分の値が所定の閾値以下となる場合の最尤パスと第 2 パスのビット相違数を用いて平均エラービット数を求める。

パスメトリック差分（パス選択マージン： $S A M$ 値）およびビット相違数（パス選択エラービット数）はサンプル毎に求まる瞬時値である。一般的にパス選択マージン値（ $S A M$ 値）が小さい場合、検出エラーに近いあるいは検出エラーを起こしたサンプルとみなすことが出来る。パス選択エラービット数についても、検出エラーに近いサンプルに対してその平均値を求める方が実際の検出エラー時の振る舞いに近い結果が得られると考えられる。そこで $S A M$ 値に対してある閾値 $t h$ 以下のサンプルに対し、平均パス選択エラー数を求める。これにより平均エラービット数の精度を上げ、最終的な評価値の精度も向上が期待できる。

【0086】

実施の形態の信号品質評価部 10 は、推定ビットエラーレート $s b E R$ をジッタ換算した評価値 $d - M L S E$ を生成して出力している。

このように評価値をジッタ表現とすることで従来の評価値との値の互換性を確保でき、本実施の形態の信号品質評価部 10 の再生システムへの組み込みが容易となる。

なお推定ビットエラーレート $s b E R$ も評価値としての性質を持つため、評価値 $d - M L S E$ に代えて、或いは評価値 $d - M L S E$ とともに、推定ビットエラーレート $s b E R$ を評価値として出力してもよい。

【0087】

実施の形態の再生装置 1（図 1 参照）は、光ディスク 90（記録媒体）からビット情報の再生信号を再生する再生部（2, 3, 4, 5, 6）と、再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号による $P R M L$ 復号処理を行って 2 値化データ $D D$ を復号する復号部（ $P R$ 等化部 8 及び最尤復号部 9）を備える。そしてマージエラー推定部 22（第 1 の演算部）、平均値算出部 23（第 2 の演算部）、ビットエラー推定部 24 及び換算部 25（評価値生成部）を有する信号品質評価部 10 を備える。

これにより簡易な演算で実エラーレートと相関の高い信号評価が可能な再生装置を実現できる。

【0088】

実施の形態の再生装置 1 においては、図 12 で説明したように、最尤復号部 9 では、ブランチメトリックの計算のために用いられる基準レベルが再生信号のレベルに応じて可変的に設定される適応型ビタビ検出器が用いられる場合がある。

実施の形態の信号品質評価手法は、メトリック差分として定義されるパス選択マージン（ $S A M$ ）の演算時に適応型ビタビでの変化分が既に織り込まれており、以降の演算でユークリッド距離による正規化を必要としない構成となる。このため、特別な演算の導入なしに適応ビタビとの組み合わせが可能である。従って適応型ビタビ検出器を用いる場合で

も、より簡易な構成で高精度な評価値を得ることが可能となる。

【0089】

実施の形態の説明では例えばPR (3, 6, 9, 13, 16, 17, 16, 13, 9, 6, 3) などいくつかのPRクラスを挙げたが、実施の形態の再生装置1で採用できるPRクラスやISIについては多様に考えられる。

【0090】

また本開示の技術は記録媒体から再生されたビット情報の復号、伝送されてきたビット情報の復号に広く適用できる。記録媒体としては光ディスクに限られず、あらゆる記録媒体が想定される。

【0091】

なお、本明細書に記載された効果はあくまでも例示であって限定されるものではなく、また他の効果があってもよい。

【0092】

なお本技術は以下のような構成も採ることができる。

(1) ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、

前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部と、を備えた信号品質評価装置。

(2) 前記第1の演算部は、パスメトリック差分の分布に近似した正規分布からパス選択エラーレートの推定値を求める

上記(1)に記載の信号品質評価装置。

(3) 前記第2の演算部は、最尤パスと第2パスのパスメトリック差分の値が所定の閾値以下となる場合の最尤パスと第2パスのビット相違数を用いて平均エラービット数を求める

上記(1)又は(2)に記載の信号品質評価装置。

(4) 前記評価値生成部は、前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から求めた推定ビットエラーレートをジッタ換算した評価値を生成する

上記(1)乃至(3)のいずれかに記載の信号品質評価装置。

(5) 記録媒体からビット情報の再生信号を再生する再生部と、

前記再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号によるPRML復号処理を行って2値化データを復号する復号部と、

前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算部と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算部と、

前記第1の演算部および前記第2の演算部による演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成部と、を備えた再生装置。

(6) 前記復号部では、ブランチメトリックの計算のために用いられる基準レベルが前記再生信号のレベルに応じて可変的に設定される適応型ビタビ検出器により最尤復号が行われる

上記(5)に記載の再生装置。

(7) ビット情報の再生信号についてパーシャルレスポンス等化及び最尤復号を行うPRML復号系における、前記最尤復号での検出パスである各時刻の最尤パスと二番目に尤

10

20

30

40

50

度の高い第2パスのパスメトリック差分の分布に基づいてパス選択エラーレートの推定値を求める第1の演算手順と、

前記最尤復号での各時刻のパス選択時の最尤パスと第2パスのビット相違数から、誤検出における平均エラービット数を求める第2の演算手順と、

前記第1の演算手順および前記第2の演算手順での演算結果から、推定ビットエラーレートを求め、推定ビットエラーレートに応じた評価値を生成する評価値生成手順と、を備えた

信号品質評価値生成方法。

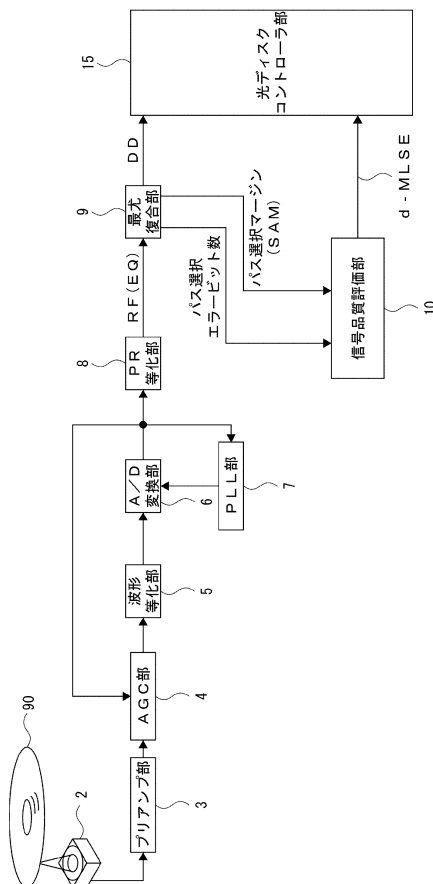
【符号の説明】

【0093】

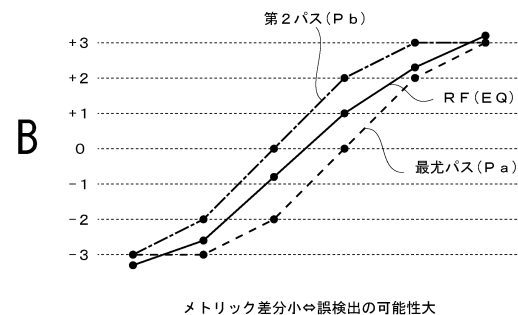
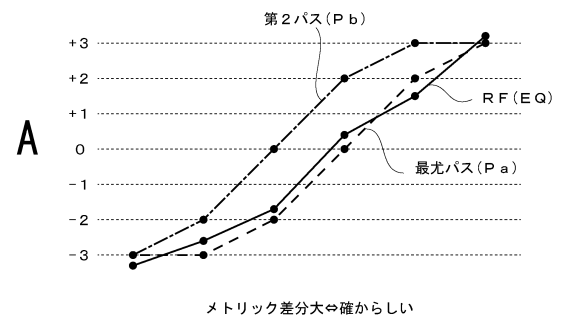
1…再生装置、8…PR等化部、9…最尤復号部、10…信号品質評価部、21…分布算出部、22…マージエラー推定部、23…平均値算出部、24…ビットエラー推定部、25…換算部、

10

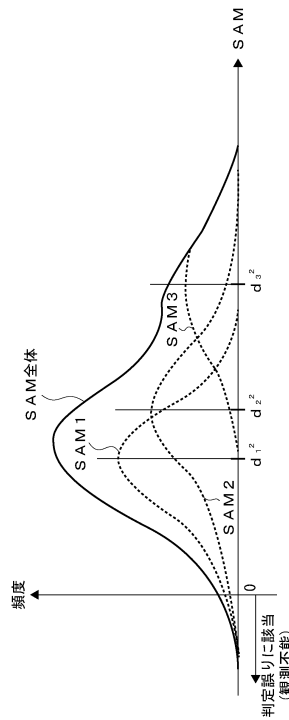
【図1】



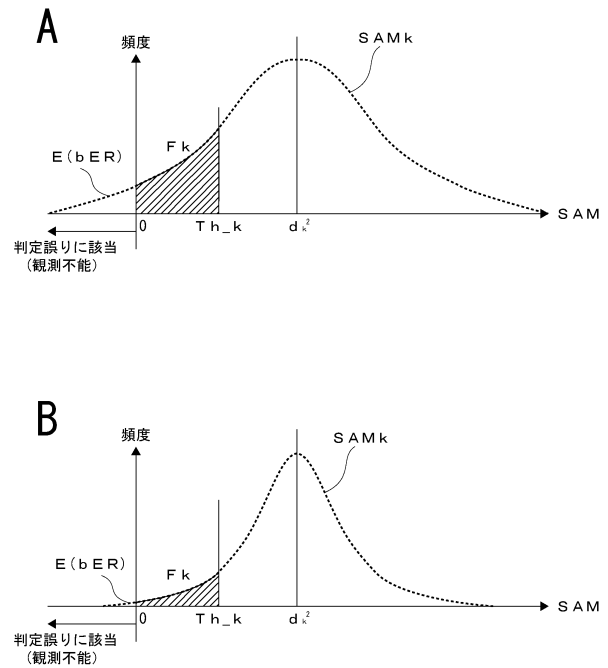
【図2】



【図 3】

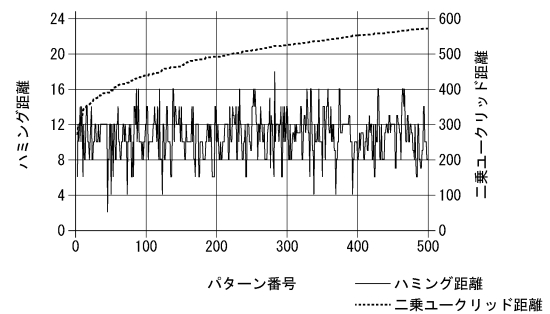


【図 4】

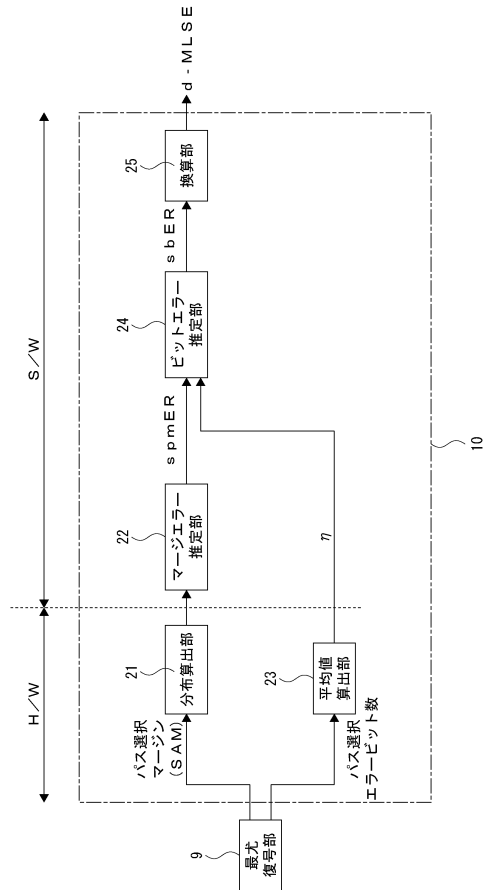


【図 5】

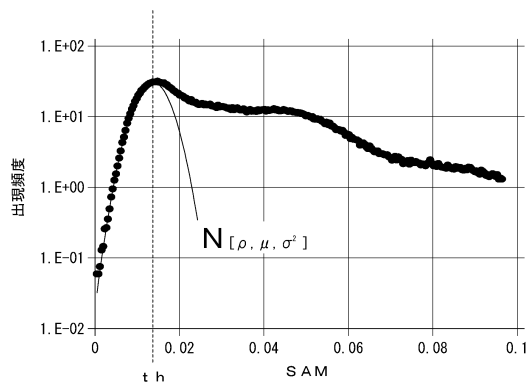
【图 6】

[illegible]

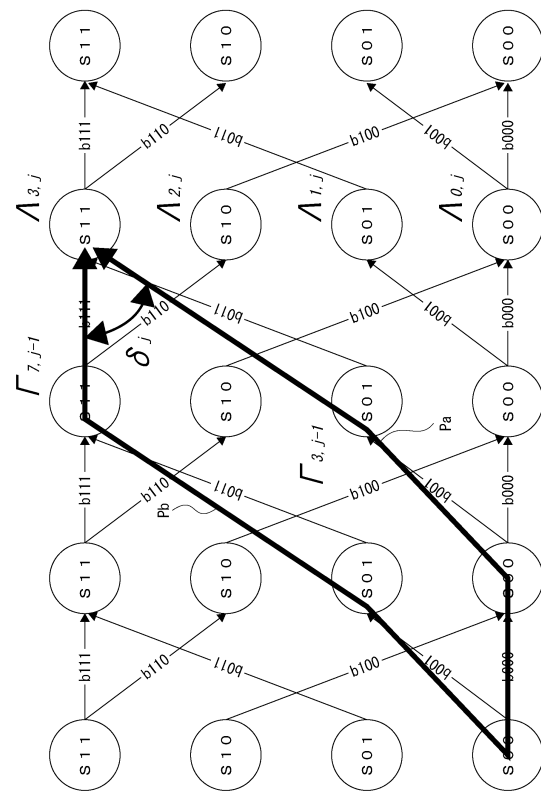
【図 7】



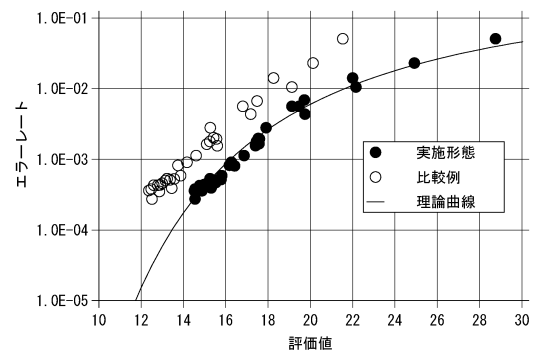
【図 9】



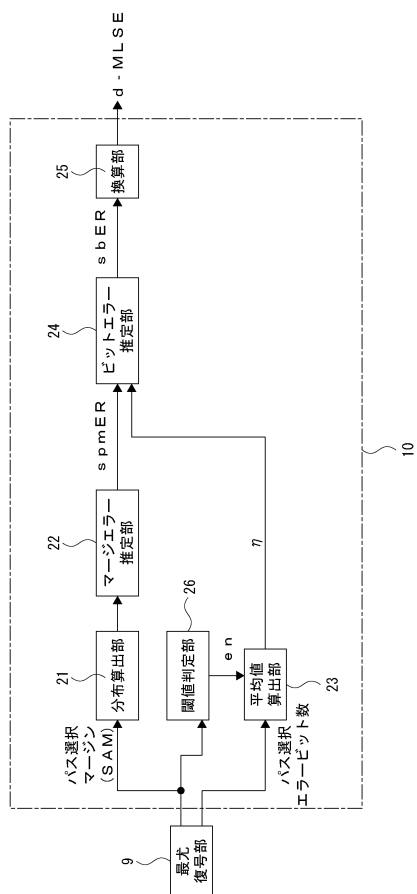
【図 8】



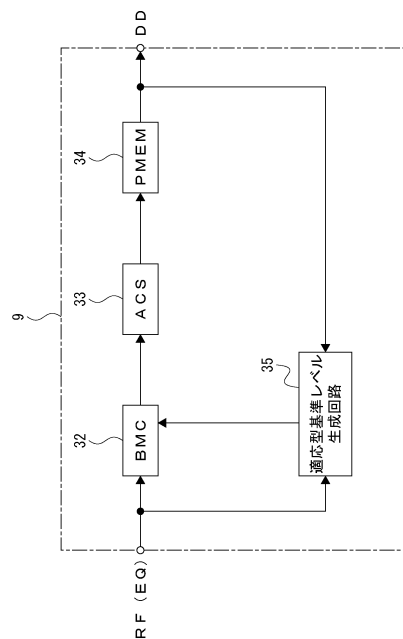
【図 10】



【図 1 1】



【图 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-018622 (JP, A)
特開2006-286073 (JP, A)
特開2008-293577 (JP, A)
特開2008-305457 (JP, A)
特開2010-262702 (JP, A)
特開2009-129494 (JP, A)
国際公開第2013/183385 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G11B 20/18
G11B 20/10
H03M 13/41