

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4946844号
(P4946844)

(45) 発行日 平成24年6月6日(2012.6.6)

(24) 登録日 平成24年3月16日(2012.3.16)

(51) Int.Cl.

F I

G 1 1 B 20/18 (2006.01)

H 0 3 M 13/19 (2006.01)

G 1 1 B 20/18 5 2 O C

G 1 1 B 20/18 5 1 2 D

G 1 1 B 20/18 5 3 4 Z

G 1 1 B 20/18 5 5 O E

G 1 1 B 20/18 5 7 2 B

請求項の数 4 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-322159 (P2007-322159)
 (22) 出願日 平成19年12月13日(2007.12.13)
 (65) 公開番号 特開2009-146494 (P2009-146494A)
 (43) 公開日 平成21年7月2日(2009.7.2)
 審査請求日 平成22年3月12日(2010.3.12)

(73) 特許権者 000002185
 ソニー株式会社
 東京都港区港南1丁目7番1号
 (74) 代理人 100104215
 弁理士 大森 純一
 (74) 代理人 100117330
 弁理士 折居 章
 (72) 発明者 原田 努
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
 式会社内
 (72) 発明者 出岡 良彦
 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
 式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 記録再生装置および記録再生方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

記録媒体に記録すべきデータを L D P C (Low Density Parity Check) 符号に符号化する符号化部と、

前記記録媒体から読み出された L D P C 符号化データを復号して再生データを得る復号部と、

前記復号部による復号時に得られるブロックエラーフラグまたは反復復号回数をもとに記録エラーのブロックを判定する第 1 の判定部と、

前記第 1 の判定部の判定結果をもとにリードアフターライトの制御を行う制御部と、

前記ブロックエラーフラグまたは反復復号回数を再生データと対応付けて保持するメモリ部と、

前記メモリ部に保持された再生データである第 1 の再生データと同一のブロックのデータが前記記録媒体から再度読み出されて前記復号部により第 2 の再生データとして復号された場合に、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数と、前記第 2 の再生データの復号時に得られた前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数とを比較し、この比較結果をもとに前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きするかどうかを判定する第 2 の判定部と

を具備することを特徴とする記録再生装置。

【請求項 2】

10

20

請求項 1 に記載の記録再生装置であって、

前記第 2 の判定部は、少なくとも、前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー有りの値で、前記第 2 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー無しの値である場合、もしくは、前記第 2 の再生データに対応する前記反復復号回数が前記第 1 の再生データに対応する前記反復復号回数より少ない場合、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きすることを判定することを特徴とする記録再生装置。

【請求項 3】

データを L D P C (Low Density Parity Check) 符号に符号化し、

符号化されたデータを記録媒体に記録し、

復号部が、前記記録媒体から読み出された L D P C 符号を復号し、

前記復号部による復号時に得られるブロックエラーフラグまたは反復復号回数をもとに記録エラーのブロックを判定し、この判定結果をもとにリードアフターライトの制御を行い、

前記ブロックエラーフラグまたは反復復号回数を再生データと対応付けてメモリ部に保持し、

前記メモリ部に前記リライトを通じて保持された再生データである第 1 の再生データと同一のブロックのデータが前記記録媒体から読み出されて前記復号部により第 2 の再生データとして復号された場合に、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数と、前記第 2 の再生データの復号時に得られた前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数とを比較し、この比較結果をもとに前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きするかどうかを判定する

ことを特徴とする記録再生方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の記録再生方法であって、

判定するステップは、少なくとも、前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー有りの値で、前記第 2 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー無しの値である場合、もしくは、前記第 2 の再生データに対応する前記反復復号回数が前記第 1 の再生データに対応する前記反復復号回数より少ない場合、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きすることを判定することを特徴とする記録再生方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気記録媒体にデータを記録し、再生する記録再生装置および記録再生方法に関する。

【背景技術】

【0002】

デジタルデータを磁気テープに記録／再生することのできるドライブ装置として、いわゆるテープストリーマドライブが知られている。このようなテープストリーマドライブは、メディアであるテープカセットのテープ長にもよるが、例えば数十～数百ギガバイト程度の膨大な記録容量を有することが可能である。このため、コンピュータ本体のハードディスク等のメディアに記録されたデータをバックアップするなどの用途に広く利用されている。また、データサイズの大きい画像データ等の保存に利用する場合にも好適とされている。

【0003】

このようなテープストリーマドライブでは、回転ドラムに所定のラップ角で磁気テープを巻装させた状態でテープを走行させるとともに、回転ドラムを回転させて、回転ドラム上の磁気ヘッドを用いてヘリカルスキャン方式で記録／再生走査を行なうことで高密度記

10

20

30

40

50

録を可能にしている。従って周知のように、磁気テープ上には、その長手方向に対して所定の傾き角度を有するようにして形成されるトラックが連続するようにしてデータが記録されていくことになる。

【 0 0 0 4 】

また、テープストリーマドライブでは、記録時においてリードアフターライトという動作が行われており、磁気テープへのデータの記録が正常に行われたか否かについてブロック単位でモニタすることが行われている。例えば、磁気テープに書き込みを行った直後に書き込んだデータを読み込んで元のデータと比較し、元のデータと読み込んだデータが一致していない場合は書き込みに失敗したとみなして、書き込みをやり直すリライトを行うようにされる。これにより、記録媒体に部分的な欠陥個所を避けてデータを記録することができる（特許文献 1 参照）。

10

【特許文献 1】特許 3 8 2 9 7 4 1 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、記録したデータを読み込んで得たデータと元のデータとを比較して記録エラーの検出を行うことは非効率であり、記録、再生の高速化や、テープストリーマドライブの小型化を図る上での障害となり得る。

【 0 0 0 6 】

また、近年、sum-product アルゴリズムによる L D P C 符号の復号法を、テープ状の磁気記録媒体に対する記録再生を行う装置でのデータ再生のようにリアルタイム性が要求されるシステムに用いることが検討されており、このような L D P C 符号の復号器を用いたテープストリーマドライブに適合した記録エラー検出の方法が求められている。

20

【 0 0 0 7 】

本発明は、かかる実情に鑑み、L D P C 符号の復号器を用いたシステムにとって好適で、リードアフターライトのための記録エラーのブロックの検出をより高速に行うことのできる記録再生装置及び記録再生方法を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上記の課題を解決するために、本発明の記録再生装置は、記録媒体に記録すべきデータを L D P C (Low Density Parity Check) 符号に符号化する符号化部と、前記記録媒体から読み出された L D P C 符号化データを復号して再生データを得る復号部と、前記復号部による復号時に得られるブロックエラーフラグまたは反復復号回数をもとに記録エラーのブロックを判定する第 1 の判定部と、前記第 1 の判定部の判定結果をもとにリードアフターライトの制御を行う制御部と、前記ブロックエラーフラグまたは反復復号回数を再生データと対応付けて保持するメモリ部と、前記メモリ部に保持された再生データである第 1 の再生データと同一のブロックのデータが前記記録媒体から再度読み出されて前記復号部により第 2 の再生データとして復号された場合に、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数と、前記第 2 の再生データの復号時に得られた前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数とを比較し、この比較結果をもとに前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きするかどうかを判定する第 2 の判定部とを具備する。

30

40

【 0 0 0 9 】

前記第 2 の判定部は、少なくとも、前記第 1 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー有りの値で、前記第 2 の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグの値がエラー無しの値である場合、もしくは、前記第 2 の再生データに対応する前記反復復号回数が前記第 1 の再生データに対応する前記反復復号回数より少ない場合、前記メモリ部に保持された前記第 1 の再生データを前記第 2 の再生データで上書きすることを判定することとしてもよい。

【 0 0 1 0 】

50

本発明によれば、LDPC符号の復号器を用いたシステムにとって好適で、リードアフターライトのための記録エラーのブロックの検出をより高速に行うことができる。

【0012】

この発明によれば、LDPC復号において得られるエラーブロックフラグまたは反復回数に基づいて、今回のリライトされたブロックの再生データでメモリ部に既に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするかどうかを判定することによって、リトライが発生しているデータに対して、最も良好なデータをメモリ部に再生データとして格納することができる。

【0013】

本発明の別の観点に基づく記録再生方法は、データをLDPC (Low Density Parity Check) 符号に符号化し、符号化されたデータを記録媒体に記録し、復号部が、前記記録媒体から読み出されたLDPC符号を復号し、前記復号部による復号時に得られるブロックエラーフラグまたは反復復号回数をもとに記録エラーのブロックを判定し、この判定結果をもとにリードアフターライトの制御を行い、前記ブロックエラーフラグまたは反復復号回数を再生データと対応付けてメモリ部に保持し、前記メモリ部に前記リライトを通じて保持された再生データである第1の再生データと同一のブロックのデータが前記記録媒体から読み出されて前記復号部により第2の再生データとして復号された場合に、前記メモリ部に保持された前記第1の再生データに対応する前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数と、前記第2の再生データの復号時に得られた前記ブロックエラーフラグまたは前記反復復号回数とを比較し、この比較結果をもとに前記メモリ部に保持された前記第1の再生データを前記第2の再生データで上書きするかどうかを判定する。

【0014】

これにより、LDPC符号の復号器を用いたシステムにとって好適で、リードアフターライトのための記録エラーのブロックの検出をより高速に行うことができる。

【0016】

これにより、LDPC復号において得られるエラーブロックフラグまたは反復回数に基づいて、今回のリライトされたブロックの再生データでメモリ部に既に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするかどうかを判定することによって、リトライが発生しているデータに対して、最も良好なデータをメモリ部に再生データとして格納することができる。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、LDPC符号の復号器を用いたシステムにとって好適で、リードアフターライトのための記録エラーのブロックの検出をより高速に行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

以下、本発明の実施の形態を図面を用いて詳細に説明する。

図1は、本発明の実施の形態に対応するテープストリーマドライブの構成例を示している。

【0019】

このテープストリーマドライブ10は、ここでは図示していないテープカセットの磁気テープ3に対して、ヘリカルスキャン方式により記録/再生を行うようにされている。この図において回転ドラム11には、例えば4つの記録ヘッドW1, W2, W3, W4及び4つの再生ヘッドR1, R2, R3, R4が設けられる。記録ヘッドW1, W2, W3, W4は互いにアジマス角の異なる2つのギャップが究めて近接して配置される構造となっている。再生ヘッドR1, R2, R3, R4もそれぞれ所定のアジマス角とされる。

【0020】

回転ドラム11は図示しないドラムモータにより回転される。回転ドラム11にはテープカセットから引き出された磁気テープ3が巻き付けられる。また、磁気テープ3は、図示しないキャプスタンモータ及び図示しないピンチローラにより順方向または逆方向に送

10

20

30

40

50

られる。

【 0 0 2 1 】

このテープストリーマドライブ 1 0 においては、データの入出力に S C S I インタフェース 2 0 が用いられている。例えばデータ記録時にはホストコンピュータ 4 0 から、固定長のレコード (r e c o r d) という伝送データ単位により S C S I インタフェース 2 0 を介して逐次データが入力され、S C S I バッファコントローラ 2 6 を介して圧縮 / 伸長回路 2 1 に供給される。S C S I バッファコントローラ 2 6 は S C S I インタフェース 2 0 のデータ転送を制御するようにされている。S C S I バッファメモリ 2 7 は S C S I インタフェース 2 0 の転送速度を得るために、S C S I バッファコントローラ 2 6 に対応して備えられるバッファ手段とされる。

10

【 0 0 2 2 】

圧縮 / 伸長回路 2 1 では、入力されたデータについて必要があれば、所定方式によって圧縮処理を施すようにされる。圧縮 / 伸長回路 2 1 の出力は、I F / E C C コントローラ 2 2 に供給されるが、I F / E C C コントローラ 2 2 においてはその制御動作によって圧縮 / 伸長回路 2 1 の出力をバッファメモリ 2 3 に一旦蓄積する。このバッファメモリ 2 3 に蓄積されたデータは I F / E C C コントローラ 2 2 の制御によって、最終的にグループ (G r o u p) という磁気テープの 4 0 トラック分に相当する固定長の単位のデータに対して誤り訂正コードが付加された後、磁気記録に適合するように変調処理が施される。

【 0 0 2 3 】

変調されたデータは符号化 / 復号回路 1 1 に供給される。符号化 / 復号回路 1 1 は、L D P C の符号化及びその復号を行う回路である。すなわち、変調されたデータは符号化 / 復号回路 1 1 によって L D P C の符号長 N 分のビット数に符号化される。この L D P C 符号化は、例えば、パリティ符号を定義する検査行列 H から、 $G H^t = 0$ を満足する生成行列 G を求め、ヘッダが付加されたデータに生成行列 G を乗じることなどによって行われる。ここで、パリティ符号を定義する検査行列 H は M 行 × N 列の " 0 " と " 1 " の要素からなる行列で、かつ疎なものであることを特徴とするものである。疎な行列とは、行列の要素 " 1 " の個数が非常に少なく構成されるものである。符号化により得られるビット数は L D P C の符号長 N であり、この L D P C 符号長 N 分のビット列を 1 ブロックとする。

20

【 0 0 2 4 】

符号化 / 復号回路 1 1 の出力はリード / ライトチャンネル回路 1 2 に供給される。リード / ライトチャンネル回路 1 2 は、符号化 / 復号回路 1 1 によって得られたブロックの先頭に S Y N C パターンを付加してライトアンプ 1 3 に供給する。ライトアンプ 1 3 はリード / ライトチャンネル回路 1 2 より出力されたデータに対して増幅、記録イコライジング等の処理を施して記録信号を生成し、各チャンネルの記録ヘッド W 1 , W 2 , W 3 , W 4 に供給する。これにより記録ヘッド W 1 , W 2 , W 3 , W 4 から磁気テープ 3 に対するデータの記録が行われることになる。

30

【 0 0 2 5 】

図 6 に 1 ブロックの記録ビット列の構成を示す。このように 1 ブロックの記録ビット列の先頭にはブロック検出のための S Y N C パターンが付加され、この S Y N C パターンの後に、ヘッダが付加されたユーザデータを符号化した 1 ブロック分のビット列である符号語が付加される。符号語は、ヘッダが付加されたユーザデータのメッセージ・ビット列と検査ビット列とで構成される。

40

【 0 0 2 6 】

次に、データ再生時の動作について説明する。磁気テープ 3 の記録データが再生ヘッド R 1 , R 2 , R 3 , R 4 により R F 再生信号として読み出され、その再生出力はリードアンプ 1 4 で増幅され、リード / ライトチャンネル回路 1 2 に供給される。リード / ライトチャンネル回路 1 2 は、リードアンプ 1 4 の出力に対して、A / D 変換、位相同期のための等化処理、再生クロック生成、データ化などを行い、符号化 / 復号回路 1 1 に供給する。符号化 / 復号回路 1 1 は、リード / ライトチャンネル回路 1 2 から出力されたデータに対する L D P C 復号を行って記録データを復元する。

50

【 0 0 2 7 】

符号化 / 復号回路 1 1 の出力は I F / E C C コントローラ 2 2 に供給される。I F / E C C コントローラ 2 2 では、まず、誤り訂正処理等が行われる。誤り訂正処理の結果はバッファメモリ 2 3 に一時蓄積され、所定の時点で読み出されて圧縮 / 伸長回路 2 1 に供給される。圧縮 / 伸長回路 2 1 では、システムコントローラ 1 5 の判断に基づいて、記録時に圧縮 / 伸長回路 2 1 により圧縮が施されたデータであればここでデータ伸長処理を行い、非圧縮データであればデータ伸長処理を行わずにそのままパスして出力される。圧縮 / 伸長回路 2 1 の出力データは S C S I バッファコントローラ 2 6、S C S I インタフェース 2 0 を介して再生データとしてホストコンピュータ 4 0 に出力される。

【 0 0 2 8 】

S - R A M 2 4 , フラッシュ R O M 2 5 は、システムコントローラ 1 5 が各種処理に用いるデータが記憶される。例えばフラッシュ R O M 2 5 には制御に用いる定数等が記憶される。また S - R A M 2 4 はワークメモリとして用いられ、各種フラグデータなどの記憶や演算処理などに用いられるメモリである。また、フラッシュ R O M 2 5 には、システムコントローラ 1 5 が実行すべきプログラムや、その他ファームウェアとしての各種データも記憶されている。

【 0 0 2 9 】

なお、S - R A M 2 4 , フラッシュ R O M 2 5 は、システムコントローラ 1 5 を構成するマイクロコンピュータの内部メモリとして構成してもよく、またバッファメモリ 2 3 の領域の一部をワークメモリとして用いる構成としてもよい。

【 0 0 3 0 】

図 1 に示すように、テープストリーマドライブ 1 0 とホストコンピュータ 4 0 間は上記のように S C S I インタフェース 2 0 を用いて情報の相互伝送が行われるが、システムコントローラ 1 5 に対してはホストコンピュータ 4 0 が S C S I コマンドを用いて各種の通信を行うことになる。なお、例えば I E E E 1 3 9 4 インタフェースなどをはじめ、S C S I 以外のデータインタフェースが採用されても構わない。

【 0 0 3 1 】

図 2 は、このテープストリーマドライブ 1 0 によって磁気テープ 3 に記録される各トラック T K 内のデータフォーマットを示す図である。1 つのトラック T K は、複数のブロック B K の集合から成る。このブロック B K は所定のデータサイズによる固定長とされる。

【 0 0 3 2 】

図 3 はブロックのフォーマットを示す図である。ブロックは、先頭より S Y N C エリア、I D エリア、I D パリティエリア、メインデータエリアで構成される。I D エリアには、リライトに備えてバッファメモリ 2 3 に保持されている当該ブロックの記憶場所であるアドレス情報などが含まれている。

【 0 0 3 3 】

ところで、テープストリーマドライブ 1 0 のシステムでは、リードアフターライト (R A W : Read After Write) といわれる動作が実行される。ここで参考として、従来における R A W の動作例を図 4 により説明する。

【 0 0 3 4 】

図 4 は、同一とされるグループ内において R A W が行われる場合を模式的に示している。ここでフレームとは、連続する複数のトラックにより形成されるもので、ここでは、隣接する + アジマストラック (+ A z) と - アジマストラック (- A z) の 2 トラックにより 1 フレームが形成されているものとする。

【 0 0 3 5 】

そして、ここで図示するようにして、フレーム 6 を記録した時点で、フレーム 6 の + アジマストラック (+ A z) において一部記録エラーが発生したとする。これに応じて、R A W が実行されるのではあるが、テープストリーマドライブ側が読み出しを行って記録エラーを検出し、リライトを開始するまでには或る程度の期間を要する。このため、リライトは、記録エラーが発生したトラック以降においても或る程度記録が進行した後において実

10

20

30

40

50

行されることになる。この図では、フレーム 6 にて記録エラーが発生した後において、フレーム 9 まで記録し終えたところで、リライトが開始されている。そして、この場合のリライト動作としては、上記フレーム 9 に続けて、改めてフレーム 6 からトラック単位でデータを記録し直していくことになる。この際、リードアフターライトにより、記録が成功したことが確認されるまで、リライトは継続する。記録が成功したブロックは、ブロックの ID エリアに含まれるアドレス情報をもとに、バッファメモリ 23 上の該当する番地のデータに対応づけられ、このデータのリライトが不要であるとみなされる。

【0036】

本実施形態では、リードアフターライトにおいて、記録エラーの発生を、LDPC 符号の復号時に得られる情報に基づいて検出することとしている。

10

【0037】

そこで、先に LDPC 復号器の詳細に説明する。

【0038】

図 5 は、符号化 / 復号回路 11 内の LDPC 復号部 41 を含む再生系の構成を示す図である。同図に示すように、リードアンプ 14 の出力であるアナログ再生信号は、リード / ライトチャンネル回路 12 内の AD コンバータ 31 にてデジタル値に変換された後、リード / ライトチャンネル回路 12 内の HPF (High Pass Filter) 32 にて後段の処理にとって不要な低周波成分が除去される。HPF 32 の出力である再生信号は、リード / ライトチャンネル回路 12 内のプレフィルタ 33 にて、位相同期のための等化処理が施された後、リード / ライトチャンネル回路 12 内のデジタル位相同期回路 34 に入力され、デジタル位相同期回路 34 にて、位相同期のとれたデータ系列とされる。

20

【0039】

デジタル位相同期回路 34 の出力は、LDPC 復号部 41 内の適応型等化フィルタ 35 に入力される。適応型等化フィルタ 35 は、後段の軟判定検出器 36 から出力される誤差信号をもとに、自身のフィルタのタップ係数を最適な値に更新して、入力信号を所定の目標等化特性に等化する。

【0040】

軟判定検出器 36 には、例えば、事後確率検出器等が用いられる。事後確率検出器は、入力値 y を基にビット毎の事後確率 $P_0 = P(x = 0 | Y = y)$, $P_1 = P(x = 1 | Y = y)$ を計算し、その対数尤度比 (LLR: Log-Likelihood Ratio) $\lambda = \log(P_1 / P_0)$ を出力する。ここで x は記録ビットであり、例えば、"0"か"1"のいずれかの値をとる。

30

【0041】

なお、事後確率検出器は、トレリス線図を用いて前後複数の入力値から LLR を求めるものであってもよい。トレリス線図とは、入力されるビット系列に従って、符号器が状態を変化させていく過程で生成する符号列を表すものである。

【0042】

LDPC 復号部 41 内の SYNC 検出器 37 は、軟判定検出器 36 によって判定された LLR からブロックの先頭の SYNC パターンを検出して、LDPC デコーダ 38 に通知する。

40

【0043】

LDPC 復号部 41 内の LDPC デコーダ 38 は、SYNC 検出器 37 から得た SYNC パターンの検出タイミングに従ってブロック単位の LLR を入力し、LDPC 符号の反復復号を行う回路である。LDPC デコーダ 38 は、チャンネル毎の反復復号終了時の反復回数 (反復復号回数) をデータ処理部 39 に出力する。

【0044】

データ処理部 30 は、LDPC デコーダ 38 にて得られた推定符号語からチャンネル毎のデータを復元し、これのデータを連結して記録データを復元する処理や、LDPC デコーダ 38 からの反復回数およびブロックエラーフラグを処理する回路である。

【0045】

50

次に、LDPCデコーダ38によるLDPC符号の反復復号の詳細を説明する。この実施形態では、sum-productアルゴリズムによりLDPC符号の反復復号を行うものとする。sum-productアルゴリズムでは、事後確率に関する計算を「変数ノード処理」と「チェックノード処理」と呼ばれる2つの処理に分け、その間で反復処理を行うことで、推定精度の高いビット系列を判定する。

【0046】

図7はLDPC符号のパリティ検査行列Hのノード表現を示す図である。LDPCのパリティ検査行列H(N行×M列)は、N個の変数ノード、M個のチェックノード、枝(edge)で表現される。枝は、パリティ検査行列Hの第m行・第n列の要素 h_{mn} が"1"であるとき変数ノードnとチェックノードmとを結ぶものである。

10

【0047】

図8はLDPCデコーダ38によるLDPC符号の反復復号のフローチャートである。LDPCデコーダ38は、SYNC検出器37からのSYNC検出信号をもとにブロックの先頭を検出し、図9に示すように、1ブロック分のビット毎の対数尤度比(LLR)である $L_1, L_2, \dots, L_n$ をN個の変数ノードに順にセットする(ステップS101)。

【0048】

次に、LDPCデコーダ38は、チェックノードから変数ノードへのメッセージ A_{mn} および反復回数Rをそれぞれ初期化し(ステップS102)、さらに反復復号の反復有限回数uをセットする(ステップS103)。

【0049】

20

この後、ステップS104、ステップS105、ステップS106、ステップS107をスルーして、反復回数Rをインクリメントした後(ステップS108)、初回の反復処理を次のように行う。

【0050】

LDPCデコーダ38は、変数ノード処理として、変数ノードnからチェックノードmに与えるメッセージ B_{mn} を次式により計算する(ステップS109)。図10はメッセージ B_{mn} の計算方法を示す図である。

【0051】

【数1】

30

$$B_{mn} = \sum_{n' \in B(n) \setminus m} A_{mn'} + L_n \quad \dots (1)$$

【0052】

ここで、 $B(n) \setminus m$ は変数ノードnにつながるチェックノードの集合 $B(n)$ からチェックノードmを除いたものであり、図10において m' と表記する。図10の $A_{m'n}$ は、そのチェックノード m' で計算された変数ノードnへのメッセージである。メッセージ $A_{m'n}$ の初期値は0であるから、変数ノードnからチェックノードmへの初回のメッセージ B_{mn} は L_n となる。

40

【0053】

次に、LDPCデコーダ38は、チェックノードmから変数ノードnへのメッセージ A_{mn} を次式により計算する(ステップS110)。図11はメッセージ A_{mn} の計算方法を示す図である。

【0054】

【数2】

$$A_{mn} = \prod_{n' \in A(m) \setminus n} \text{sign}(B_{mn'}) f(\sum_{n' \in A(m) \setminus n} f(|B_{mn'}|)) \quad \dots (2)$$

50

【 0 0 5 5 】

ここで、関数 $f(x)$ は Gallager の関数で、 $f(x) = \ln((\exp(x) + 1) / (\exp(x) - 1))$ である。 $A(m) \setminus n$ は、チェックノード m につながる変数ノードの集合 $A(m)$ から変数ノード n を除いたものであり、 n' と表記する。図 11 中の $B_{mn'}$ は、その変数ノード n' で計算されたチェックノード m へのメッセージである。

【 0 0 5 6 】

次に、LDPC デコーダ 38 は、ステップ S 1 0 4 に戻って、対数事後確率比の近似値 K_n の計算を次式により行う。

【 0 0 5 7 】

【数 3】

10

$$K_n = \sum_{m' \in B(n)} A_{mn} + L_n \quad \dots (3)$$

【 0 0 5 8 】

なお、LSI に実装する場合、メッセージ A_{mn} 、メッセージ B_{mn} 、関数 $f(x)$ の計算には近似式が使われる。

【 0 0 5 9 】

LDPC デコーダ 38 は、上記のメッセージ A_{mn} 、メッセージ B_{mn} 、対数事後確率比の近似値 K_n の各計算が終了したところで、対数事後確率比の近似値 K_n をもとに推定復号語 $C'n$ を求める (ステップ S 1 0 5)。ここで、 C' は C サークラムフレックス の代用表記である。この推定復号語 $C'n$ の判定は次のように行われる。LDPC デコーダ 38 は、対数事後確率比の近似値 K_n が 0 以上ならば推定復号語 $C'n$ を "0" と判定し、対数事後確率比の近似値 K_n が 0 未満ならば推定復号語 $C'n$ を "1" と判定する。

20

【 0 0 6 0 】

次に、LDPC デコーダ 38 は、今回得られた推定復号語 $C'n$ に関して、 $C'nH_t = 0$ のパリティ検査条件を満たすかどうかを判定する (ステップ S 1 0 6)。ここで、 H_t は LDPC のパリティ検査行列 H の転置行列である。推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たすならば、LDPC デコーダ 38 は、今回得られた推定復号語 $C'n$ をデータ処理部 39 に出力するとともに、反復復号終了時の反復回数 R をデータ処理部 39 に出力して復号を終了する (ステップ S 1 1 1)。

30

【 0 0 6 1 】

ここで、メッセージ B_{mn} 、メッセージ A_{mn} 、対数事後確率比の近似値 K_n 、推定復号語 $C'n$ を計算し、この推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たすかどうかを判定するまでの処理を「1 回の反復処理」と呼ぶ。この反復処理の回数が反復回数 R である。

【 0 0 6 2 】

LDPC デコーダ 38 は、ステップ S 1 0 6 での判定の結果、推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たす場合には、今回得られた推定復号語 $C'n$ を復号結果としてデータ処理部 39 に出力して反復復号を終了することとしたが、推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たさない場合、現在の反復回数 R が反復有限回数 u に達したかどうかを判定する (ステップ S 1 0 7)。現在の反復回数 R が反復有限回数 u に達していない場合には、LDPC デコーダ 38 は、反復回数 R をインクリメントした後 (ステップ S 1 0 8)、次の反復処理を行う。

40

【 0 0 6 3 】

以後、LDPC デコーダ 38 は、生成された推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たすことが判定されるか、あるいは、現在の反復回数 R が反復有限回数 u に達する直前まで、反復処理を繰り返す。LDPC デコーダ 38 は、ステップ S 1 0 7 で現在の反復回数 R が反復有限回数 u に達したことを判定した場合、つまり反復処理を u 回繰り返しても推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たすことがなかった場合には、現在処理中のプロ

50

ックをエラーブロックとして復号処理を強制終了し、エラーブロックフラグをデータ処理部 39 に出力する (ステップ S 112)。

【0064】

図 12 は、LDPC デコーダ 38 のタイミングチャートである。

軟判定検出器 36 (事後確率検出器) から出力された 1 ブロック分の LLR をもとに LDPC 符号の反復復号を始める。LDPC デコーディング信号は、LDPC デコーダ 38 内部の状態を表す信号で、LDPC デコーダ 38 が反復復号をしている間は "1" の値を取り、反復復号を終了すると "0" になる。反復回数はブロックによって異なるので、LDPC デコーディング信号が "1" の区間の長さはブロックによって異なるが、反復復号が早く終了しても、推定復号語 $C'n$ の出力を開始するタイミングは同じになるように、LDPC デコーダ 38 内部で推定復号語 $C'n$ を保持して待機する。ブロックエラーフラグは、反復有限回数 u の反復復号をした後も推定復号語 $C'n$ がパリティ検査条件を満たさないブロックに対して "1" になる信号で、この例では、ブロック 3 が該当する。反復回数は、それぞれのブロックの復号に要した反復回数である。この例では、ブロック 1 は 3 回、ブロック 2 は 1 回、ブロック 3 は u 回、ブロック 4 は 2 回、ブロック 5 は 0 回である。一般に、再生信号の品質が悪く、SN 比が小さいときには、反復回数が多くなる。

【0065】

次に、LDPC 符号の復号時に得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて記録エラーの発生を検出してリードアフターライトの制御を行うときの動作を説明する。

【0066】

図 13 は、LDPC 符号の復号時に得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて記録エラーの発生を検出してリードアフターライトの制御を行うための構成を示すブロック図である。データ処理部 39 内のリライト判定モジュール 44 は、リードアフターライト時に LDPC 復号部 41 より出力されたエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて記録エラーの発生を検出した場合、記録モジュール 43 に対して、その記録エラーとなったデータをリライトするように制御する。ここで、エラーブロックフラグおよび反復回数に基づく記録エラーの発生検出は次のように行われる。

【0067】

図 14 は、エラーブロックフラグおよび反復回数に基づく記録エラーの発生検出のフローチャートである。ここで、ldpc_error はリードアフターライト時のブロックエラーフラグ、ldpc_count はリードアフターライト時の LDPC 反復回数、ldpc_count_thresh はリライト用の LDPC 反復回数閾値である。

【0068】

記録モジュール 43 は、リライト判定モジュール 44 から、リライトが不要であることを通知されない限り、リライトを継続して実行する。リライト判定モジュール 44 は、まず、ldpc_error の値を調べ (ステップ S 201)、この値が "1" である場合には、記録エラーが発生したことを判定してリライトが不要であることを記録モジュールに通知しない (ステップ S 202)。リライト判定モジュール 44 は、ldpc_error の値が "1" でないことを判定した場合には、次に、ldpc_count の値が ldpc_count_thresh を超えているかどうかを判定し (ステップ S 203)、超えているならば、記録エラーが発生したことを判定して、リライトが不要であることを記録モジュールに通知しない (ステップ S 202)。また、超えていない場合には、記録エラーが発生していないことを判定してブロックの ID エリアに書かれているアドレスとともに、リライトが不要であることを記録モジュール 43 に通知する (ステップ S 204)。

【0069】

以上説明したように、この実施形態によれば、LDPC 復号において得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて、リードアフターライト時のリライトの必要の有無を判定することによって、再生可能な記録状態を保証できる。また、不要なリライトを回避できることで、記録の効率を向上させることができる。

【 0 0 7 0 】

なお、この実施形態では、エラーブロックフラグおよび反復回数の両方に基づいて記録エラーの発生を検出してリードアフターライトの制御を行うこととしたが、エラーブロックフラグまたは反復回数のいずれかに基づいてリードアフターライトの制御を行うこととしてもよい。

【 0 0 7 1 】

(第 2 の実施形態)

先の実施形態では、リードアフターライト時のリライトの必要の有無を L D P C 復号において得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて判定することとしたが、データ再生時に過去のリライトによりバッファメモリ 2 3 に既に再生データが保持されているブロックと同一のブロックのデータが再度読み出された場合に、エラーブロックフラグおよび反復回数をもとに、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ 2 3 上の同一のブロックの再生データを上書きするかどうかを判定するようにしてもよい。また、この機能を第 1 の実施形態に付加してもよい。

10

【 0 0 7 2 】

図 1 5 は、L D P C 符号の復号時に得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいてバッファメモリ 2 3 の上書きを制御するための構成を示すブロック図である。データ処理部 3 9 内の上書き判定モジュール 4 5 は、再生されたブロックの L D P C 復号時に得られたブロックエラーフラグおよび L D P C 反復回数を、再生されたデータとともに、そのブロックの I D エリアに書かれたアドレスの情報をもとに、バッファメモリ 2 3 の該当するアドレスに書き込む。このとき、既にバッファメモリ 2 3 に同一ブロックの再生データが保持されているならば、上書き判定モジュール 4 5 は、今回の再生時に得られたエラーブロックフラグおよび反復回数と、既にバッファメモリ 2 3 に保持されている前回再生時のエラーブロックフラグおよび反復回数とに基づいて、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ 2 3 上に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするかどうかを判定する。エラーブロックフラグおよび反復回数に基づく上書きの要否判定は次のように行われる。

20

【 0 0 7 3 】

図 1 6 は、エラーブロックフラグおよび反復回数に基づく上書きの要否判定のフローチャートである。ここで、ldpc_error は今回再生時の L D P C ブロックエラーフラグ、ldpc_count は今回再生時の L D P C 反復回数、prev_ldpc_error は前回再生時の L D P C ブロックエラーフラグ、prev_ldpc_count は前回再生時の L D P C 反復回数である。

30

【 0 0 7 4 】

上書き判定モジュール 4 5 は、ldpc_error の値が " 0 " で、かつ prev_ldpc_error の値が " 1 " という第 1 の条件を満たしているかどうかを判定する (ステップ S 3 0 1) 。第 1 の条件を満たす場合、上書き判定モジュール 4 5 は、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ 2 3 上に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするように制御を行う (ステップ S 3 0 2) 。第 1 の条件を満たしていない場合、上書き判定モジュール 4 5 は、次に、ldpc_error の値が " 1 " で、かつ prev_ldpc_error の値が " 0 " という第 2 の条件を満たしているかどうかを判定する (ステップ S 3 0 3) 。この第 2 の条件を満たす場合、上書き判定モジュール 4 5 は上書きを実行しない (ステップ S 3 0 4) 。

40

【 0 0 7 5 】

第 2 の条件を満たしていない場合、上書き判定モジュール 4 5 は、次に、ldpc_count が prev_ldpc_count 未満であるという第 3 の条件を満たしているかを判定する (ステップ S 3 0 5) 。第 3 の条件を満たしている場合、上書き判定モジュール 4 5 は、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ 2 3 上に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするように制御を行う (ステップ S 3 0 2) 。第 3 の条件を満たしていない場合、上書き判定モジュール 4 5 は、ldpc_count が prev_ldpc_count を超えてい

50

るという第4の条件を満たしているかを判定する(ステップS306)。第4の条件を満たしていれば、上書き判定モジュール45は上書きを実行しない(ステップS304)。第4の条件を満たしていなければ、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ23上に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするように制御を行う(ステップS302)。

【0076】

以上説明したように、本実施形態によれば、LDPC復号において得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて、過去のリライトに起因して再度後から再生されたデータでバッファメモリ23に既に保持されている同一ブロックのデータを上書きするかどうかを判定することによって、リライトが発生しているブロックのデータに対して、最も良好なデータをバッファメモリ23に再生データとして格納することができる。

10

【0077】

なお、この実施形態では、今回の再生時に得られたエラーブロックフラグおよび反復回数と、既にバッファメモリ23に保持されている前回再生時のエラーブロックフラグおよび反復回数とに基づいて、今回のリライトされたブロックの再生データでバッファメモリ23上に保持されている同一ブロックの再生データを上書きするかどうかを判定することとしたが、エラーブロックフラグまたは反復回数のいずれかに基づいて制御するようにしてもよい。

【0078】

ノントラック再生では、磁気テープ上の一本のトラックが異なるタイミングで複数回スキャンされるので、各スキャン毎のエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて、リライトされたデータであるか否かにかかわらず、最良の再生データでの上書きを行うことが可能である。

20

【0079】

本発明は、上述の実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々更新を加え得ることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】本発明の実施の形態に対応するテープストリーマドライブの構成例を示している。

30

【図2】テープストリーマドライブによって磁気テープ3に記録される各トラック内のデータフォーマットを示す図である。

【図3】ブロックのフォーマットを示す図である。

【図4】リードアフターライトの動作を示す図である。

【図5】LDPC復号部を含む再生系の構成を示す図である。

【図6】1ブロックの記録ビット列の構成を示す。

【図7】LDPC符号のパリティ検査行列Hのノード表現を示す図である。

【図8】LDPCデコーダによるLDPC符号の反復復号のフローチャートである。

【図9】1ブロック分のビット毎の対数尤度比(LLR)を変数ノードにセットした図である。

40

【図10】メッセージ B_{mn} の計算方法を示す図である。

【図11】メッセージ A_{mn} の計算方法を示す図である。

【図12】LDPCデコーダのタイミングチャートである。

【図13】LDPC符号の復号時に得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいて記録エラーの発生を検出してリードアフターライトの制御を行うための構成を示すブロック図である。

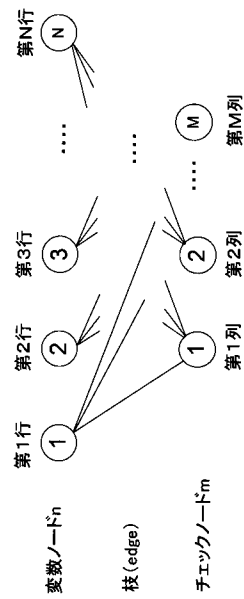
【図14】図13の制御のフローチャートである。

【図15】LDPC符号の復号時に得られるエラーブロックフラグおよび反復回数に基づいてバッファメモリの上書きを制御するための構成を示すブロック図である。

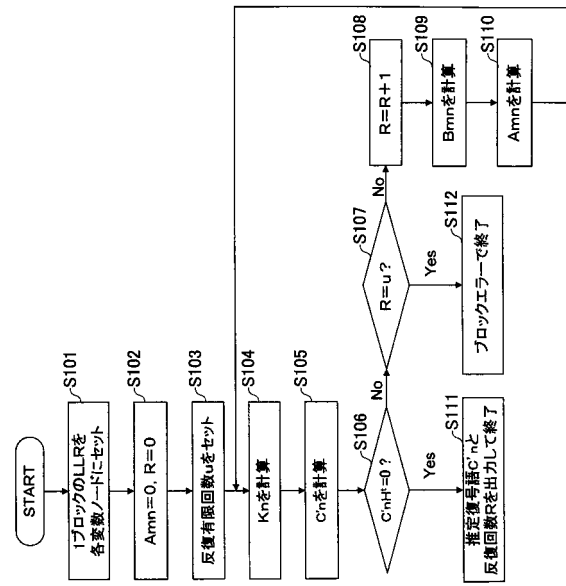
【図16】図15の制御のフローチャートである。

50

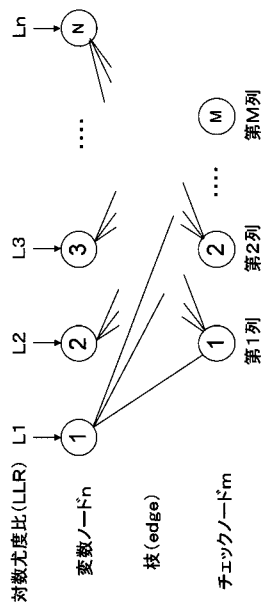
【図 7】



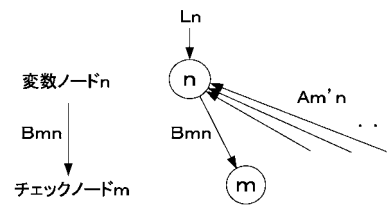
【図 8】



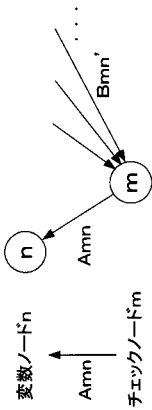
【図 9】



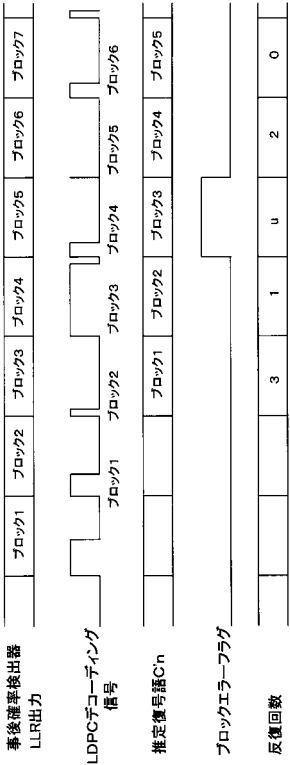
【図 10】



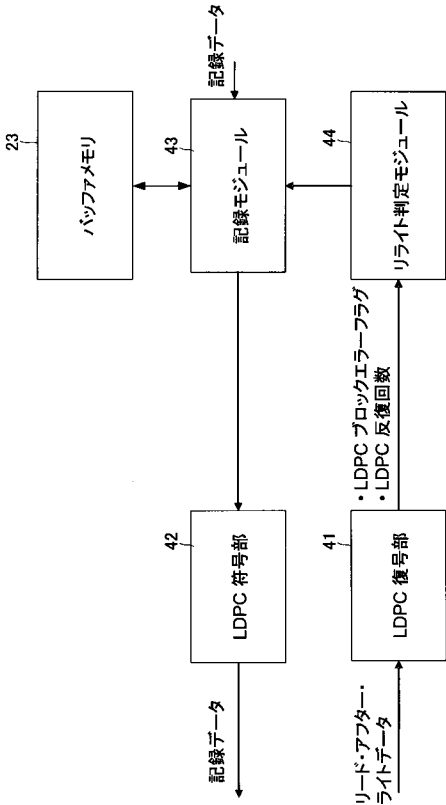
【図 1 1】



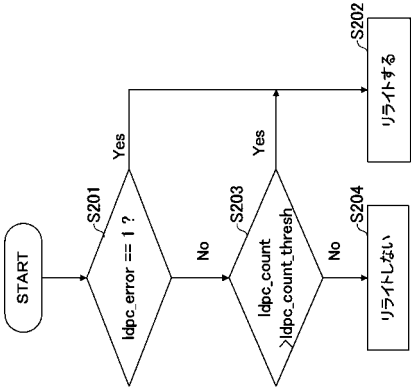
【図 1 2】



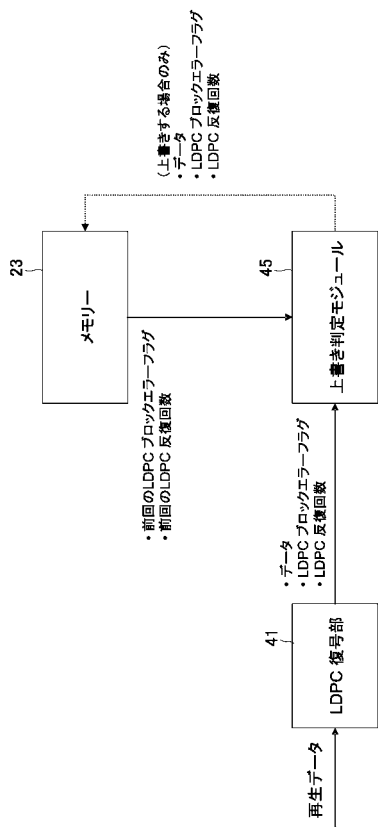
【図 1 3】



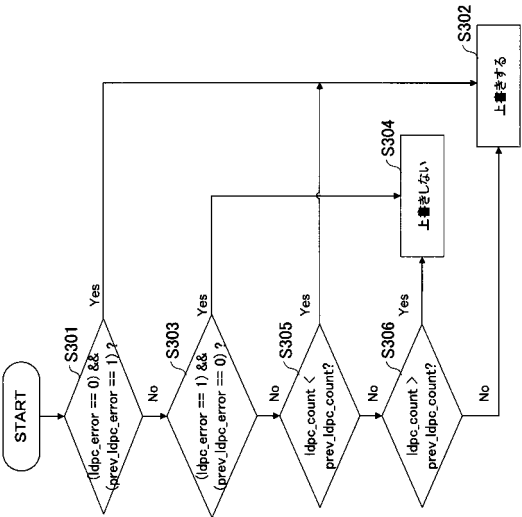
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 1 1 B 20/18 5 7 2 G
G 1 1 B 20/18 5 5 2 B
H 0 3 M 13/19

(72)発明者 平坂 久門
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
(72)発明者 廣瀬 俊彦
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
(72)発明者 廣瀬 寿幸
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
(72)発明者 中村 修
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
(72)発明者 伊藤 明
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

審査官 堀 洋介

(56)参考文献 特開平08-249832(JP,A)
特開2007-087530(JP,A)
特開2001-307434(JP,A)
特開平07-169205(JP,A)
特開2007-087529(JP,A)
特開2003-100035(JP,A)
特開2000-163708(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 1 1 B 2 0 / 1 8
H 0 3 M 1 3 / 1 9