

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5657404号
(P5657404)

(45) 発行日 平成27年1月21日(2015.1.21)

(24) 登録日 平成26年12月5日(2014.12.5)

(51) Int.Cl.

F 1

H03M 13/19	(2006.01)	H03M 13/19
G 11 B 20/14	(2006.01)	G 11 B 20/14 3 4 1 B
G 11 B 20/18	(2006.01)	G 11 B 20/18 5 3 4 A
		G 11 B 20/18 5 7 2 B
		G 11 B 20/18 5 7 2 F

請求項の数 12 (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2011-9727(P2011-9727)

(22) 出願日

平成23年1月20日(2011.1.20)

(65) 公開番号

特開2011-229119(P2011-229119A)

(43) 公開日

平成23年11月10日(2011.11.10)

審査請求日 平成25年10月9日(2013.10.9)

(31) 優先権主張番号 12/763,050

(32) 優先日 平成22年4月19日(2010.4.19)

(33) 優先権主張国 米国(US)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 508243639

エルエスアイ コーポレーション
アメリカ合衆国カリフォルニア州95133
1, サンノゼ, リッダー・パーク・ドライ
ヴ 1320

(74) 代理人 100087642

弁理士 古谷 聰

(74) 代理人 100121061

弁理士 西山 清春

(72) 発明者 シャオファ ヤン
アメリカ合衆国 95135 カリフォル
ニア, サンタ クララ, ヴォルタイア
ストリート 4235

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】データ復号システムにおける動的スケーリングのためのシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

デコーダ回路を備え、前記デコーダ回路は、データ復号アルゴリズムの一部として前記デコーダ回路の内部で少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することによってデータ復号アルゴリズムを実行するように動作可能であり、さらに、

スカラ回路を備え、前記スカラ回路は、前記デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けるように動作可能であり、

前記可変スカラ値が第1のスカラ値と第2のスカラ値とを含み、前記デコーダ回路が第1の復号処理と第2の復号処理とを同じ符号語に行なうように動作可能であり、前記スカラ回路が、前記デコーダ・メッセージに第1の復号処理中に前記第1のスカラ値を掛け、第2の復号処理中に前記第2のスカラ値を掛け、

前記第1のスカラ値が前記第2のスカラ値より大きく、前記第1のスカラ値が、前記符号語中のノイズレベルが低い部分に対する前記データ復号アルゴリズムの高速の収束を促進するように選択され、前記第2のスカラ値が、前記符号語中のノイズレベルが高い部分を含む強化された情報を前記データ復号アルゴリズムに提供するように選択される、データ処理回路。

【請求項 2】

前記第1の復号処理が前記データ処理回路の第1のグローバル反復の一部として行われ、前記第2の復号処理が前記データ処理回路の第2のグローバル反復の一部として行われる、請求項1に記載のデータ処理回路。

【請求項 3】

前記第1の復号処理が前記データ処理回路の第1のローカル反復の一部として行われ、前記第2の復号処理が前記データ処理回路の第2のローカル反復の一部として行われる、請求項1に記載のデータ処理回路。

【請求項 4】

前記デコーダ回路が低密度パリティ検査デコーダである、請求項1に記載のデータ処理回路。

【請求項 5】

前記低密度パリティ検査デコーダが少なくとも1つの可変ノードと少なくとも1つの検査ノードとを含み、前記デコーダ・メッセージが前記可変ノードから前記検査ノードへ渡される、請求項4に記載のデータ処理回路。10

【請求項 6】

前記低密度パリティ検査デコーダが少なくとも1つの可変ノードと少なくとも1つの検査ノードとを含み、前記デコーダ・メッセージが前記検査ノードから前記可変ノードへ渡される、請求項4に記載のデータ処理回路。

【請求項 7】

前記データ処理回路が記憶装置の一部として実装される、請求項1に記載のデータ処理回路。

【請求項 8】

前記データ処理回路がデータ伝送装置の一部として実装される、請求項1に記載のデータ処理回路。20

【請求項 9】

前記データ処理回路が集積回路の一部として実装される、請求項1に記載のデータ処理回路。

【請求項 10】

データ復号アルゴリズムの一部として少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することによってデータ復号アルゴリズムを実行するように動作可能なデータ・デコーダと、
、

前記デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けるよう動作するスカラ回路とを備え、
前記可変スカラ値が第1のスカラ値と第2のスカラ値とを含み、前記データ・デコーダが、第1の復号処理と第2の復号処理と同じ符号語に行うように動作可能であり、前記スカラ回路が、前記デコーダ・メッセージに第1の復号処理中に前記第1のスカラ値を掛け、第2の復号処理中に前記第2のスカラ値を掛け。30

前記第1のスカラ値が前記第2のスカラ値より大きく、前記第1のスカラ値が、前記符号語中のノイズレベルが低い部分に対する前記データ復号アルゴリズムの高速の収束を促進するように選択され、前記第2のスカラ値が、前記符号語中のノイズレベルが高い部分を含む強化された情報を前記データ復号アルゴリズムに提供するように選択される、データ処理システム。

【請求項 11】

前記データ処理システムが集積回路の一部として実装される、請求項10に記載のデータ処理システム。40

【請求項 12】

前記データ処理システムが、記憶デバイス及び受信デバイスからなる群から選択されるデバイスの一部として実装される、請求項10に記載のデータ処理システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、情報を検出および/または復号するためのシステムおよび方法に関し、より詳細には可変的にスケール調整されるデータ処理を行うためのシステムおよび方法に関する。50

【背景技術】**【0002】**

記憶システム、携帯電話システム、および無線伝送システムなど、様々なデータ伝送システムが開発されてきた。このシステムのそれぞれにおいて、データはいくつかの媒体を介して送る側から受け取る側へ転送される。例えば、記憶システムにおいてデータは、記憶媒体を介して送る側（すなわち書き込み機能）から受け取る側（すなわち読み取り機能）に送られる。いかなる転送の有効性も、様々な要因によって引き起こされるデータの損失によって影響を受ける。場合によっては、データエラーを検出して、該データエラーを訂正する能力を強化するために、符号化／復号化処理が使用される。一例として、簡単なデータ検出および復号が行われる場合があるが、このような簡単な処理は、訂正されたデータストリーム上で収束する能力がないことが多い。

【0003】

収束の可能性を高めるために、様々な既存の処理は、2回以上の検出および復号の反復を利用する。図1を見ると、例示的な従来技術の2段階のデータ検出および復号回路100が示されている。2段階のデータ検出および復号回路100は、データ入力105を受け取り、これが検出器110に加えられる。検出器110からの硬出力および軟出力は、低密度パリティ検査デコーダ（「L D P C デコーダ」）115に提供される。入力105は、バッファ130を介して別の検出器120にフィードフォワードされる。検出器120は、L D P C 判定器115の軟出力および入力105を使用して、さらなるデータ検出処理を行う。検出器120からの硬出力および軟出力は、L D P C デコーダ125に提供され、このL D P C デコーダ125が第2の復号処理を行い、出力135を提供する。検出器110およびL D P C デコーダ115によって行われる最初の検出および復号が収束しない場合、検出器120およびL D P C デコーダ125によって行われるその後の検出および復号は、収束するためのさらなる機会を提供する。こうしたシステムでは、処理の様々な段階の間でデータを操作するために、様々なスカラがシステムに設計される。こうしたスカラは設計時に固定されるか、またはシステムが記憶媒体に導入されると調整されることが可能であるプログラム可能な静的な値である。しかしながら場合によっては、ある段階から別の段階へのデータが飽和状態になり、システムの機能を制限する。

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

したがって、少なくとも前述の理由により、データ処理のための高度なシステムおよび方法の技術分野における必要性がある。

【課題を解決するための手段】**【0005】**

本発明は、情報を検出および／または復号するためのシステムおよび方法に関し、より詳細には可変的にスケール調整されるデータ処理を行うためのシステムおよび方法に関する。

【0006】

本発明の様々な実施形態は、デコーダ回路およびスカラ回路を含むデータ処理回路を提供する。デコーダ回路は、少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することによってデータ復号アルゴリズムを実行するように動作可能であり、スカラ回路は、デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けるように動作可能である。前述の実施形態のいくつかの場合では、スカラ回路は第1の復号処理の間に可変デコーダ値の第1のインスタンスを、および第2の復号処理の間に可変スカラ値の第2のインスタンスをデコーダ・メッセージに掛ける。場合によっては、第1の復号処理は、データ処理回路の第1のグローバル反復の一部として行われ、第2の復号処理は、データ処理回路の第2のグローバル反復の一部として行われる。他の場合では、第1の復号処理は、データ処理回路の第1のローカル反復の一部として行われ、第2の復号処理は、データ処理回路の第2のローカル反復の一部として行われる。特定の場合では、第1の値は、第2の値より大きい。第1の値は、データ

タ復号アルゴリズムの高速の収束を促進するように選択され、第2のスカラは、強化された情報をデータ復号アルゴリズムに提供するように選択される。前述の諸実施形態の特定の場合では、デコーダ回路は低密度パリティ検査デコーダである。いくつかのこのような場合には、低密度パリティ検査デコーダは、少なくとも1つの可変ノードと少なくとも1つの検査ノードとを含み、デコーダ・メッセージは可変ノードから検査ノードへ渡される。他のこのような場合には、低密度パリティ検査デコーダは、少なくとも1つの可変ノードと少なくとも1つの検査ノードとを含み、デコーダ・メッセージは検査ノードから可変ノードへ渡される。

【0007】

本発明の他の実施形態は、データ検出器回路およびデータ・デコーダ回路を含むデータ処理システムを提供する。データ検出器回路は、データ入力を受信するように、および検出された出力を提供するように動作可能である。データ・デコーダ回路は、検出された出力に1つまたは複数のローカル反復を行うように、および復号された出力を提供するように動作可能である。デコーダ回路は、少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することによってデータ復号アルゴリズムを実行するように動作可能であり、またデコーダ回路は、デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けるように動作可能であるスカラ回路を含む。

【0008】

本発明のさらに他の実施形態は、データセットに対応する少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することを含む、データ復号アルゴリズムをデータセットに適用することと、デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けることとを含むデータ処理のための方法を提供する。場合によっては、可変スカラ値は、第1のスカラ値と第2のスカラ値とを含み、デコーダ・メッセージは第1のデコーダ・メッセージであり、第1のデコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けることは、第1のデコーダ・メッセージに第1のスカラ値を掛けることを含む。このような方法は、データセットの派生物に対応する少なくとも第2のデコーダ・メッセージを処理することを含む、データセットの派生物にデータ復号アルゴリズムを適用することと、第2のデコーダ・メッセージに第2のスカラ値を掛けることをさらに含む。

【0009】

この概略は、本発明のいくつかの実施形態の単に大まかな要点を提供する。次の詳細な説明、添付の特許請求の範囲、および添付の図面から、本発明の他の多くの目的、特徴、利点、および他の実施形態がより十分に明らかになるであろう。

【0010】

本発明の様々な実施形態のさらなる理解は、本明細書の残りの部分に記載される図を参照して実現可能である。図中において、同様の構成要素を指すために、いくつかの図を通して同じ参照符号が使用される。場合によっては、複数の同様の構成要素の1つを示すために、小文字からなるサブラベルが参照符号に関連付けられる。既存のサブラベルへの指定なしに参照符号が参照されるときは、このような複数の同様の構成要素すべてを指すものとする。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】従来技術の2段階データ検出および復号システムを示す図である。

【図2】図2aは、本発明の1つまたは複数の実施形態に従った内部動的スケーリングを備えるデコーダ回路を含むデータ処理回路を示す図であり、図2bは、本発明の一部の実施形態に従った内部動的スケーリングおよびグローバル動的スケーリングを有する別のデータ処理回路を示す図である。

【図3】本発明の一部の実施形態に従った動的スケーリングを示すL D P C デコーダ回路を示す図である。

【図4a】本発明の様々な実施形態に従って示されるデコーダ・メッセージの動的スケーリングを含む待ち行列検出および復号回路を示す図である。

10

20

30

40

50

【図4 b】本発明の様々な実施形態に従ったデコーダ・メッセージの動的スケーリングおよびグローバル・ループにおける動的スケーリングを含む、待ち行列検出および復号回路を示す図である。

【図5 a】本発明の一部の実施形態に従った、デコーダ・メッセージの動的スケーリングを使用するデータ処理のための方法を示すフロー図である。

【図5 b】本発明の一部の実施形態に従った、デコーダ・メッセージの動的スケーリングおよびグローバル処理ループにおける動的スケーリングを使用するデータ処理のための方法を示すフロー図である。

【図6 a】図6 a乃至dは、本発明の様々な実施形態に従ってスケーリング係数を動的に計算するための様々な手法を示す4つのフロー図である。 10

【図6 b】図6 a乃至dは、本発明の様々な実施形態に従ってスケーリング係数を動的に計算するための様々な手法を示す4つのフロー図である。

【図6 c】図6 a乃至dは、本発明の様々な実施形態に従ってスケーリング係数を動的に計算するための様々な手法を示す4つのフロー図である。

【図6 d】図6 a乃至dは、本発明の様々な実施形態に従ってスケーリング係数を動的に計算するための様々な手法を示す4つのフロー図である。

【図7】本発明の様々な実施形態に従った動的デコーダ・スケーリングを備える記憶システムを示す図である。

【図8】本発明の様々な実施形態に従って可変的にスケール調整されるデコーダの処理を備えるリード・チャネル回路を有する受信機を含む通信システムを示す図である。 20

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明は、情報を検出するおよび／または復号するためのシステムおよび方法に関し、より詳細には可変にスケール調整されたデータ処理を行うためのシステムおよび方法に関する。

【0013】

本発明の様々な実施形態は、リード・チャネル、無線伝送、および他の用途に好適な復号のための解決法を提供する。このような復号／検出回路は、データをデータ・デコーダに提供する軟判定デコーダを含む。軟判定デコーダ内のメッセージは、ローカル・スケーリング値を使用してスケール調整される。このような手法により、比較的高いローカル・スカラ値を最初に使用することにより比較的小量のノイズで符号語の収束をスピードアップすることができ、別の方法では比較的低いローカル・スカラ値を後で使用することにより収束していなかった可能性がある符号語に対するより良好な復号性能を実現する。 30

【0014】

本発明のいくつかの実施形態は、デコーダ回路およびスカラ回路を含むデータ処理回路を提供する。本明細書で使用される「デコーダ回路」という語句は、その最も広い意味で使用されて、事前に符号化されたデータセットを復号するように動作可能であるいかなる回路をも意味する。したがって、一例としてデコーダ回路は、LDPCデコーダ回路であることが可能である。本明細書に提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態との関連で使用されることが可能である様々なデコーダ回路を理解するであろう。本明細書で使用される「スカラ回路」という語句は、その最も広い意味で使用されて、受け取られた入力をスケール調整するように動作可能であるいかなる回路をも意味する。本明細書に提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態との関連で使用されることが可能である様々なスカラ回路を理解するであろう。デコーダ回路は、少なくとも1つのデコーダ・メッセージを処理することによってデータ復号アルゴリズムを実行するように動作可能であり、スカラ回路は、デコーダ・メッセージに可変スカラ値を掛けるように動作可能である。本明細書で使用される「デコーダ・メッセージ」という語句は、その最も広い意味で使用されて、デコーダ回路の内部で渡されるいかなる値をも意味する。したがって、一例としてデコーダ・メッセージは、LDPCデコーダ内で可変ノードから検査ノードへ渡されるデータセットであることが可能であり、またはLDPCデコ 40

ーダ内で検査ノードから可変ノードへ渡されるデータセットであることが可能である。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態との関連で使用されることが可能である様々なデコーダ・メッセージを理解するであろう。

【0015】

前述の諸実施形態のいくつかの場合において、スカラ回路は、第1の復号処理中に可変デコーダ値の第1のインスタンス（すなわち第1の値）を、および第2の復号処理中に可変スカラ値の第2のインスタンス（すなわち第2の値）を、デコーダ・メッセージに掛ける。場合によっては、第1の復号処理は、データ処理回路の第1のグローバル反復の一部として行われ、第2の復号処理は、データ処理回路の第2のグローバル反復の一部として行われる。本明細書で使用される「グローバル反復」という語句は、その最も広い意味で使用されて、データ検出アルゴリズムとデータ復号アルゴリズムが共に適用される処理を意味する。したがって、一例としてグローバル反復は、あるデータセットにデータ検出アルゴリズムを適用し、続いてこのデータ検出の結果にデータ復号アルゴリズムを1回または複数回適用することを含むことができる。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態との関連で使用されることが可能である様々なグローバル反復を理解するであろう。他の場合では、第1の復号処理は、データ処理回路の第1のローカル反復の一部として行われ、第2の復号処理は、データ処理回路の第2のローカル反復の一部として行われる。本明細書で使用される「ローカル反復」という語句は、その最も広い意味で使用されて、データ検出アルゴリズムまたはデータ復号アルゴリズムのうちの1つが適用される処理を意味する。したがって、一例としてローカル反復は、データ検出器回路がデータ復号アルゴリズムを適用することを含むことができる。グローバル反復中にデータ復号アルゴリズムをただ1回適用する場合、1回のローカル反復が行われたと言われる。一方、データ復号アルゴリズムを2回以上適用する場合、2回以上のローカル反復が適用されたと言われる。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態との関連で使用されることが可能である様々なローカル反復を理解するであろう。10

【0016】

図2aを見ると、本発明の1つまたは複数の実施形態に従った内部動的スケーリングを含むデコーダ回路295を含むデータ処理回路200が示されている。さらに、データ処理回路200は、チャネル検出器回路210を含んでいる。データ処理回路200は、チャネル検出器210でデータ入力205を受け取る。データ入力205は、例えば記憶媒体から、または伝送チャネルから得られる場合がある。特定の場合には、データ入力205は、符号語と呼ばれることがあるデータ群またはデータセットとして提供される。ハードディスクドライブの場合には、受け取られるデータセットは、ハードディスクドライブの記憶媒体からのデータのセクタである場合がある。本明細書で提供する開示に基づいて、当業者は、データ入力の他のソース、および本発明の異なる実施形態に従って処理されることが可能である他のデータセットを理解するであろう。30

【0017】

チャネル検出器210は、当技術分野で知られているいかなるチャネル検出器であってもよく、軟出力ビタビ（V i t e r b i ）アルゴリズム（S O V A ）検出器または最大事後（M A P ）検出器を含むが、これらに限定されない。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態に従って使用されることが可能である様々なチャネル検出器を理解するであろう。チャネル検出器210の出力は、デコーダ回路295に提供される。40

【0018】

デコーダ回路295は、L D P C デコーダ215および可変スカラ回路220を含む。L D P C デコーダ215は最初に、チャネル検出器210から受け取った出力のL D P C 復号を行う。この最初の復号通過（すなわち最初のローカル反復）において、L D P C デコーダ215は、可変スカラ回路220からの出力290として提供された最初のスカラ値をチャネル検出器210の出力に掛ける。この復号処理が完了すると、L D P C デコー50

ダ 2 1 5 をもう一度通過すること（すなわち別のローカル反復）が要求されているかどうかが判断される。この判断は、L D P C デコーダ 2 1 5 が収束したかどうか、および収束しなかったことは L D P C デコーダ 2 1 5 をさらに通過することによって利益を得られるかどうかに基づいて行われることが可能である。当技術分野で知られている、さらなるローカル・デコーダ・ループが必要であるかどうかを判断するためのいかなる手法も使用することができる。さらなるローカル反復が行われるべきである場合、L D P C デコーダ 2 1 5 が信号 2 9 9 をアサートし、可変スカラ回路 2 2 0 は出力 2 9 0 として提供されるスカラ値を動的に変更する。さらに、L D P C デコーダ 2 1 5 の出力 2 9 7 は、再処理に備えてフィードバックされる。L D P C デコーダ 2 1 5 をその後に通過するとき、出力 2 9 7 に復号処理が行われ、この出力 2 9 7 に、出力 2 9 0 として受け取られる変更されたスカラ値が掛けられる。この処理は、L D P C デコーダ 2 1 5 を通るローカル反復毎に繰り返される。10

【 0 0 1 9 】

本発明の 1 つの特定の実施形態では、出力 2 9 0 として提供される最初のスカラ値は 0 . 7 5 であり、L D P C デコーダ 2 1 5 を通る次のローカル反復の度に、可変スカラ回路 2 2 0 は、1 / 3 2 というハードウェアに適した値だけ出力 2 9 0 として提供されるスカラ値を減少させる。したがって、第 2 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 7 1 8 8 であり、第 3 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 6 8 7 5 であり、第 4 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 6 5 6 3 であり、第 5 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 6 2 5 であり、第 6 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 5 9 3 8 であり、第 7 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 5 6 2 5 であり、第 8 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 5 3 1 3 であり、第 9 のローカル反復ではスカラ値は 0 . 5 である。ある時点で、可変スカラ回路 2 2 0 は出力 2 9 0 として提供されるスカラ値の変更をやめ、スカラ値を一定に維持する。したがって、前述の例を使用すると、第 1 0 以降のローカル反復において可変スカラ回路 2 2 0 はスカラ値を 0 . 5 に維持する。ローカル反復のすべてが完了すると、L D P C デコーダ 2 1 5 はデータ出力 2 2 5 を提供する。20

【 0 0 2 0 】

図 2 b を見ると、本発明のいくつかの実施形態に従った内部動的スケーリングおよびグローバル動的スケーリングを有するデコーダ回路 2 9 6 を含むデータ処理回路 2 0 1 が示されている。さらに、データ処理回路 2 0 1 は、データ入力 2 0 6 が受け取られるチャネル検出回路 2 1 1 を含む。データ入力 2 0 6 は、記憶媒体から、または伝送チャネルから得られる場合がある。特定の場合には、データ入力 2 0 6 は、符号語と呼ばれることがあるデータ群またはデータセットとして提供される。ハードディスクドライブの場合には、受け取られるデータセットは、ハードディスクドライブの記憶媒体からのデータのセクタである場合がある。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、他のデータ入力のソース、および本発明の異なる実施形態に従って処理されることが可能である他のデータセットを理解するであろう。30

【 0 0 2 1 】

チャネル検出器 2 1 1 は、当技術分野で知られるいかなるチャネル検出器であってもよく、軟出力ビタビアルゴリズム検出器（S O V A）または最大事後（M A P）検出器を含むが、これらに限定されない。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態に従って使用されることが可能である様々なチャネル検出器を理解するであろう。チャネル検出器 2 1 1 の出力は、デコーダ回路 2 9 6 に提供される。40

【 0 0 2 2 】

デコーダ回路 2 9 6 は、L D P C デコーダ 2 1 6 と、可変スカラ回路 2 2 1 とを含む。L D P C デコーダ 2 1 6 は最初に、チャネル検出器 2 1 1 から受け取られた出力の L D P C 復号を行う。この最初の復号通過（すなわち最初のローカル反復）において、L D P C デコーダ 2 1 6 は、可変スカラ回路 2 2 1 からの出力 2 9 4 として提供された最初のスカラ値をチャネル検出器 2 1 1 の出力に掛ける。復号処理が完了すると、L D P C デコーダ 2 1 6 をもう一度通過することが要求されているかどうかが判断される。この判断は、L50

DPCデコーダ216が収束したかどうか、収束しなかったことはLDPDデコーダ216をさらに通すことによって利益を得られるかどうかに基づいて行われることが可能である。当技術分野で知られているさらなるローカル・デコーダ・ループの必要性を判断するためのいかなる手法も利用可能である。さらなるローカル反復が行われるべきである場合、LDPDデコーダ216は信号296をアサートし、可変スカラ回路221は出力294として提供されるスカラ値を動的に変更する。さらに、LDPDデコーダ216の出力298は、再処理に備えてフィードバックされる。LDPDデコーダ216をその後に通過するとき、復号処理は出力298に適用され、出力294として受け取られる変更されたスカラ値を掛けられる。この処理は、LDPDデコーダ216を通るローカル反復毎に繰り返される。

10

【0023】

本発明の1つの特定の実施形態では、出力294として提供される最初のスカラ値は0.75であり、LDPDデコーダ216を通る次のローカル反復の度に、可変スカラ回路221は、1/32というハードウェアに適した値だけ出力294として提供される値を減少させる。したがって、第2のローカル反復ではスカラ値は0.7188であり、第3のローカル反復ではスカラ値は0.6875であり、第4のローカル反復ではスカラ値は0.6563であり、第5のローカル反復ではスカラ値は0.625であり、第6のローカル反復ではスカラ値は0.5938であり、第7のローカル反復ではスカラ値は0.5625であり、第8のローカル反復ではスカラ値は0.5313であり、第9のローカル反復ではスカラ値は0.5である。ある時点で、可変スカラ回路221は出力294として提供されるスカラ値の変更をやめ、スカラ値を一定に維持する。したがって、前述の例を使用すると、第10以降のローカル反復において可変スカラ回路221はスカラ値を0.5に維持する。ローカル反復のすべてが完了すると、LDPDデコーダ216はデータ出力226を提供する。

20

【0024】

さらに、複数のグローバル反復（すなわちチャネル検出器211とデコーダ回路296の両方を通る処理）が可能である。さらなるグローバル反復が求められる場合、データ出力226はチャネル検出器211にフィードバックされ、チャネル検出器211とデコーダ回路296の両方を通って再処理される。別のグローバル動作を行うべきかどうかに関する決定は、当技術分野で知られているいかなる基準を使用して行われることも可能である。

30

【0025】

図3を見ると、LDPDデコーダ回路の図形表示300が、本発明のいくつかの実施形態に従った動的スケーリングを示している。図形表示300は、LDPDデコーダの例示的動作を表している。図形表示300は、アップストリーム検出器（図示せず）の出力から受け取られる入力310、および回路の出力としてまたはアップストリームもしくはダウンストリーム検出器（図示せず）へ提供される出力320を示している。入力データは、V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7として示すいくつかの可変ノードへ提供される。可変ノードからのメッセージは、矢印で示すように、C1、C2、C3として示す検査ノードへ渡される。これらのメッセージは、S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、S11、S12として示す乗算器を使用してローカル・スカラ値を掛けられる。乗算器S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、S11、S12のそれぞれによって乗算されたローカル・スカラ値は、ローカル反復の数とグローバル反復の数の一方または両方に応じて動的に変更されることが可能である。検査ノードC1、C2、C3によって行われた検査の結果は、矢印で示すように、乗算されずに可変ノードV1、V2、V3、V4、V5、V6、V7に戻される。これらの結果は、出力320として提供されることが可能であり、あるいは別のローカル・デコーダ反復が要求される場合、変数V1、V2、V3、V4、V5、V6、V7における値は矢印で示すように再び検査ノードC1、C2、C3に転送され、可変ローカル・スカラ値による乗算が行われる。この処理において、変数V1、V2、V3、V4、V5、V6、

40

50

V7と検査ノードC1、C2、C3との間で渡されるメッセージは、次の公式に従ってローカル・スカラ値を掛けられる：

$$(V \text{ から } C \text{ へのメッセージ}) = (\text{ローカル・スカラ値}) (V \text{ から } C \text{ へのメッセージ})$$

このようなスケーリングは、いかなる更新スケジュールとも無関係にLDPCTデコーダに適用されることが可能であり、階層化されたデコーダおよびフラッディング・スケジュールを使用するデコーダとの関連で使用されることが可能である。さらに、このような内部スケーリングは、可変ノードから検査ノードへ転送されるメッセージに適用されるように記載しているが、本発明の他の実施形態では、スケーリングは検査ノードから可変ノードへ転送されるメッセージに適用されることが可能であることに注意されたい。10

【0026】

図4aを見ると、本発明の様々な実施形態に従って、デコーダ・メッセージの動的スケーリングを含む待ち行列検出および復号回路400が示されている。待ち行列検出および復号回路400は、チャネル検出器409にフィードされるデータ入力405を含む。いくつかの実施形態では、データ入力405は記憶媒体から、または伝送チャネルから得られる場合がある。特定の場合には、データ入力405は、符号語と呼ばれることがあるデータ群またはデータセットとして提供される。ハードディスクドライブの場合には、受け取られるデータセットはハードディスクドライブの記憶媒体からのデータのセクタである場合がある。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、他のデータ入力のソース、および本発明の異なる実施形態に従って処理されることが可能である他のデータセットを理解するであろう。20

【0027】

チャネル検出器409は、当技術分野で知られるいかなるタイプのチャネル検出器であってもよく、軟出力ビタビアルゴリズム検出器(SOVA)または最大事後(MAP)検出器を含むが、これらに限定されない。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態に従って使用されることが可能である様々なチャネル検出器を理解するであろう。さらにデータ入力405は、データ入力405から受け取られるいくつかのデータセットを保持するように設計されたメモリバッファ413に提供される。メモリバッファ413のサイズは、データ入力405を介して提供されるデータセットが少なくとも同じデータセットの第1の反復処理が完了するまで引き続き利用できる状態にするように、十分なバッファリングを提供するように選択されることが可能であり、処理されたデータは、以下でより十分に説明するように、待ち行列バッファ449の中で利用可能である。メモリバッファ413は、データセットをチャネル検出器417に提供する。チャネル検出器409と同様に、チャネル検出器417は当技術分野で知られているいかなるタイプのチャネル検出器であってもよく、SOVA検出器またはMAP検出器を含むが、これらに限定されない。やはり本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の異なる実施形態に従って使用されることが可能である様々なチャネル検出器を理解するであろう。30

【0028】

チャネル検出器409の出力481はインターリーバ回路494に提供され、チャネル検出器417の出力483は別のインターリーバ回路492に提供される。インターリーバ回路494は、ピンポンバッファ496を使用してチャネル検出器409の出力をインターリープし、インターリーバ回路492は、ピンポンバッファ498を使用してチャネル検出器417の出力をインターリープする。ピンポンバッファ496のバッファのうちの一方は、チャネル検出器409からの出力の前のインターリープ処理の結果を保持し、マルチプレクサ421を介してLDPCTデコーダ437にアンロードされ、ピンポンバッファ496の他方のバッファは、現在インターリープされている、チャネル検出器409からのデータセットを保持する。同様に、ピンポンバッファ498のバッファのうちの一方は、チャネル検出器417からの出力の前のインターリープ処理の結果を保持し、マル4050

チプレクサ421を介してL D P Cデコーダ437にアンロードされ、ピンポンバッファ498の他方のバッファは、現在インターリープされている、チャネル検出器417からのデータセットを保持する。本発明の異なる実施形態では、L D P Cデコーダ437の代わりに他の軟判定データ・デコーダを使用することができるということに注意されたい。

【0029】

L D P Cデコーダ437は、1つまたは複数のデータセットを同時に復号することができる。一例として、L D P Cデコーダ437は、ピンポンバッファ496からのインターリープされたデータセットを復号する、ピンポンバッファ498からのインターリープされたデータセットを復号する、またはピンポンバッファ496およびピンポンバッファ498からのインターリープされたデータセットを同時に復号するように設計されることが可能である。L D P Cデコーダ437を1回または複数回通過することが要求される場合がある。やはりこのような通過は、本明細書ではローカル反復と呼ばれ、L D P Cデコーダによってもう一度L D P Cデコーダ437の出力を再処理することを含む。このような場合、L D P Cデコーダ437の内部メッセージは、ローカル動的スカラ回路439によつて生成されるローカル動的スカラ値を掛けられることが可能である。この乗算処理は、図3に関して上述した乗算処理と同様に実行されることが可能である。

【0030】

本発明のいくつかの実施形態では、ローカル動的スカラ回路439は、第1のグローバル反復（すなわちチャネル検出器409およびL D P Cデコーダ437を通る処理）において使用される最初のローカル・スカラ値を提供し、この同じローカル・スカラ値が、特定のグローバル反復に続く次の各ローカル反復に使用される。さらなるグローバル反復が行われる（すなわちチャネル検出器417およびL D P Cデコーダ437を通る処理）度に、スカラ値は定義された量だけ削減され、削減されたスカラ値は、次に続くローカル反復に使用される。本発明の1つの特定の実施形態では、最初のスカラ値は0.75であり、次のグローバル反復の度にローカル動的スカラ回路439は1/32というハードウェアに適した値だけスカラ値を減少させる。したがって、第2のグローバル反復ではスカラ値は0.7188であり、第3のグローバル反復ではスカラ値は0.6875であり、第4のグローバル反復ではスカラ値は0.6563であり、第5のグローバル反復ではスカラ値は0.625であり、第6のグローバル反復ではスカラ値は0.5938であり、第7のグローバル反復ではスカラ値は0.5625であり、第8のグローバル反復ではスカラ値は0.5313であり、第9のグローバル反復ではスカラ値は0.5である。ある時点で、ローカル動的スカラ回路439はローカル・スカラ値の変更をやめ、ローカル・スカラ値を一定に維持する。したがって、前述の例を使用すると、第10以降のグローバル反復においてローカル動的スカラ回路439はローカル・スカラ値を0.5に維持する。復号処理を行う前に、L D P Cデコーダ437は、ローカル動的スカラ回路439からのローカル・スカラ値をマルチプレクサ421からのデータ出力487に掛ける。本発明の他の諸実施形態では、各グローバル反復の後に行われる変更に加えて、またはこれに代わって、各ローカル反復の後にローカル・スカラ値の値が変更されることが可能であることに注意されたい。

【0031】

一般的な法則として、より高いローカル・スカラ値を使用すると、デコーダによる収束の割合が増大し、低ノイズがもたらされる。対照的に、より低いローカル・スカラ値を使用すると、収束の可能性が増大するが収束の割合が減少し、データストリーム中のビットの1つまたは複数により高いノイズが示される。より小さいスカラを掛けられたビットは、デコーダ回路を飽和状態にすることが少なく、したがって復号プロセスにより多くのデータが使用されるよう維持されるので、より高い収束の確率がもたらされる。可変ローカル・スカラ値を使用することにより、本発明のいくつかの実施形態は、より低いノイズレベルを示す符号語中の様々な領域における比較的高速の収束を提供する。その後、より高いノイズレベルを示す符号語中の領域は、収束の割合を減少させるが、収束を達成するために利用されることが可能であるデータの範囲を増大させる、次第により低いスカラ値

10

20

30

40

50

で処理される。

【0032】

所望のローカル反復がL D P C デコーダ437によって完了されると、その結果もたらされる復号されたデータは、硬判定出力441として提供されるか、またはデインターリーバ回路445への出力485として提供され、デインターリーバ回路は、待ち行列バッファ449を使用して復号されたデータをデインターリープし、チャネル検出器417が将来の処理に利用できるまで、デインターリープされたデータを格納する。

【0033】

待ち行列バッファ449中のバッファの1つが、前のデインターリープ処理の結果を保持し、チャネル検出器417にアンロードされ、待ち行列バッファ449の別のバッファは、現在デインターリープされている復号されたデータセットを保持し、待ち行列バッファ449中の1つまたは複数の他のバッファは、他の非収束データを維持し、チャネル検出器417による処理に備えて待機する。待ち行列バッファ449からの非収束データは、デインターリーバ445によってデインターリープされ、メモリバッファ413中の対応するデータセットにアクセスできるチャネル検出器417に渡される。チャネル検出器417によって行われるデータ検出は、チャネル検出器409によって行われるデータ検出と同様である。あるいは、データセットがL D P C デコーダ437中で収束する場合、これはデインターリーバ回路457へ硬判定出力441として提供され、デインターリーバ回路457は、受信した硬判定出力441をデインターリープし、デインターリープした結果をいくつかのメモリバッファ461のうちの1つに格納する。最終的には、デインターリーバ回路457が、メモリバッファ461に格納されたデインターリープされたデータを出力471として提供する。

【0034】

待ち行列検出 / 復号回路400により、導入されるデータに応じて可変数の検出および復号の反復を行うことが可能になる。さらに、場合によっては、待ち行列検出 / 復号回路400を使用することによってかなりの電力の節減を実現することができる。さらにまた場合によっては、複数の反復が必ずしも必要とされないので実質的な第1の反復のデータの収束が存在する場合、スループットを増大させることができ、より速いL D P C デコーダを実装することができる。またさらに、L D P C デコーダ437の結果が順不同に報告されることを可能にすることによって、アップストリームの処理は、ダウンストリームの処理の完了を待つ必要がない。順不同的の結果の並べ替えは、待ち行列検出 / 復号回路400によって、または出力471のダウンストリームの受信部によって行われることが可能である。また、デコーダ437内で動的スカラを使用することにより、比較的高いローカル・スカラ値を迅速に使用して符号語の実質的にノイズのない領域を解決し、比較的小さいローカル・スカラ値を使用して符号語のよりノイズの多い領域を解決することができる。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の1つまたは複数の実施形態を実施することによって実現されることが可能である様々な他の利点を理解するであろう。

【0035】

図4bを見ると、本発明の様々な実施形態に従って、デコーダ・メッセージの動的スケーリングおよびグローバル・ループにおける動的スケーリングを含む待ち行列検出および復号回路499が示されている。待ち行列検出および復号回路499は、チャネル検出器409にフィードされるデータ入力405を含んでいる。さらにデータ入力405は、データ入力405から受け取られるいくつかのデータセットを保持するように設計されたメモリバッファ413に提供される。メモリバッファ413のサイズは、十分なバッファリングを行うように選択されて、以下にさらに十分に説明するように、データ入力405によって提供されるデータセットが少なくともこの同じデータセットの第1の反復処理が完了するまで利用可能に維持されて、処理されたデータが待ち行列バッファ449で利用できるようにすることが可能である。メモリバッファ413は、チャネル検出器417にデータセットを提供することができる。

10

20

30

40

50

【0036】

チャネル検出器409の出力481はインターリーバ回路494に提供され、チャネル検出器417の出力483はインターリーバ回路492に提供される。インターリーバ回路494は、ピンポンバッファ496を使用してチャネル検出器409の出力をインターリープし、インターリーバ回路492は、ピンポンバッファ498を使用してチャネル検出器417の出力をインターリープする。ピンポンバッファ496のバッファのうちの一方は、チャネル検出器409からの出力の前のインターリープ処理の結果を保持し、マルチプレクサ421を介してLDP Cデコーダ437にアンロードされ、ピンポンバッファ496の他方のバッファは、現在インターリープされている、チャネル検出器409からのデータセットを保持する。同様に、ピンポンバッファ498のバッファのうちの一方は、チャネル検出器417からの出力の前のインターリープ処理の結果を保持し、マルチプレクサ421を介してLDP Cデコーダ437にアンロードされ、ピンポンバッファ498の他方のバッファは、現在インターリープされている、チャネル検出器417からのデータセットを保持する。10

【0037】

LDP Cデコーダ437を通る1つまたは複数の通過（すなわちローカル反復）が求められる場合がある。このような場合、LDP Cデコーダ437の内部メッセージは、ローカル動的スカラ回路439によって生成されるローカル動的スカラ値を掛けられることが可能である。この乗算処理は、図3に関して上述した乗算処理と同様に実行されることが可能である。20

【0038】

本発明のいくつかの実施形態では、ローカル動的スカラ回路439は、第1のグローバル反復（すなわちチャネル検出器409およびLDP Cデコーダ437を通る処理）において使用される最初のローカル・スカラ値を提供し、この同じローカル・スカラ値は、特定のグローバル反復に続く次の各ローカル反復に使用される。さらなるグローバル反復が行われる（すなわちチャネル検出器417およびLDP Cデコーダ437を通って処理する）度に、スカラ値は定義された量だけ削減され、削減されたスカラ値は、次に続くローカル反復に使用される。

【0039】

所望のローカル反復がLDP Cデコーダ437によって完了されると、結果として生じる復号されたデータは、硬判定出力441として提供されるか、またはデインターリーバ回路445への出力485として提供され、デインターリーバ回路445は待ち行列バッファ449を使用して、復号されたデータをデインターリープし、チャネル検出器417がさらなる処理に利用できるまでデインターリープされたデータを格納する。30

【0040】

待ち行列バッファ449のバッファの一方は、前のデインターリープ処理の結果を保持し、チャネル検出器417にアンロードされ、待ち行列バッファ449のもう一方は、現在デインターリープされている復号されたデータセットを保持し、待ち行列バッファ449の1つまたは複数の他のバッファは、他の非収束データをチャネル検出器417による処理に備えて待機状態に維持する。待ち行列バッファ449からの非収束データは、デインターリーバ445によってデインターリープされ、メモリバッファ413中の対応するデータセットにアクセスすることができるチャネル検出器417に渡される。詳細には、デインターリーバ445からのデインターリープされたデータは、乗算器回路427を使用して動的スケーリング係数407(\times)を掛けられ、乗算器429の積の出力は、チャネル検出器417に提供される。チャネル検出器417によって行われるデータ検出は、チャネル検出器409によって行われるデータ検出と同様である。あるいは、データセットがLDP Cデコーダ437中で収束する場合、これは硬判定出力441としてデインターリーバ回路457に提供され、デインターリーバ回路457は、受信した硬判定出力441をデインターリープし、デインターリープした結果をいくつかのメモリバッファ461のうちの1つに格納する。最終的には、デインターリーバ回路457は、メモリバッ4050

ファ 4 6 1 に格納したデインターリープしたデータを出力 4 7 1 として提供する。

【 0 0 4 1 】

動的スケーリング係数 4 0 3 および動的スケーリング係数 4 0 7 は、それぞれの符号語に対応する復号された出力 4 8 5 に基づき符号語毎に計算される。待ち行列バッファ 4 4 9 の各バッファは、それぞれの符号語についての復号された出力 4 8 5 を格納するための領域 4 4 1 、およびそれぞれの符号語に対応する動的スケーリング係数 4 0 3 および動的スケーリング係数 4 0 7 を格納するための別の領域 4 4 3 を含む。復号された出力が、デインターリープするために、およびチャネル検出器 4 1 7 によって処理するために、それぞれの待ち行列バッファから引き出されると、スケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の値は、対応する待ち行列バッファの領域 4 4 1 から引き出され、乗算器 4 9 3 による乗算のために使用される。10

【 0 0 4 2 】

動的スカラ計算回路 4 9 7 は、それぞれの符号語に対応する復号された出力 4 8 5 に基づいてそれぞれの符号語毎にスケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の値を計算する。計算されたスケーリング係数は、このスケーリング係数を計算する基となつた復号された出力 4 8 5 に対応する待ち行列バッファ 4 4 9 のバッファに格納される。

【 0 0 4 3 】

復号された出力 4 8 5 を使用して、動的スカラ計算回路 4 9 7 は、まず、スケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の値が更新されるべきかどうかを判断する。詳細には、動的スカラ演算回路 4 9 7 は、L D P C デコーダ回路 4 3 7 によって一般に処理される、依然として違反するデータセットのパリティ検査の数の表示を受け取る。この数は、本明細書では違反カウントと呼ぶ。さらに、動的スカラ演算回路 4 9 7 は、飽和状態である（すなわち最大達成値に等しい値を有する）復号された出力 4 8 5 中のビット周期の数をカウントする。この値は、飽和カウントと呼ぶ。動的スカラ演算回路 4 9 7 は、違反カウントをしきい値 4 2 3 と比較し、飽和カウントを別のしきい値 4 2 5 と比較する。いくつかの実施形態では、しきい値 4 2 3 およびしきい値 4 2 5 は共にプログラム可能である。スケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の値は、違反カウントがしきい値 4 2 3 より小さい場合か、飽和カウントがしきい値 4 2 5 より大きい場合に更新される。次の擬似コードは、更新条件を記述している：20

```
i f ( 違反カウント < しきい値 4 2 3 || 飽和カウント > しきい値 4 2 5 ) {
    スケーリング係数を更新する
}
e l s e {
    スケーリング係数を維持する
}
```

例示的な場合では、かなりの数の飽和した軟判定があるときは、単にスケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の動的変更が行われる。

【 0 0 4 4 】

更新が要求されるときは、スケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 の更新は、実施に応じて様々な方法で行われることが可能である。例えば更新は、最初にスケーリング係数 4 0 3 およびスケーリング係数 4 0 7 をデフォルト値に等しく設定することによって行われることが可能である。次の擬似コードは、初期条件を記述している：40

```
スケーリング係数 4 0 7 = d e f a u l t ; および
スケーリング係数 4 0 3 = d e f a u l t
```

デフォルト値、d e f a u l t および d e f a u l t は、設計時にハードコードされる場合があり、またはプログラム可能であって、待ち行列検出および復号回路 4 9 9 の特50

定の配置に応じて更新することが可能である場合がある。デフォルト値、`default` および `default` は、最小の飽和のみを有する良好な性能を提供するように選択されることが可能である。1つの実施形態では、スケーリング係数 403 およびスケーリング係数 407 の値の更新を決定すると、スケーリング係数 403 およびスケーリング係数 407 は、次の擬似コードに従って最小値のスケーリング係数に変更される。

```
if (違反カウント < しきい値 423 || 飽和カウント > しきい値 425) {
    スケーリング係数 407 = maximum; および
    スケーリング係数 403 = minimum
}
else {
    スケーリング係数 407 = default; および
    スケーリング係数 403 = default
}
```

10

`maximum` および `minimum` の値は、設計時にハードコードされる場合があり、または特定の配置に応じて更新できるようにプログラム可能である場合がある。デフォルト値、`maximum`、`minimum` は、良好な性能を提供するように選択されることが可能であるが、デフォルトのスケーリング係数によって飽和が許容されるのを避けるように値を設定する。

20

【0045】

待ち行列検出 / 復号回路 499 により、導入されるデータに応じて可変数の検出および復号反復を行うことが可能になる。さらに場合によっては、待ち行列検出 / 復号回路 499 を使用することによってかなりの電力の節減を実現することができる。さらにまた場合によっては、複数の反復が必ずしも必要とされないので実質的な第1の反復のデータの収束が存在する場合、スループットを増大させることができるのであり、より速い LDPC デコーダを実装することができる。さらにまた、LDPC デコーダ 437 の結果が順不同に報告されることを可能にすることによって、アップストリームの処理はダウンストリームの処理の完了を待つ必要がない。順不同の結果の並べ替えは、待ち行列検出 / 復号回路 499 によって、または出力 471 のダウンストリームの受信部によって行われることが可能である。また、デコーダ 437 内で動的スカラを使用することにより、比較的高いローカル・スカラ値を高速に使用して符号語の実質的にノイズのない領域を解決すること、および比較的小さいローカル・スカラ値を使用して符号語のよりノイズのある領域を解決することができる。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の1つまたは複数の実施形態を実施することによって実現されることが可能である様々な他の利点を理解するであろう。

30

【0046】

図 5a を見ると、フロー図 500 は、本発明のいくつかの実施形態に従った、デコーダ・メッセージの動的スケーリングを使用するデータ処理のための方法を示している。フロー図 500 に従って、データ入力が受け取られる（ブロック 520）。このデータ入力は、磁気記録媒体から受け取られる一連のデータビット、または伝送チャネルから受け取られる一連のビットであることが可能であるが、これらに限定されない。本明細書で提供する開示に基づいて、当業者は受け取られるデータ入力の様々なソースおよびフォーマットを理解するであろう。受け取られるデータのサンプルが、バッファに格納され、後の処理に備えて保管される（ブロック 525）。受け取られたデータにデータ検出処理が行われる（ブロック 555）。結果として得られる検出されたデータがインターリーブされる（ブロック 560）。

40

【0047】

インターリーブされたデータが復号される（ブロック 565）。次に、別のローカル反復（すなわちデコーダをもう一度通過すること）が要求されているかどうかを判断する（

50

ブロック 592)。この判断は、デコーダが収束したかどうか、および収束しなかったことがデコーダをさらに通過することによって利益を得られるかどうかに基づいて行われる。当技術分野で知られている、さらなるローカル・デコーダのループの必要性を判断するためのいかなる手法を使用することもできる。さらなるローカル反復(すなわち復号処理をもう一度通過すること)が要求されている場合(ブロック 592)、ローカル・スカラが計算される(ブロック 594)。場合によっては、このローカル・スカラの計算は、いくつかの所定のスカラ値のうちの 1 つから選択することを含む。本発明のいくつかの実施形態では、初期ローカル・スカラ値は、第 1 のグローバル反復(すなわちデータ検出とデータ復号の両方の実行)で使用され、この同じローカル・スカラ値は、グローバル反復に続く次の各ローカル反復に使用される。さらなるグローバル反復が行われる度に、スカラ値は定義された量だけ削減され、削減されたスカラ値は、次に続くローカル反復に使用される。本発明の 1 つの特定の実施形態では、最初のスカラ値は 0.75 であり、次のグローバル反復の度にスカラ値は 1/32 というハードウェアに適した値だけ削減される。したがって、第 2 のグローバル反復ではスカラ値は 0.7188 であり、第 3 のグローバル反復ではスカラ値は 0.6875 であり、第 4 のグローバル反復ではスカラ値は 0.6563 であり、第 5 のグローバル反復ではスカラ値は 0.625 であり、第 6 のグローバル反復ではスカラ値は 0.5938 であり、第 7 のグローバル反復ではスカラ値は 0.5625 であり、第 8 のグローバル反復ではスカラ値は 0.5313 であり、第 9 のグローバル反復ではスカラ値は 0.5 である。ある時点で、スカラ値は削減されず、一定となる。したがって、前述の例を使用すると、第 10 以降のグローバル反復においてスカラ値は 0.5 に維持される。本発明の他の実施形態では、スカラ値は、各グローバル反復の後に行われる変更に加えて、またはこれに代わって、各ローカル反復の後に変更されることが可能であることに注意されたい。デコーダ回路の内部値は、ローカル・スカラ値を掛けられ(ブロック 596)、デコーダの処理は繰り返される(ブロック 565)。その後、別のローカル反復が要求されているかどうかが判断される(ブロック 592)。

【0048】

一般的な法則として、より高いローカル・スカラ値を使用すると、デコーダによる収束の割合が増大し、低ノイズがもたらされる。対照的に、より低いローカル・スカラ値を使用すると、収束の可能性が増大するが収束の割合が減少し、データストリーム中のビットの 1 つまたは複数でより高いノイズが示される。より小さいスカラを掛けられるビットはデコーダ回路を飽和させる可能性が低く、したがってより多くのデータが復号処理に使用されるように維持されるので、収束のより高い確率が発生する。可変ローカル・スカラ値を使用することによって、本発明のいくつかの実施形態は、より低いノイズのレベルを示す、符号語中の様々な領域では比較的速い収束を提供する。その後、より高いノイズレベルを示す符号語中の領域は、次第により低いスカラで処理され、これにより収束の割合を減少させるが、収束を実現するために使用されることが可能であるデータの領域を増大させる。

【0049】

さらなるローカル反復が要求されていないと判断される場合(ブロック 592)、復号処理が収束したかどうか(ブロック 545)、およびデータを再処理するのに利用できる十分なバッファリングがあるかどうか(ブロック 550)が判断される。復号処理が収束した(ブロック 545)か、または利用できるバッファリングが不足している(ブロック 550)場合、復号されたデータはデインターリーブされ(ブロック 570)、バッファに格納される(ブロック 575)。バッファは、利用できるようになった様々な結果を順不同に含んでおり、したがって様々な結果は、対応するデータ入力がもともと受け取られた順序を表すようにバッファの中で並べ替えられる(ブロック 580)。その後、バッファにおいて完全な時間セットが利用可能であるかどうかを判断する(ブロック 585)。完全な時間セットは、所与の時間にわたって受け取られた入力に対応するすべての結果を含む。したがって例えば第 1 の結果が遅れ、後の 2 つの結果が報告される場合、第 1 の結果が最終的にバッファで利用可能となると、3 つの結果に対して完全な時間セットが存在

する。本発明のいくつかの実施形態では、結果は順不同に受信部に報告されることに注意されたい。このような場合、結果を並べ替える、または完全な時間セットが利用できるかどうかを判断する必要がない。完全な時間セットが利用できる場合（ブロック 585）、または結果が順序に関係なく受け取られるように報告されるべきである場合、結果は受信部に出力される（ブロック 590）。

【0050】

あるいは、復号処理が収束しなかった（ブロック 545）、および十分なバッファリングが利用できる（ブロック 550）場合、もう一度グローバル反復が行われる。グローバル反復は、復号されたデータをデインターリープすること（ブロック 505）、およびデインターリープされ復号されたデータをバッファに格納すること（ブロック 510）を含む。データ検出器が利用可能になると、デインターリープされたデータは、データ入力の対応するサンプルと整合される（ブロック 515）。デインターリープされたデータおよび対応するサンプルデータの入力は、データ検出器に提供され、同じデータ入力の先行する処理（ブロック 555、560、565、592、594、596、545、550、505、510、515）において作り出された軟入力を使用して、もともと格納されていたデータ入力のサンプル（ブロック 525）において、その後のデータ検出が行われる（ブロック 530）。データ検出処理の結果はインターリープされ（ブロック 535）、インターリープされたデータは復号される（ブロック 565）。この時点で、ブロック 592、594、596、545、550 の処理は繰り返される。

【0051】

図 5 b を見ると、フロー図 501 は、本発明のいくつかの実施形態に従った、デコーダ・メッセージの動的スケーリング、およびグローバル処理ループ中の動的スケーリングを使用するデータ処理のための方法を示している。フロー図 501 に従って、データ入力が受け取られる（ブロック 521）。このデータ入力は、磁気記録媒体から受け取られる一連のデータビット、または伝送チャネルから受け取られる一連のビットであることが可能であるが、これらに限定されない。本明細書に提供する開示に基づいて、当業者は、受け取られるデータ入力の様々なソースおよびフォーマットを理解するであろう。受け取られたデータのサンプルはバッファに格納され、後の処理に備えて保管され（ブロック 526）、受け取られたデータ上でデータ検出処理が行われる（ブロック 556）。結果として生じる検出されたデータは、スケーリング係数（）を掛けられ（ブロック 558）、この乗算の積がインターリープされる（ブロック 561）。

【0052】

インターリープされたデータは復号される（ブロック 566）。その後、別のローカル反復（すなわちデコーダをもう一度通過すること）が要求されているかどうかが判断される（ブロック 593）。この判断は、デコーダが収束したかどうか、および収束しなかったことがデコーダをさらに通過することによって利益を得られるかどうかに基づいて行われることが可能である。当技術分野で知られている、さらなるローカル・デコーダ・ループの必要性を判断するいかなる手法を使用することもできる。さらなるローカル反復（すなわち復号処理をもう一度通過すること）が要求されている場合（ブロック 592）、ローカル・スカラが計算される（ブロック 595）。場合によっては、このローカル・スカラの計算は、いくつかの所定のスカラ値のうちの 1 つから選択することを含む。本発明のいくつかの実施形態では、初期ローカル・スカラ値は、第 1 のグローバル反復（すなわちデータ検出とデータ復号の両方の実行）で使用され、この同じローカル・スカラ値は、グローバル反復に続く次の各ローカル反復に使用される。さらなるグローバル反復が行われる度に、スカラ値は定義された量だけ削減され、削減されたスカラ値は、次に続くローカル反復に使用される。本発明の 1 つの特定の実施形態では、最初のスカラ値は 0.75 であり、次のグローバル反復の度にスカラ値は 1/32 というハードウェアに適した値だけ削減される。したがって、第 2 のグローバル反復ではスカラ値は 0.7188 であり、第 3 のグローバル反復ではスカラ値は 0.6875 であり、第 4 のグローバル反復ではスカラ値は 0.6563 であり、第 5 のグローバル反復ではスカラ値は 0.625 であり、第 40

10

20

30

40

50

6 のグローバル反復ではスカラ値は 0 . 5 9 3 8 であり、第 7 のグローバル反復ではスカラ値は 0 . 5 6 2 5 であり、第 8 のグローバル反復ではスカラ値は 0 . 5 3 1 3 であり、第 9 のグローバル反復ではスカラ値は 0 . 5 である。ある時点で、スカラ値は削減されず、一定となる。したがって、前述の例を使用すると、第 10 以降のグローバル反復においてスカラ値は 0 . 5 に維持される。本発明の他の実施形態では、スカラ値は、各グローバル反復の後に行われる変更に加えて、またはこれに代わって、各ローカル反復の後に変更されることが可能であることに注意されたい。デコーダ回路の内部値は、ローカル・スカラ値を掛けられ（ブロック 5 9 7）、デコーダの処理は繰り返される（ブロック 5 6 6）。その後、別のローカル反復が要求されているかどうかが判断される（ブロック 5 9 3）。

10

【 0 0 5 3 】

一般的な法則として、より高いローカル・スカラ値を使用すると、デコーダによる収束の割合が増大し、低ノイズがもたらされる。対照的に、より低いローカル・スカラ値を使用すると、収束の可能性が増大するが収束の割合が減少し、データストリーム中のビットの 1 つまたは複数により高いノイズが示される。より小さいスカラを掛けられたビットは、デコーダ回路を飽和させる可能性が少なく、したがってより多くのデータが復号処理に使用されるように維持されるので、収束の確率がより高くなる。様々なローカル・スカラ値を使用することによって、本発明のいくつかの実施形態は、より低いレベルのノイズを示す符号語の様々な領域では比較的高速の収束を提供する。その後、より高いレベルのノイズを示す符号語中の領域は、次第に低いスカラ値で処理され、これにより収束の割合は減少するが、収束を実現するために使用されることが可能であるデータの範囲は増大する。

20

【 0 0 5 4 】

さらなるローカル反復が要求されていないと判断される場合（ブロック 5 9 3）、復号処理が収束したかどうか（ブロック 5 4 6）、およびデータを再処理するのに利用できる十分なバッファリングがあるかどうか（ブロック 5 5 1）が判断される。復号処理が収束した（ブロック 5 4 6）か、または利用できるバッファリングが不足している（ブロック 5 5 1）場合、復号されたデータはデインターリーブされ（ブロック 5 7 1）、バッファに格納される（ブロック 5 7 6）。バッファは、利用できるようになった様々な結果を順不同に含んでおり、したがって様々な結果は、対応するデータ入力がもともと受け取られた順序を表すようにバッファの中で並べ替えられる（ブロック 5 8 1）。次に、完全な時間セットが利用できるかどうかが判断される（ブロック 5 8 6）。完全な時間セットは、所与の期間にわたる受信された入力に対応するすべての結果を含む。したがって例えば、第 1 の結果が遅れているが、後の 2 つの結果が報告される場合、第 1 の結果がバッファの中で最終的に利用できるようになると、3 つの結果に対して完全な時間セットが存在する。本発明のいくつかの実施形態では、結果は順不同に受信部に報告されることに注意されたい。このような場合、結果を並べ替える、または完全な時間セットが利用できるかどうかを判断する必要がない。完全な時間セットが利用できる場合（ブロック 5 8 6）、または結果が順序に関係なく受け取られるように報告されるべきである場合、結果は受信部に出力される（ブロック 5 9 1）。

30

【 0 0 5 5 】

あるいは、復号処理が収束しなかった（ブロック 5 4 6）、および十分なバッファリングが利用できる（ブロック 5 5 1）場合、もう一度グローバル反復が行われる。グローバル反復は、復号されたデータに基づいてグローバルスケーリング係数 \times および \times を計算することを含む（ブロック 5 0 3）。スケーリング係数は、図 6 a ~ 6 c に関して以下に説明する手法のうちの 1 つを使用して計算されることが可能である。また復号されたデータは、デインターリーブされ（ブロック 5 0 6）、デインターリーブされ復号されたデータがバッファに格納される（ブロック 5 1 0）。データ検出が利用可能になると、デインターリーブされたデータは、データ入力の対応するサンプルと整合され（ブロック 5 1 6）、スケーリング係数 \times を掛けられる（ブロック 5 1 2）。デインターリーブされた

40

50

データおよび対応するサンプルデータの入力は、データ検出器に提供され、同じデータ入力の先行する処理（ブロック 556、558、561、566、593、595、597、546、551、503、506、511、512、516）において作り出された軟入力を使用して、もともと格納されていたデータ入力のサンプル（ブロック 526）上で、その後のデータ検出が行われる（ブロック 531）。検出されたデータは、スケーリング係数 x を掛けられる（ブロック 532）。データ検出処理の結果はインターリープされ（ブロック 536）、インターリープされたデータは復号される（ブロック 566）。この時点で、ブロック 593、595、597、546、551 の処理は繰り返される。

【0056】

図 6 a ~ 6 c を見ると、本発明の様々な実施形態に従って、グローバル・ループのスケーリング係数を動的に計算するための 3 つの異なる手法が示されている。図 6 a のフロー図 700 に従って、復号処理が完了する度に、違反カウントが第 1 のしきい値（すなわちしきい値 A）より小さいかどうか（ブロック 701）、または飽和カウントが第 2 のしきい値（すなわちしきい値 B）より大きいかどうか（ブロック 703）が判断される。いずれかが真である場合（ブロック 701、703）、スケーリング係数は更新される（ブロック 707）。詳細には、スケーリング係数は、次の式に従って更新される：

$$\text{スケーリング係数} = \max_{m} \quad \text{および}$$

$$\text{スケーリング係数} = \min_{m} \quad \text{m}$$

その他の場合、更新は要求されず（ブロック 701、703）、次の式に従ってスケーリング係数はデフォルトレベルに設定される（ブロック 705）：

$$\text{スケーリング係数} = \text{default} \quad \text{および}$$

$$\text{スケーリング係数} = \text{default}$$

【0057】

図 6 b のフロー図 710 に従って、復号処理が完了する度に、違反カウントが第 1 のしきい値（すなわちしきい値 A）より小さいかどうか（ブロック 711）、または飽和カウントが第 2 のしきい値（すなわちしきい値 B）より大きいかどうか（ブロック 713）が判断される。いずれかが真である場合（ブロック 711、713）、ルックアップテーブルからスケーリングデータにアクセスするために使用されるインデックス（i）は、インクリメントされる（ブロック 717）。次にスケーリング係数が、このインデックスを使用してルックアップテーブルから取り出される（ブロック 729）。詳細には、スケーリング係数は、次の式に従って更新される：

$$\text{スケーリング係数} = (i) \quad \text{および}$$

$$\text{スケーリング係数} = (i)$$

$(i + 1)$ は (i) より大きく、 $(i - 1)$ は (i) より小さい。その他の場合、更新は要求されず（ブロック 711、713）、次の式に従ってスケーリング係数はデフォルトレベルに設定される（ブロック 715）：

$$\text{スケーリング係数} = \text{default} \quad \text{および}$$

$$\text{スケーリング係数} = \text{default}$$

【0058】

図 6 c のフロー図 720 に従って、復号処理が完了する度に、違反カウントが第 1 のしきい値（すなわちしきい値 A）より小さいかどうか（ブロック 721）、または飽和カウントが第 2 のしきい値（すなわちしきい値 B）より大きいかどうか（ブロック 723）が判断される。いずれかが真である場合（ブロック 721、723）、飽和カウントに対応するインデックスが計算される（ブロック 727）。場合によっては、インデックスは、

10

20

30

40

50

スカラ値を掛けられて次の整数まで引き上げられた飽和カウントである。次にスケーリング係数が、このインデックスを使用してルックアップテーブルから取り出される（ブロック729）。詳細には、スケーリング係数は、次の式に従って更新される：

$$\begin{aligned} \text{スケーリング係数} &= (\text{index}), \text{ および} \\ \text{スケーリング係数} &= (\text{index}) \end{aligned}$$

$(i + 1)$ は (i) より大きく、 $(i - 1)$ は (i) より小さい。その他の場合、更新は要求されず（ブロック721、723）、次の式に従ってスケーリング係数はデフォルトレベルに設定される（ブロック725）：

10

$$\begin{aligned} \text{スケーリング係数} &= \text{default}, \text{ および} \\ \text{スケーリング係数} &= \text{default} \end{aligned}$$

【0059】

図6bのフロー図820に従って、復号処理が完了する度に、違反カウントがしきい値より小さいかどうかが判断される（ブロック821）。これが真である場合（ブロック821）、スケーリング係数（ \times 、 \times ）が計算される（ブロック829）。その他の場合、更新は要求されず（ブロック821）、次の式に従ってスケーリング係数はデフォルトレベルに設定される（ブロック825）：

20

$$\begin{aligned} \text{スケーリング係数} &= \text{default}, \text{ および} \\ \text{スケーリング係数} &= \text{default} \end{aligned}$$

【0060】

図7を見ると、記憶システム700が、本発明の様々な実施形態に従って動的なデコーダ・スケーリングを含んだリード・チャネル710を含んでいる。記憶システム700は、例えばハードディスクドライブである場合がある。リード・チャネル710には、図2または図4に関連して上述したものと同様の、動的スケーリングを含んだデコーダ回路を含むデータ処理コードが含まれるが、これに限定されない。場合によっては、データ処理コードは、図5の1つと関連して述べたものと同様に動作することができる。

30

【0061】

また記憶システム700は、プリアンプ770、インターフェース・コントローラ720、ハードディスク・コントローラ766、モーター・コントローラ768、スピンドル・モーター772、ディスク・プラッタ778、および読み取り／書き込みヘッド機構776を含んでいる。インターフェース・コントローラ720は、ディスク・プラッタ778へのデータ／ディスク・プラッタ778からのデータのアドレス指定およびタイミングを制御する。ディスク・プラッタ778上のデータは、ディスク・プラッタ778上に読み取り／書き込みヘッド機構776が適切に配置されているとき、この機構776によって検出されることが可能である磁気信号群からなる。1つの実施形態では、ディスク・プラッタ778は、垂直記録方式に従って記録された磁気信号を含む。例えば磁気信号は、水平記録信号または垂直記録信号として記録されることが可能である。

40

【0062】

一般的な読み取り動作において、読み取り／書き込みヘッド機構776は、ディスク・プラッタ778上の所望のデータトラックの上に、モーター・コントローラ768によって正確に配置される。適切なデータトラックは、インターフェース・コントローラ720を介して受け取られるアドレスによって定義される。モーター・コントローラ768は、ディスク・プラッタ778との関連で読み取り／書き込みヘッド機構776を配置し、かつ、ハードディスク・コントローラ766の指示に従って読み取り／書き込みヘッド機構をディスク・プラッタ778上の適切なデータトラックに移動することによってスピンドル・モーター772を駆動する。スピンドル・モーター772は、決められた回転速度（RPM）でディスク・プラッタ778を回転させる。読み取り／書き込みヘッド機構778が適切なデータト

50

ラックに隣接して配置されると、ディスク・プラッタ 778 がスピンドル・モーター 772 によって回転させられると、読み取り／書き込みヘッド機構 776 によって、ディスク・プラッタ 778 上のデータを表す磁気信号が検知される。検知された磁気信号は、ディスク・プラッタ 778 上の磁気データを表す連続的な微小のアナログ信号として提供される。この微小なアナログ信号は、プリアンプ 770 を介して読み取り／書き込みヘッド機構 776 からリード・チャネル 710 へ転送される。プリアンプ 770 は、ディスク・プラッタ 778 がアクセスした微小なアナログ信号を增幅するように動作する。次に、リード・チャネル・モジュール 710 が、受け取られたアナログ信号を復号してデジタル化し、ディスク・プラッタ 778 にもともと書き込まれた情報を再現する。復号処理は、ローカル反復ループを使用し、デコーダ回路の出力が動的にスケール調整され、デコーダ回路への入力として提供されることが可能である。この入力は、再び復号される。読み取られたデータは、読み取りデータ 703 として提供される。書き動作は、実質的に前述の読み取り動作の反対であり、書き込みデータ 701 はリード・チャネル・モジュール 710 に提供される。このデータは次に符号化されて、ディスク・プラッタ 778 に書き込まれる。
10

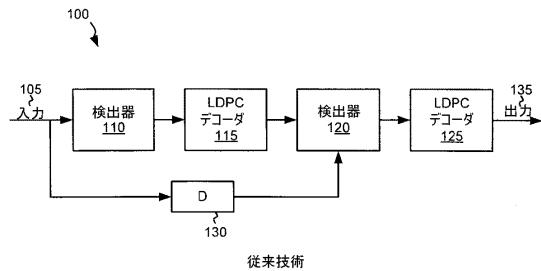
【0063】

図 8 を見ると、通信システム 891 が、本発明の異なる実施形態に従って可変的にスケール調整されるデコーダの処理を備えるリード・チャネル回路を有する受信機 895 を含んでいる。通信システム 891 は、当業者には知られるように、転送媒体 897 を介して符号化された情報を送信するように動作可能である送信機 893 を含んでいる。符号化されたデータは、受信機 895 によって転送媒体 897 から受信される。受信機 895 は、可変的にスケール調整されるデコーダの処理を備えたリード・チャネル回路を組み込んでいる。組み込まれたリード・チャネル回路は、入力ストリームの処理に基づいてデコーダのスケーリング係数を適応的に計算することができる。したがって、適応的計算回路は、図 2～5 に関連して述べた計算回路に従って実装されることが可能である。本明細書で提供される開示に基づいて、当業者は、本発明の実施形態に従った等化および対象化が行われることが可能である様々な媒体を理解するであろう。
20

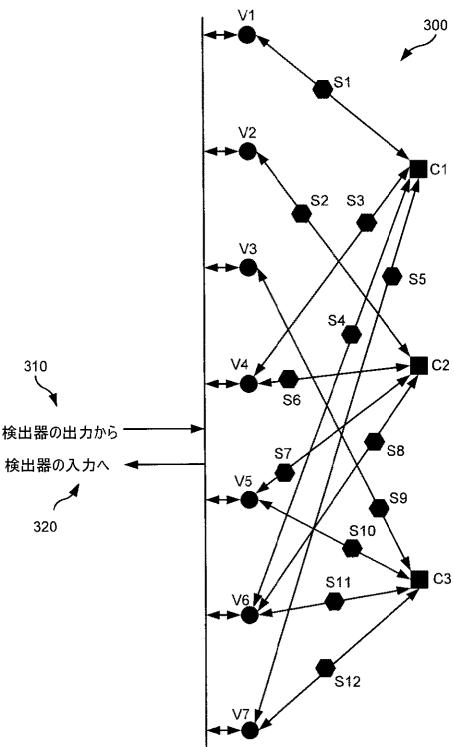
【0064】

結論として本発明は、データの復号および／または検出を行うための新規のシステム、装置、方法、および配列を提供する。本発明の 1 つまたは複数の実施形態について詳細に述べたが、本発明の趣旨を外れることなく、様々な代替物、修正物、および等価物が当業者には明らかであろう。例えば、本発明の 1 つまたは複数の実施形態は、例えばテープ記録システム、光ディスクドライブ、無線システム、およびデジタル加入者線システムなど、様々なデータ記憶システムおよびデジタル通信システムに適用可能である。したがって、上記の説明は、本発明の範囲を限定するものとみなされるべきではなく、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によって定義される。
30

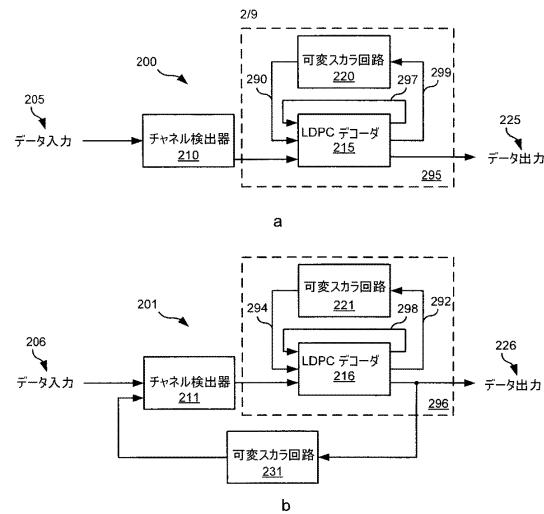
【図1】



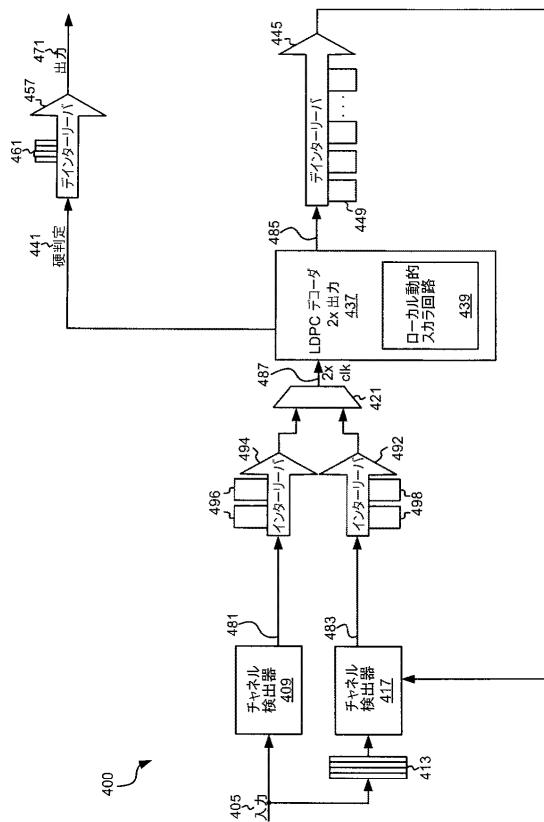
【図3】



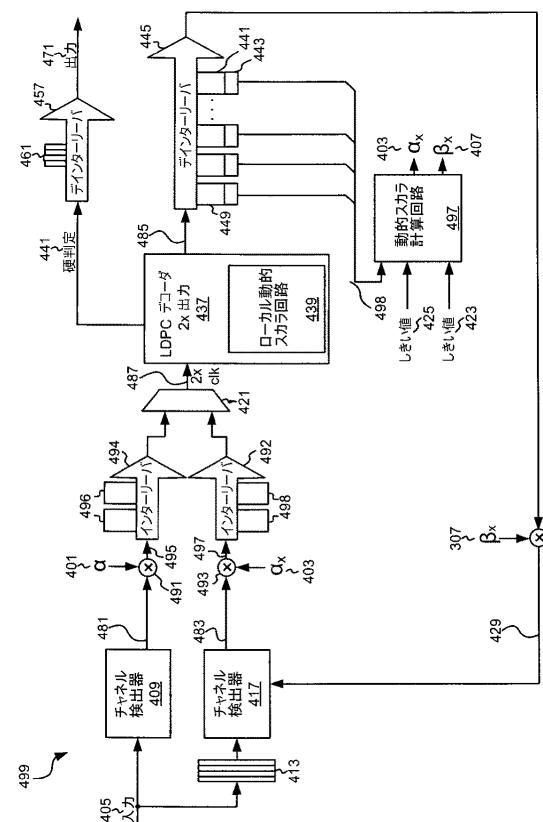
【図2】



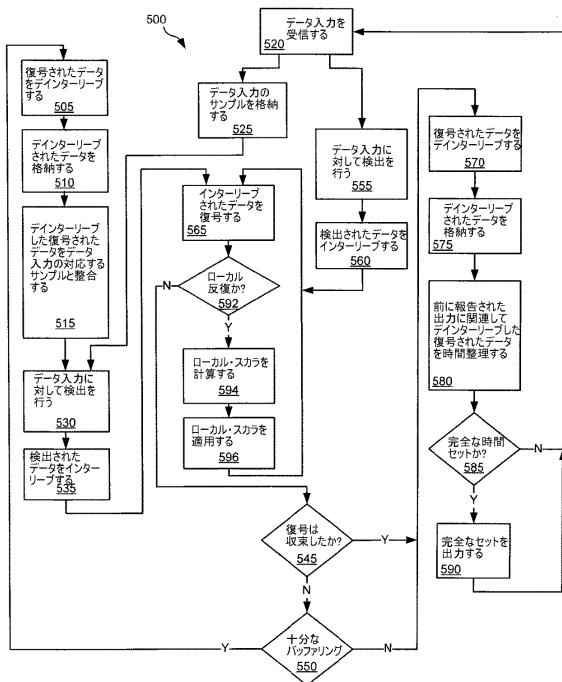
【図4 a】



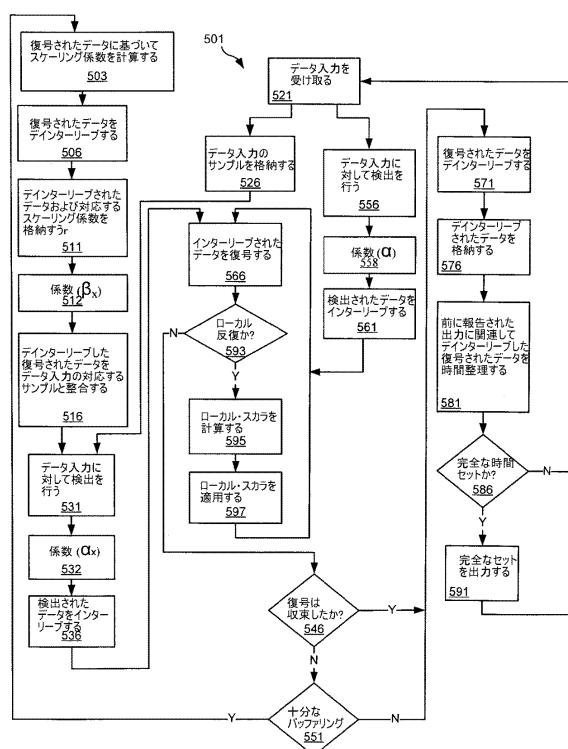
【図4 b】



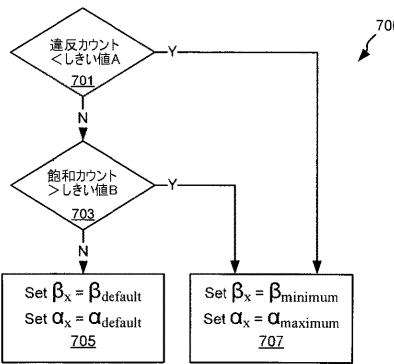
【図 5 a】



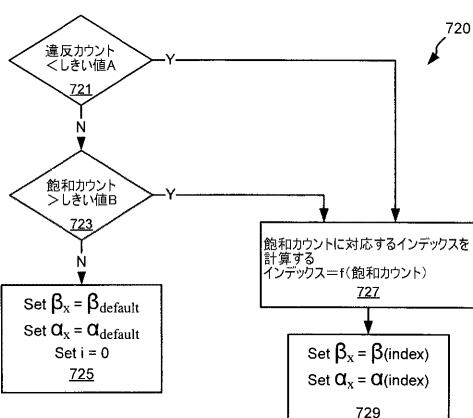
【図 5 b】



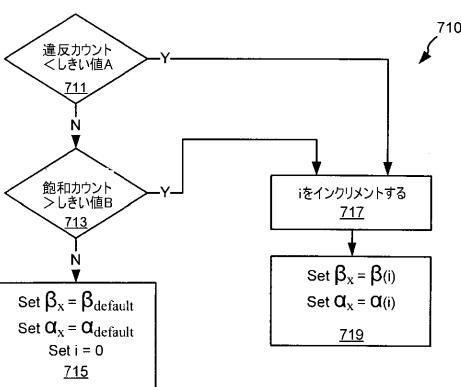
【図 6 a】



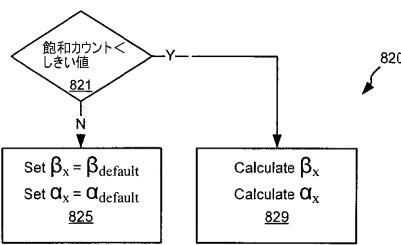
【図 6 c】



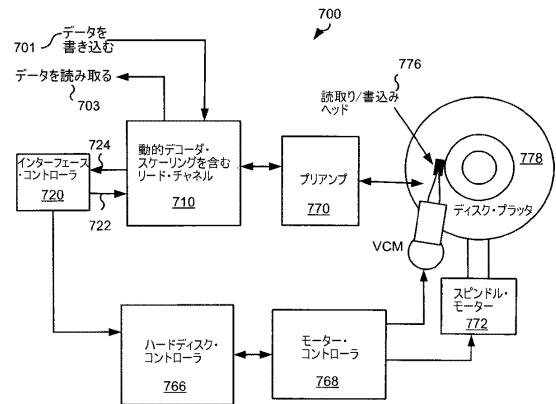
【図 6 b】



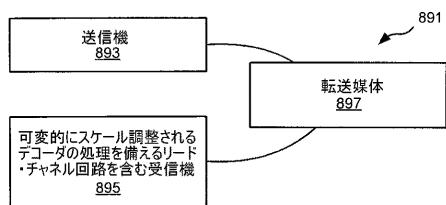
【図 6 d】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 ミロス イヴコヴィック

アメリカ合衆国 94086 カリフォルニア, サニーヴェイル, イースト マッキンレイ アヴ
エニュー 639

審査官 岡 裕之

(56)参考文献 特開2008-112527(JP,A)

特開2009-159037(JP,A)

特開2010-087707(JP,A)

特開2002-050969(JP,A)

特開2009-182421(JP,A)

特開2003-258775(JP,A)

特開2001-274778(JP,A)

Jinghu Chen, et al., Reduced-Complexity Decoding of LDPC Codes, Communications, IEEE Transactions on, IEEE Communications Society, 2005年 8月15日, (Volume:53, Issue: 8), pp.1288-1299

Mahdi Shaghaghi, et al., Combined normalized and offset min-sum decoding over partial response channels, Information, Communications and Signal Processing, 2009. ICICS 2009 . 7th International Conference on , 2009年12月10日, pp.1-4

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 03 M 13 / 19

G 11 B 20 / 14

G 11 B 20 / 18

I E E E X p l o r e

C i N i i