

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6803932号
(P6803932)

(45) 発行日 令和2年12月23日(2020.12.23)

(24) 登録日 令和2年12月3日(2020.12.3)

(51) Int.Cl. F I
HO3M 13/13 (2006.01) HO3M 13/13

請求項の数 15 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2018-565693 (P2018-565693)	(73) 特許権者	504161984
(86) (22) 出願日	平成29年6月6日(2017.6.6)		ホアウェイ・テクノロジーズ・カンパニー・リミテッド
(65) 公表番号	特表2019-518388 (P2019-518388A)		中華人民共和国・518129・グアンドン・シェンツェン・ロンガン・ディストリクト・バンティアン・(番地なし)・ホアウェイ・アドミニストレーション・ビルディング
(43) 公表日	令和1年6月27日(2019.6.27)		
(86) 国際出願番号	PCT/CN2017/087351	(74) 代理人	100110364
(87) 国際公開番号	W02017/215494		弁理士 実広 信哉
(87) 国際公開日	平成29年12月21日(2017.12.21)	(74) 代理人	100140534
審査請求日	平成31年1月24日(2019.1.24)		弁理士 木内 敬二
(31) 優先権主張番号	62/351,438	(72) 発明者	ラン・ジャン
(32) 優先日	平成28年6月17日(2016.6.17)		カナダ・オンタリオ・K2M・OE3・カナタ・ペッパービル・クレセント・505
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		最終頁に続く
(31) 優先権主張番号	15/607,591		
(32) 優先日	平成29年5月29日(2017.5.29)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 ポーラー符号を使用する場合のピース・ワイズ・レート・マッチ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】

送信器で遂行される方法であって、
 ポーラー符号化器で複数のビットを受け取るステップ(402)と、
 前記複数のビットの送信に使われる符号化レートをを用いて前記複数のビットの送信に使われる符号化ビット数に相当する値を得るステップ(404)と、
 前記値を含む値の範囲がどれなのかを判断し、前記値を含む前記範囲に対応する情報シーケンスを得るステップ(406)と、
 前記情報シーケンスに従って入力ベクトルの位置のサブセットに前記複数のビットをマップするステップ(408)と、
 前記入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するステップ(410)と、
 前記ポーラー符号化器で前記入力ベクトルを符号化して符号語を生成するステップ(412)と
 を含む方法。

【請求項2】

前記範囲に対応する前記情報シーケンスは、前記範囲内の代表的な値に基づいて決定される情報シーケンスである、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記代表的な値は、前記範囲の一端に、前記範囲の他端よりも近い、請求項2に記載の

方法。

【請求項 4】

パンクチャリングパターンに従って前記符号語をパンクチャして、パンクチャ済み符号語を得るステップであって、前記パンクチャ済み符号語のビット長は、前記複数のビットの送信に使われる前記符号化ビット数に等しい、ステップをさらに含む、請求項1から3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記パンクチャリングパターンに従って前記符号語をパンクチャするステップは、前記符号語を短縮するステップを含む、請求項4に記載の方法。

【請求項 6】

前記符号語はビット長 N_b を有し、前記パンクチャ済み符号語はビット長 M を有し、前記パンクチャリングパターンは、前記符号語の最初の $(N_b - M)$ ビットをパンクチャするパターンである、請求項4または5に記載の方法。

【請求項 7】

前記複数のビットは第1の複数のビットであり、前記値は第1の値であり、前記情報シーケンスは第1の情報シーケンスであり、前記入力ベクトルは第1の入力ベクトルであり、前記符号語は第1の符号語であり、前記パンクチャ済み符号語は第1のパンクチャ済み符号語であり、前記方法は、

前記ポラー符号化器で第2の複数のビットを受け取るステップと、

前記第2の複数のビットの送信に使われる符号化レートを用いて前記第2の複数のビットの送信に使われる第2のパンクチャ済み符号語のビット長に相当する第2の値を得るステップと、

前記第2の値を含む値の範囲がどれなのかを判断し、前記第2の値を含む前記範囲に対応する第2の情報シーケンスを得るステップと、

前記第2の情報シーケンスに従って第2の入力ベクトルの位置のサブセットに前記第2の複数のビットをマップするステップと、

前記第2の入力ベクトルの残りの位置を前記復号化器によって知られる凍結値として設定するステップと、

前記ポラー符号化器で前記第2の入力ベクトルを符号化して第2の符号語を生成するステップと、

パンクチャリングパターンに従って前記第2の符号語をパンクチャして、前記第2のパンクチャ済み符号語を得るステップと

をさらに含む、請求項4から6のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記第1のパンクチャ済み符号語と前記第2のパンクチャ済み符号語は異なるビット長を有する、請求項7に記載の方法。

【請求項 9】

前記第2の値を含む前記範囲は前記第1の値を含む前記範囲と同じであり、前記第1の情報シーケンスは前記第2の情報シーケンスと同じである、請求項7または8に記載の方法。

【請求項 10】

前記第2の値を含む前記範囲は前記第1の値を含む前記範囲と異なり、前記第1の情報シーケンスは前記第2の情報シーケンスと異なる、請求項7または8に記載の方法。

【請求項 11】

前記複数のビットの少なくともいくつかは複数の q -aryシンボルを表し、 $q > 2$ である、請求項1から10のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 12】

前記複数のビットは複数の q -aryシンボルを表し、 $q > 2$ であり、前記符号語はビットによって表される q -aryシンボルを含む、請求項1から10のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 13】

前記入力ベクトルを符号化して前記符号語を生成するステップは、

10

20

30

40

50

少なくとも1つのポーラー符号化器カーネルを使って前記入力ベクトルを符号化して前記符号語を生成するステップ

を含み、前記符号化することは、

ビットによって表される入力 q -aryシンボルのセットを前記ポーラー符号化器カーネルで受け取ることと、

前記ポーラー符号化器カーネルのシード行列に従って前記入力 q -aryシンボルのセットを変換して、ビットによって表される出力 q -aryシンボルのセットを生成することと

を含む、請求項11または12に記載の方法。

【請求項14】

前記範囲に対応する前記情報シーケンスを得るステップは、

前記範囲に対応する格納された情報シーケンスをメモリから引き出すステップ

を含む、請求項1から13のいずれか一項に記載の方法。

【請求項15】

送信器(124, 1310)であって、

プロセッサ(1400)と、

請求項1から14のいずれか一項に記載の方法の各ステップを前記プロセッサに実行させる命令を格納した非一時的なコンピュータ可読記憶媒体(1408)と

を含む送信器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2016年6月17日に出願された「Systems and Methods for Piece-Wise Rate Matching When Using Polar Codes (ポーラー符号を使用する場合のピース・ワイズ・レート・マッチングのためのシステムおよび方法)」と題する米国仮特許出願第62/351,438号と2017年5月29日に出願された「Systems and Methods for Piece-Wise Rate Matching When Using Polar Codes (ポーラー符号を使用する場合のピース・ワイズ・レート・マッチングのためのシステムおよび方法)」と題する米国特許出願第15/607,591号の優先権を主張するものであり、これらの出願はいずれも参照により本願に組み込まれる。

【0002】

本願は誤り制御符号化および符号化レートマッチングに関し、より具体的には一般的なポーラー符号を使用する場合の符号化レートマッチングに関する。

【背景技術】

【0003】

通信システムでは送信器からチャネルを通じて受信器へ情報が送信される。例えば、無線通信システムではモバイルデバイスの送信器が無線チャネルを通じて基地局の受信器へ情報を送信できる。

【0004】

チャネルはチャネルを通じて送信される情報に誤りを導入することがある。誤りは誤り制御符号化を用いて検出および/または訂正できる。例えば、送信器から受信器へ送信されるべき k ビットの情報を最初に送信器の符号化器で符号化して N_0 ビットの長さを有する符号語を得ることができ、ここで $N_0 > k$ である。その後、チャネルを通じて符号語を送信できる。その後、受信された符号語を受信器の復号化器で復号化し、どの k ビットが送信されたかについての決定を得る。ビット長が $N_0 > k$ の符号語を送信することによって加えられる冗長性は、たとえチャネルのノイズによってある程度の誤りが符号語に導入された場合でも、受信器で k ビットが正しく復号化される確率を高める。

【0005】

誤り検出・訂正符号には様々な種類がある。E.Arikanによる論文「Channel Polarization: A Method for Constructing Capacity-Achieving Codes for Symmetric Binary-Input Memoryless Channels (チャネル分極化：対称バイナリ入力メモリレスチャネルのためのキャパシティ達成符号を構築する方法)」、IEEE Transaction on Information Theory

10

20

30

40

50

、第55巻、第7号(2009年7月)では、Arikanポラー符号と呼ばれる誤り訂正符号の一種が開示されている。Arikanポラー符号はバイナリポラー符号であり、これはArikanポラー符号がバイナリシンボルアルファベットのみで誤り制御符号化を遂行することを意味する。Arikanポラー符号を用いて符号化される k ビットは k 個の情報シンボルに相当する。 k 個の情報シンボルの各々は2つの値のいずれか一方のみをとることができる。

【0006】

また、Arikanポラー符号における各符号語のビット長 N_b は2の累乗でなければならず、すなわち $N_b = 2^n$ であり、 n は自然数である。ただし、符号化レート要求のため、実際にチャンネルに送信できる符号語長は正確にビット長 $N_b = 2^n$ にならない場合がある。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

ポラー符号を使用する場合に符号レートマッチングの一部として遂行できるシステムおよび方法が開示される。

【0008】

一実施態様において、送信器で遂行される方法が提供される。方法は、ポラー符号化器で複数のビットを受け取るステップを含む。方法は、複数のビットの送信に使われる符号化レート、および複数のビットの送信に使われる符号化ビット数のうち、少なくともいずれか一方に相当する値を得るステップをさらに含んでよい。方法は、当該値を含む値の範囲がどれなのかを判断するステップをさらに含んでよい。方法は、当該値を含む範囲に対応する情報シーケンスを得るステップをさらに含んでよい。方法は、情報シーケンスに従って入力ベクトルの位置のサブセットに複数のビットをマップするステップをさらに含んでよい。方法は、入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するステップをさらに含んでよい。方法は、ポラー符号化器で入力ベクトルを符号化して符号語を生成するステップをさらに含んでよい。

【0009】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、範囲に対応する情報シーケンスを得るステップは、範囲に対応する格納された情報シーケンスをメモリから引き出すステップを含んでよい。

【0010】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、範囲に対応する情報シーケンスは、範囲内の代表的な値に基づいて決定される情報シーケンスであってよい。代表的な値は、範囲の一端に、範囲の他端よりも近くてよい。代表的な値は、範囲の末端に位置する値、または範囲の末端に近い値に等しくてよい。

【0011】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、方法は、パンクチャリングパターンに従って符号語をパンクチャして、パンクチャ済み符号語を得るステップをさらに含んでよい。パンクチャ済み符号語のビット長は、複数のビットの送信に使われる符号化ビット数に等しい。いくつかの実施態様において、パンクチャリングパターンに従って符号語をパンクチャするステップは、符号語を短縮するステップを含む。いくつかの実施態様において、符号語はビット長 N_b を有し、パンクチャ済み符号語はビット長 M を有し、パンクチャリングパターンは符号語の最初の $(N_b - M)$ ビットをパンクチャする。代わりに他のパンクチャリングパターンが可能である。

【0012】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットは第1の複数のビットであってよく、値は第1の値であってよく、情報シーケンスは第1の情報シーケンスであってよく、入力ベクトルは第1の入力ベクトルであってよく、符号語は第1の符号語であってよく、パンクチャ済み符号語は第1のパンクチャ済み符号語であってよい。方法は、ポラー符号化器で第2の複数のビットを受け取るステップをさらに含んでよい。方法は、第2の複数のビットの送信に使われる符号化レート、および第2の複数のビットの送信に使われる第2のバ

10

20

30

40

50

ンクチャ済み符号語のビット長のうち、少なくともいずれか一方に相当する第2の値を得るステップをさらに含んでよい。方法は、第2の値を含む値の範囲がどれなのかを判断するステップをさらに含んでよい。方法は、第2の値を含む範囲に対応する第2の情報シーケンスを得るステップをさらに含んでよい。方法は、第2の情報シーケンスに従って第2の入力ベクトルの位置のサブセットに第2の複数のビットをマップするステップをさらに含んでよい。方法は、第2の入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するステップをさらに含んでよい。方法は、ポラー符号化器で第2の入力ベクトルを符号化して第2の符号語を生成するステップをさらに含んでよい。方法は、パンクチャリングパターンに従って第2の符号語をパンクチャして、第2のパンクチャ済み符号語を得るステップをさらに含んでよい。いくつかの実施態様において、第1のパンクチャ済み符号語と第2のパンクチャ済み符号語は異なるビット長を有する。いくつかの実施態様において、第2の値を含む範囲は第1の値を含む範囲と同じである。いくつかの実施態様において、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと同じである。いくつかの実施態様において、第2の値を含む範囲は第1の値を含む範囲と異なる。いくつかの実施態様において、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと異なる。

10

【0013】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットの少なくともいくつかは複数の q -aryシンボルを表してよく、 $q > 2$ である。

【0014】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットは複数の q -aryシンボルを表してよく、 $q > 2$ であり、符号語はビットによって表される q -aryシンボルを含んでよい。

20

【0015】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、入力ベクトルを符号化するステップは、少なくとも1つのポラー符号化器カーネルを使って入力ベクトルを符号化して符号語を生成するステップを含んでよい。符号化することは、ビットによって表される入力 q -aryシンボルのセットをポラー符号化器カーネルで受け取ることを含んでよい。符号化することは、ポラー符号化器カーネルのシード行列に従って入力 q -aryシンボルのセットを変換して、ビットによって表される出力 q -aryシンボルのセットを生成することを含んでよい。

【0016】

別の実施態様において、複数のビットを受け取るポラー符号化器を有する送信器が提供される。送信器は（例えばポラー符号化器の中に、またはポラー符号化器の一部として）情報シーケンス生成器をさらに含んでよい。情報シーケンス生成器は、複数のビットの送信に使われる符号化レート、および複数のビットの送信に使われる符号化ビット数のうち、少なくともいずれか一方に相当する値を得るように構成されてよい。情報シーケンス生成器は、当該値を含む値の範囲がどれなのかを判断し、なおかつ当該値を含む範囲に対応する情報シーケンスを得るようにさらに構成されてよい。送信器は（例えばポラー符号化器の中に、またはポラー符号化器の一部として）入力ベクトル形成器をさらに含んでよい。入力ベクトル形成器は、情報シーケンスに従って入力ベクトルの位置のサブセットに複数のビットをマップするように構成されてよい。入力ベクトル形成器は、入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するようにさらに構成されてよい。ポラー符号化器は、入力ベクトルを符号化して符号語を生成するようにさらに構成されてよい。

30

40

【0017】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、送信器はメモリをさらに含んでよい。情報シーケンス生成器は、範囲に対応する格納された情報シーケンスをメモリから引き出すことによって、範囲に対応する情報シーケンスを得るように構成されてよい。

【0018】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、範囲に対応する情報シーケンスは、範囲内の代表的な値に基づいて決定される情報シーケンスであってよい。代表的な値は、範囲の一

50

端に、範囲の他端よりも近くてよい。代表的な値は、範囲の末端に近くてよく、あるいは範囲の末端に位置してよい。

【0019】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、送信器は、パンクチャリングパターンに従って符号語をパンクチャして、パンクチャ済み符号語を得るパンクチャ器をさらに含んでよい。パンクチャ済み符号語のビット長は、複数のビットの送信に使われる符号化ビット数に等しい。いくつかの実施態様において、パンクチャ器は、符号語を短縮することによって、パンクチャリングパターンに従って符号語をパンクチャするように構成される。いくつかの実施態様において、符号語はビット長 N_b を有し、パンクチャ済み符号語はビット長 M を有し、パンクチャリングパターンは符号語の最初の $(N_b - M)$ ビットをパンクチャする。他のパンクチャリングパターンが可能である。

10

【0020】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットは第1の複数のビットであってよく、値は第1の値であってよく、情報シーケンスは第1の情報シーケンスであってよく、入力ベクトルは第1の入力ベクトルであってよく、符号語は第1の符号語であってよく、パンクチャ済み符号語は第1のパンクチャ済み符号語であってよい。ポラー符号化器は、第2の複数のビットをさらに受け取ってよい。情報シーケンス生成器は、第2の複数のビットの送信に使われる符号化レート、および第2の複数のビットの送信に使われる第2のパンクチャ済み符号語のビット長のうち、少なくともいずれか一方に相当する第2の値を得るようにさらに構成されてよい。情報シーケンス生成器は、第2の値を含む値の範囲がどれなのかを判断するようにさらに構成されてよい。情報シーケンス生成器は、第2の値を含む範囲に対応する第2の情報シーケンスを得るようにさらに構成されてよい。入力ベクトル形成器は、第2の情報シーケンスに従って第2の入力ベクトルの位置のサブセットに第2の複数のビットをマップするようにさらに構成されてよい。入力ベクトル形成器は、第2の入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するようにさらに構成されてよい。ポラー符号化器は、第2の入力ベクトルを符号化して第2の符号語を生成するようにさらに構成されてよい。パンクチャ器は、パンクチャリングパターンに従って第2の符号語をパンクチャして、第2のパンクチャ済み符号語を得るようにさらに構成されてよい。いくつかの実施態様において、第1のパンクチャ済み符号語と第2のパンクチャ済み符号語は異なるビット長を有する。いくつかの実施態様において、第2の値を含む範囲は第1の値を含む範囲と同じである。いくつかの実施態様において、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと同じである。いくつかの実施態様において、第2の値を含む範囲は第1の値を含む範囲と異なる。いくつかの実施態様において、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと異なる。

20

30

【0021】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットの少なくともいくつかは複数の q -aryシンボルを表してよく、 $q > 2$ である。

【0022】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、複数のビットは複数の q -aryシンボルを表してよく、 $q > 2$ であり、符号語はビットによって表される q -aryシンボルを含む。

40

【0023】

前述の実施態様のいずれか1つにおいて、ポラー符号化器は、少なくとも1つのポラー符号化器カーネルを使って入力ベクトルを符号化して符号語を生成することによって入力ベクトルを符号化してよい。符号化することは、ビットによって表される入力 q -aryシンボルのセットをポラー符号化器カーネルで受け取ることを含んでよい。符号化することは、ポラー符号化器カーネルのシード行列に従って入力 q -aryシンボルのセットを変換して、ビットによって表される出力 q -aryシンボルのセットを生成することを含んでよい。

【0024】

添付の図を参照しながら単なる例として実施形態を説明する。

50

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】一実施形態による通信システムのブロック図である。

【図2】シード行列 G_2 からクロネッカー積行列をどのように作ることができるかを示す。

【図3】一実施形態に従ってバイナリポラー符号を使って符号語がどのように生成されるかを示す流れ図である。

【図4】Arikanカーネルの概略図である。

【図5】図3のステップ208の例を実施する構造の概略図である。

【図6】図3のステップ208の例を実施する構造の概略図である。

【図7】一般的なカーネルの例を示す。

10

【図8】リード・ソロモン(RS)方式カーネルを示す。

【図9】 $n=2$ 、すなわち16シンボルの場合のRS(4)ポラー符号化器構造の概略図である。【図10】 $n=2$ 、すなわち16シンボルの場合のRS(4)ポラー符号化器構造の概略図である。

【図11】別の実施形態による通信システムのブロック図を示す。

【図12】パンクチャリングが検討される場合に、2層のRS(4)カーネルを用いて生成される32ビット符号語のための復号化器の一例を示す。

【図13】パンクチャリングが検討される場合に、2層のRS(4)カーネルを用いて生成される32ビット符号語のための復号化器の一例を示す。

20

【図14】CRC支援ポラー復号化のフレーム誤り率(FER)曲線を示す。

【図15】一実施形態に従って送信器によって遂行される方法の流れ図である。

【図16】送信器のメモリに格納されたルックアップテーブル(LUT)を示す。

【図17】一実施形態によるピースワイズ長さマッチングのコンセプトを例示する3つの符号語を示す。

【図18】別の実施形態に従って送信器によって遂行される方法の流れ図である。

【図19】様々なFER曲線を示す。

【図20】様々なFER曲線を示す。

【図21】様々なFER曲線を示す。

【図22】様々なFER曲線を示す。

30

【図23】別の実施形態に従って送信器によって遂行される方法の流れ図である。

【図24】通信システムの例を示す。

【図25】本明細書で説明する機能および/または実施形態を実施できるデバイスの例を示す。

【図26】本明細書で説明する機能および/または実施形態を実施できるデバイスの例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0026】

これ以降は例証の目的で具体的な実施形態の例を図と併せて後ほどさらに詳しく説明する。

40

【0027】

図1は一実施形態による通信システム122のブロック図である。通信システム122はチャネル128を通じて通信する送信器124と受信器126とを含む。送信器124はポラー符号化器130を含み、受信器126はポラー復号化器132を含む。

【0028】

ポラー符号化器130、ならびに送信器124の他のデータ/信号処理機能、例えば後ほど説明するパンクチャ器は、プロセッサによって実行されてよく、プロセッサが命令を実行すると、プロセッサはポラー符号化器130と送信器124の作業の一部または全部を遂行する。あるいは、ポラー符号化器130、ならびに送信器124の他のデータ/信号処理機能は、ハードウェアまたは回路で(例えば1つ以上のチップセット、マイクロプロセッサ、特

50

定用途向け集積回路（ASIC）、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ（FPGA）、専用回路、またはこれらの組み合わせで）実行されてよく、ポラー符号化器130と送信器124の作業を実行するように構成されてよい。図示されていないが、送信器124は、変調器、増幅器、アンテナ、および/または送信チェーンの他のモジュールまたはコンポーネントを含んでよく、あるいは独立した（無線周波数 - RF）送信モジュールと接続するように構成されてよく、これにより符号語はここで説明されるとおりに生成されて直接送信でき、あるいは独立した送信部またはモジュールによって送信できる。送信器124はまた、非一時的なコンピュータ可読媒体（図示せず）を含んでよく、非一時的なコンピュータ可読媒体は、ポラー符号化器130と送信器124の作業を実行および/または制御するため、および/または、この他にここで説明する機能および/または実施形態の実行を制御するため、（例えばプロセッサによって、または上述した他の何らかの回路によって）実行される命令を含む。一部の実施形態はハードウェアのみを使って実行されてよい。いくつかの実施形態において、プロセッサによって実行される命令はソフトウェア製品の形で具現されてよい。ソフトウェア製品は不揮発性の、または非一時的な、記憶媒体またはメモリに格納されてよく、記憶媒体またはメモリは、例えばコンパクトディスク読み取り専用メモリ（CD-ROM）、ユニバーサル・シリアル・バス（USB）フラッシュ・ディスク、またはリムーバブル・ハード・ディスクであってよい。

【0029】

同様に、ポラー復号化器132、ならびに受信器126の他のデータ/信号処理機能は、プロセッサによって実行されてよく、プロセッサが命令を実行すると、プロセッサはポラー復号化器132と受信器126の作業の一部または全部を遂行する。あるいは、ポラー復号化器132、ならびに受信器126の他のデータ/信号処理機能は、ハードウェアまたは回路で（例えば1つ以上のチップセット、マイクロプロセッサ、ASIC、FPGA、専用回路、またはこれらの組み合わせで）実行されてよく、ポラー復号化器132と受信器126の作業の一部または全部を実行するように構成されてよい。図示されていないが、受信器126は、アンテナ、復調器、増幅器、および/または受信チェーンの他のモジュールまたはコンポーネントを含んでよく、あるいは独立した（無線周波数 - RF）受信モジュールと接続するように構成されてよく、これにより受信器126によって直接的に、または独立した受信部またはモジュールから間接的に、受信されるポラー符号の符号語に基づいて語を処理および/または復号化する。受信器126はまた、非一時的なコンピュータ可読媒体（図示せず）を含んでよく、非一時的なコンピュータ可読媒体は、ポラー復号化器132と受信器126の作業を実行および/または制御するため、および/または、この他にここで説明する機能および/または実施形態の実行を制御するため、（例えばプロセッサによって、または上述した他の何らかの回路によって）実行される命令を含む。一部の実施形態はハードウェアのみを使って実行されてよい。いくつかの実施形態において、プロセッサによって実行される命令はソフトウェア製品の形で具現されてよい。ソフトウェア製品は不揮発性の、または非一時的な、記憶媒体またはメモリに格納されてよく、記憶媒体またはメモリは、例えばCD-ROM、USBフラッシュディスク、またはリムーバブル・ハード・ディスクであってよい。

【0030】

作業中に、ポラー符号化器130は m ビットからなるグループを符号化して N_b ビットに等しい符号語長を有する対応する符号語 x を得、 $N_b > m$ である。ポラー符号化器130はビットを受け取るが、ポラー符号化器130において、ビットは q -aryアルファベットのシンボルを表し得る。語「シンボル」の使用は変調コンスタレーションにおけるシンボルを指すことを意味しているのではなく、 q -aryアルファベットの要素を指すことを意味している。例えば、4-aryアルファベットは表記「0」、「1」、「2」、および「3」を用いて表記されビット00、01、10、および11によってそれぞれ表される4つのシンボルを有してよい。

【0031】

ポラー符号化器130によって出力される符号語 x はチャネル128を通じて送信され、受

10

20

30

40

50

信器126のポーラー復号化器132で受信される。ポーラー復号化器132は、mビットからなるどのグループが送信されたかについての決定を下すため、復号化を遂行する。ポーラー復号化器132によって復号化されるmビットが当初送信されたmビットと一致する場合、復号化は成功したとみなされる。チャンネル128にノイズが多く、あまりにも多くの誤りが符号語xに導入されると、ポーラー復号化は全ての誤りを訂正できないことがある。

【0032】

ポーラー符号はシード行列 G_s から作られるクロネッカー積行列 G を使って生成されてよい。バイナリポーラー符号の場合、それぞれの情報シンボルはビットであり、シード行列 $G_s = G_2$ が使われてよく、

【数1】

$$G_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

である。

【0033】

図2はシード行列 G_2 からクロネッカー積行列をどのように作ることができるかを示している。図2には2倍クロネッカー積行列

【数2】

$$G_2 \otimes^2 \quad 142$$

と3倍クロネッカー積行列

【数3】

$$G_2 \otimes^3 \quad 144$$

が示されている。クロネッカー積のアプローチを繰り返すことによってn倍のクロネッカー積行列

【数4】

$$G_2 \otimes^n$$

を作ることができる。長さ $N = 2^n$ の符号語を有するバイナリポーラー符号の場合、クロネッカー積行列 G はポーラー符号の生成行列であり、

【数5】

$$G = G_2 \otimes^n$$

に等しい。

【0034】

図3は、一実施形態に従ってバイナリポーラー符号を使って符号語がどのように生成されるかを示す流れ図である。点線の吹き出しの中には、ビット長 $N_b = 8$ の符号語を有するバイナリポーラー符号の、すなわち生成行列

【数6】

$$G = G_2 \otimes^3$$

を有するバイナリポーラー符号の、一具体例が示されている。ステップ202では、受信器126へ送信されるべきk情報ビットが得られる。この例で $k = 4$ ビットであり、 $b_1 b_2 b_3 b_4$ と表示されている。任意に選べることとして、ステップ204では、復号化を支援するため、周期的冗長検査(CRC)ビットなどの支援または誤り検出符号(EDC)ビットが、kビットに加えられる(m情報ビットになる)。1つの符号語の中で複数のEDCを使用できることは理解される。チェックサム符号、フレッチャー符号、ハッシュ符号、または他のパリティ検査符号など、別種のEDCを、代わりに、または追加で、使用することも理解されたい。一部のEDCは誤り訂正符号(ECC)として使用することもでき、例えばポーラー符号の性能

10

20

30

40

50

を高めるため、リスト復号化のパス選択に使用できる。

【 0 0 3 5 】

例えばCRCビットは、k情報ビットに基づいて生成され、入力ベクトルにおいて信頼性がより高い位置に通常は配置される。ただし、CRCビットは、その意図された目的しだいでは（例えば誤り検出、または誤り訂正、または両方に使用）、入力ベクトルにおける他の位置に分散またはそうでなければ配置されることもある。この例では、k情報ビットから始まって、CRCが計算され、k情報ビットに付け足され、k情報ビットとCRCビットとを含むm情報ビットが作られる。

【 0 0 3 6 】

図3の例では、ステップ204でEDCビットが加えられないため、 $k=m$ である。mビットはポラー符号化器130に入力される。ステップ206で、ポラー符号化器130は、mビットの各々を入力ベクトルuの N_b 個の位置の各々にマップすることにより、さらにその後入力ベクトルuの残りの位置に「凍結」ビットを配置することにより、長さ N_b ビットの入力ベクトル $u = [u_1 u_2 u_3 \dots u_{N_b}]$ を形成する。凍結ビットの値と位置はポラー符号化器130とポラー復号化器132の双方に知られる。ポラー符号構築の背後にあるチャネル分極理論によると、入力ベクトルuの一部の位置は入力ベクトルuの他の位置より正常に復号化される信頼性が高い。ポラー符号構築では、入力ベクトルuの信頼性がより高い位置にmビットを置き、入力ベクトルuの信頼性がより低い位置に凍結ビットを置く試みがなされる。図3の例では $N_b = 8$ であり、位置 u_4 、 u_6 、 u_7 、および u_8 は入力ベクトルuの信頼性がより高い位置である。したがって、mビットは位置 u_4 、 u_6 、 u_7 、および u_8 に配置される。凍結ビットは値ゼロを各々有するが、より一般的には、凍結ビットは、ポラー符号化器130とポラー復号化器132の双方に知られる別の値に設定できる。

【 0 0 3 7 】

次いで、ステップ208では、入力ベクトルuに生成行列Gを掛けて符号語 $x = [x_1 x_2 x_3 \dots x_{N_b}]$ を得る。図3の例では、

【数 7】

$$x = uG_2 \otimes^3$$

である。

【 0 0 3 8 】

ポラー符号化器130は、入力ベクトルuと生成Gの乗算を実施するため、例えば図3のステップ208を実施するため、カーネルを使用できる。図4はシード行列

【数 8】

$$G_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

による入力 $[u \ v]$ の乗算を実施するカーネル148の概略図である。カーネルにとってのシード行列は、代わりにカーネル生成行列と呼ばれることもある。カーネル148はバイナリカーネルであり、具体的にはArikanバイナリカーネルである。別種のバイナリカーネルは可能である。Arikanバイナリカーネル148は2つの入力uおよびvを受け取り、 $u+v$ およびvを出力し、これらは乗算の出力

【数 9】

$$[u \ v] \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

を表す。円プラス記号はモジュロ2加算を表している。

【 0 0 3 9 】

図5は、図3のステップ208の例を、すなわち行列乗算

【数 1 0】

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_{N_b}] = uG_2 \otimes^3$$

を、実施する構造例の概略図である。図5のそれぞれのカーネル148は図4に示されたそれと同じであるため、同じ参照番号148を使って呼称されている。また、それぞれのカーネルはArikanバイナリカーネルであるため、図5において文字「A」で指示されている。L₁、L₂、およびL₃と表示された3つの符号化層が使われており、それぞれの符号化層は4つのバイナリカーネルを有している。符号化層は符号化段と呼ばれることもある。

【 0 0 4 0】

ポーラー符号化は、ビット逆転ありで、またはビット逆転なしで、遂行されてよい。図5の構造例はビット逆転を有していない。図6にはステップ208を実施する別の構造例が示されている。図6の例はビット逆転を実施する。一般的に、ポーラー符号化器の出力は

10

【数 1 1】

$$x_0^{N-1} = u_0^{N-1}G_N$$

と表すことができ、ビット逆転なしでは、

【数 1 2】

$$G_N = F^{\otimes n}$$

はN×Nの生成行列、N=2ⁿ、n ≥ 1である。例えば、n=1の場合、G₂=Fである。ビット逆転

20

【数 1 3】

$$G_N = B_N F^{\otimes n}$$

であり、B_NはN×Nのビット逆転順列行列である。

【 0 0 4 1】

一般的なポーラー符号
シード行列

【数 1 4】

$$G_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

30

に基づく上述したバイナリポーラー符号はバイナリシンボルアルファベットに限定される。q-aryアルファベットのシンボルを符号化する一般的なポーラー符号を構築でき、q ≥ 2である。入力ベクトルuは生成行列Gを使って符号化され、符号語xになる。入力ベクトルuはm個の情報シンボルを有し、それぞれの情報シンボルはlog₂q情報ビットを使って表される。入力ベクトルuの残りの位置は凍結され、つまりポーラー符号化器130とポーラー復号化器132の双方に知られる。生成行列Gによる入力ベクトルuの乗算はカーネル層を使って実施されてよく、生成行列Gのシード行列G_sによる乗算を実施するため、それぞれのカーネルはガロア体GF(q)で有限体演算を遂行する。図7には一般的なカーネル121の例が示されている。カーネル121は演算x=uG_sを実施し、u=[u₁u₂...u_{q-1}u_q]であり、x=[x₁x₂...x_{q-1}x_q]である。uとxはいずれもシンボルのベクトルであり、それぞれのシンボルはlog₂qビットで表される。バイナリカーネルはq=2の場合の一般的なカーネル121の特別なケースである。

40

【 0 0 4 2】

例えば、4-aryシンボルを符号化する一般的なポーラー符号を規定でき、つまりq=4である。それぞれの入力シンボルは4つの可能な値のいずれか1つであり、これらは表記0、1、2、3、および4を使ってそれぞれ表される。それぞれの可能なシンボル値を表すため、2ビットが実装で使用される：00、01、10、および11。以下は使用できるシード行列G_sの一例であり、

50

【数 15】

$$G_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 & 0 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

以下の有限体演算が規定される： $1 + \alpha = \alpha^2$ 、 $1 + \alpha^2 = \alpha$ 、 $1 + 0 = 1$ 、 $\alpha + 0 = \alpha$ 、 $\alpha^2 + 0 = \alpha^2$ 、 $\alpha + \alpha^2 = 1$ 、 $1 + 1 = 0$ 、 $\alpha + \alpha = 0$ 、 $\alpha^2 + \alpha^2 = 0$ 、 $0 + 0 = 0$ 、 $\alpha^2 = 1$ 、 $1 = \alpha^2$ 、 $0 \times \alpha = 0$ 、 $0 \times \alpha^2 = 0$ 、 $0 \times 1 = 0$ 、 $0 \times 0 = 0$ 、 $\alpha^2 \times 1 = \alpha^2$ 、 $\alpha^2 \times \alpha = \alpha$ 、 $\alpha^2 \times \alpha^2 = 1$ 、および $1 \times 1 = 1$ 。対応するカーネルはリード・ソロモン (RS) 方式カーネルと呼ばれ、図8にて参照番号150を用いて示されている。カーネル150が4-aryシンボルを符号化するRS方式カーネルであることを示すため、「RS(4)」という表記が使われている。より一般的には、「RS(q)」カーネルはq-aryシンボルを符号化するRS方式カーネルである。RS方式カーネルは性能上の利点を有し得、そのうちのいくつかは後ほどさらに詳しく述べる。非バイナリRSカーネルは一例に過ぎない。他の非バイナリカーネルを、例えばエルミートカーネルを、使用することもできる。

【0043】

4-aryシンボルの符号語長は $N_b = 2 \times 4^n$ ビットに制限され、nは自然数である。

【0044】

図9は、 $n=2$ 、すなわち16シンボルの場合のRS(4)ポラー符号化器構造の概略図である。それぞれの4-aryシンボルは2ビットで表されるため、符号語長は $N_b = 2 \times 16 = 32$ ビットである。2つの符号化層 L_1 および L_2 が使われており、それぞれの符号化層は4つのRS(4)カーネルを有している。それぞれのRS(4)カーネルは4つの4-aryシンボルを、すなわち8ビットを、入力として受け付け、4つの4-aryシンボルの、すなわち8ビットの、出力を生成する。バイナリカーネルによるポラー符号化器構造と同様、RS(4)ポラー符号化器構造はシンボルインデックス順列を有し得る、または有し得ない。図9はシンボルインデックス順列がある構造を示している。図10はシンボルインデックス順列がない構造を示している。シンボルインデックス順列がある構造の場合(図9)、生成行列は、順列行列を乗じた、シンボルインデックス順列がない符号化構造の生成行列である。本明細書で開示される実施形態は、シンボルインデックス順列ありで、またはシンボルインデックス順列なしで、実施できる。

【0045】

8-aryアルファベットの場合、カーネルは行列乗算 $x = uG_s$ を実施し、uは8個のシンボルの入力ベクトルであり、 G_s は 8×8 のシード行列である。ガロア体 $GF(8)$ での有限体演算が遂行される。したがって、それぞれの入力シンボルを表すために3ビットが使われるため、カーネルの入力は8個の8-aryシンボルであり、すなわち24ビットである。カーネルの出力は8個の8-aryシンボルであり、すなわち同じく24ビットである。

【0046】

一般的に、 $x = uG$ を実施することによって長さ N_b ビットの符号語xを生成するポラー符号化器130を構築でき、xとuはいずれもq-aryシンボルのそれぞれのベクトルを表す。それぞれのベクトルxおよびuはシンボル長 $N_s = q^n$ を有し、これはビット長 $N_b = \log_2 q \times q^n$ に一致する。n個の符号化層の各々は q^{n-1} 個のカーネルを有し、それぞれのカーネルはq個の入力とq個の出力を有する。

【0047】

RS方式符号など、バイナリではない一般的なポラー符号を使用する場合の考えられる利点は次のとおりである。同じ符号語長で、復号化器において所与のリストサイズでより低いフレーム誤り率(FER)を達成でき、あるいは所与のFERで復号化器においてより小さいリストサイズを達成できる。より小さいリストサイズを使用すると、例えば、コピー、移動、並べ替えのためのリスト関連のメモリが少なく済むことで、実装の複雑さを低減し、復号化のスループットを向上させることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

レート / 長さマッチング

符号化レート R は $R = k_b / N_b$ と規定され、 k_b は情報ビットの数であり、 N_b は k_b 情報ビットに対応する生成される符号語のビット長である。送信器124が受信器126へ k_b ビットを送信する場合、送信器124は特定の符号化レート R / 符号長を使用する必要があり得、これは例えば帯域幅などの使用可能なネットワークリソースに基づいて時間の経過にともない変化し得る。

【 0 0 4 9 】

ポーラ符号は N_b の値に制限を課す。例えば、バイナリカーネルのみを使ってポーラ符号化を遂行する場合は、ビット数による符号語長 N_b が2の累乗に、すなわち $N_b = 2^n$ ビットに、制限される。下表は符号語長 N_b と対応する符号化層数 n を要約したものであり、 n の様々な値は $n = 12$ までである。

10

【 0 0 5 0 】

【表 1】

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N_b	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096

【 0 0 5 1 】

別の一例として、RS(4)カーネルのみを使ってポーラ符号化を遂行する場合は、符号語長 N_b が $N_b = 2 \times 4^n$ ビットに制限される。下表は符号語長 N_b と対応する符号化層数 n を要約したものであり、 n の様々な値は $n = 7$ までである。

20

【 0 0 5 2 】

【表 2】

n	1	2	3	4	5	6	7
N_b	8	32	128	512	2048	8192	32768

【 0 0 5 3 】

別の一例として、RS(8)カーネルのみを使ってポーラ符号化を遂行する場合は、符号語長 N_b が $N_b = 3 \times 8^n$ ビットに制限される。下表は符号語長 N_b と対応する符号化層数 n を要約したものであり、 n の様々な値は $n = 6$ までである。

30

【 0 0 5 4 】

【表 3】

n	1	2	3	4	5	6
N_b	24	192	1536	12288	98304	786432

【 0 0 5 5 】

送信器124が符号化レート R で送信し、送信器124が送信すべき k_b ビットを有する場合、ポーラ符号化器130によって使用されるビット数による符号語長は理想的には $N_b = k_b / R$ となるべきである。ただし、ポーラ符号の使用による N_b への制限は、 $N_b = k_b / R$ に正確に等しい N_b の値を許さない。例えば、バイナリカーネルのみを使用してポーラ符号化を遂行する場合は、 N_b が2の累乗に制限される。送信器124が送信すべき $k_b = 700$ ビットを有し、送信器124が使用しなければならない符号化レート R が $R = 1 / 3$ であるなら、理想的には

40

【数 16】

$$N_b = \frac{700}{\frac{1}{3}} = 2100$$

ビットである。しかし、バイナリカーネルを使って正確に $N_b = 2100$ ビットの符号語長を生成することはできない。そこで、送信器124は、正確に $M = 2100$ ビットを得るため、符号語をパッド（伸長）することによって、またはパンクチャ（短縮）することによって、レートマッチングを遂行する。したがって、長さマッチングによって、すなわち符号化レートが満足されるように符号語の長さを変更することによって、レートマッチングが遂行される。

10

【0056】

図11は別の実施形態による図1の通信システム122を示している。送信器124はパンクチャ器152をさらに含む。ポラー符号化器130は、入力ベクトル形成器147と、情報シーケンス生成器149と、1つ以上のカーネル層151とを具体的に含む。送信器124はまた、非一時的なコンピュータ可読媒体（図示せず）を含んでよく、非一時的なコンピュータ可読媒体は、ポラー符号化器130、および/またはパンクチャ器152、および/または送信器124の作業を実行および/または制御するため、および/または、この他にここで説明する機能および/または実施形態の実行を制御するため、（例えばプロセッサによって、または上述した他の何らかの回路によって）実行される命令を含む。一部の実施形態はハードウェアのみを使って実行されてよい。いくつかの実施形態において、プロセッサによって実行される命令はソフトウェア製品の形で具現されてよい。ソフトウェア製品は不揮発性の、または非一時的な、記憶媒体またはメモリに格納されてよく、記憶媒体またはメモリは、例えばCD-ROM、USBフラッシュディスク、またはリムーバブル・ハード・ディスクであってよい。

20

【0057】

受信器126内のポラー復号化器132は、ビット対数尤度比（LLR）計算器154と、ビットLLR - シンボルLLR変換器156と、復号化器158とを具体的に含む。受信器126はまた、非一時的なコンピュータ可読媒体（図示せず）を含んでよく、非一時的なコンピュータ可読媒体は、ポラー復号化器132と受信器126の作業を実行および/または制御するため、および/または、この他にここで説明する機能および/または実施形態の実行を制御するため、（例えばプロセッサによって、または上述した他の何らかの回路によって）実行される命令を含む。一部の実施形態はハードウェアのみを使って実行されてよい。いくつかの実施形態において、プロセッサによって実行される命令はソフトウェア製品の形で具現されてよい。ソフトウェア製品は不揮発性の、または非一時的な、記憶媒体またはメモリに格納されてよく、記憶媒体またはメモリは、例えばCD-ROM、USBフラッシュディスク、またはリムーバブル・ハード・ディスクであってよい。

30

【0058】

図11は、図示されていない他のコンポーネントを、例えば送信器124内の変調器と受信器126内の復調器を、含んでよい。変調と対応する復調はLLR計算を可能にするために使われてよい。送信器124のさらなるコンポーネントは、増幅器、アンテナ、および/または送信チェーンの他のモジュールまたはコンポーネントを含んでもよく、あるいは送信器124は独立した（RF）送信モジュールと接続するように構成されてよく、これにより符号語はここで説明されるとおりに生成されて直接送信されてよく、あるいは独立した送信部またはモジュールによって送信されてよい。受信器126のさらなるコンポーネントは、アンテナ、増幅器、および/または受信チェーンの他のモジュールまたはコンポーネントを含んでよく、あるいは独立した（RF）受信モジュールと接続するように構成されてよく、これにより受信器126によって直接的に、または独立した受信部またはモジュールから間接的に、受信されるポラー符号の符号語に基づいて語を処理および/または復号化する。

40

【0059】

50

作業中はポーラー符号化器130で k_b ビットが受け取られる。入力ベクトル形成器147は入力ベクトル u の特定の位置に k_b ビットをマップする。入力ベクトル u の残りの位置は凍結位置として設定される。情報シーケンス155は、入力ベクトル u のどの位置が k_b ビットの各々を受け取り、入力ベクトル u のどの位置が凍結値を受け取るかを指示する。情報シーケンス155は、送信器124が k_b ビットの送信に使う符号化レート R 、チャンネル128のノイズ、あるいは符号化レートと符号化長に基づく所定の作業SNRなどのファクタに基づいて、情報シーケンス生成器149によって生成される（オンラインで生成される、またはメモリから読み取られる）。情報シーケンス生成器149は情報シーケンス155を生成し、これにより入力ベクトル u の信頼性がより高い位置に k_b ビットを置き、入力ベクトル u の信頼性がより低い位置に凍結値を置く試みがなされる。

10

【0060】

知られているように、情報シーケンス155などのオーダードシーケンスはサブチャンネルの相対的な「信頼性」を表し、サブチャンネルは分極工程後の合成チャンネルを指す。換言すると、一部のサブチャンネルは高いキャパシティを有し、一部のサブチャンネルは低いキャパシティを有する。言い換えると、一部のサブチャンネルは高い信号対ノイズ比（SNR）を有し、他のサブチャンネルは低いSNRを有する。これらの基準はサブチャンネルの「信頼性」を定量化または分類するのに用いることができる特性の例である。サブチャンネルの信頼性を示す他の基準を使用することもできる。サブチャンネルの選択はサブチャンネルの信頼性に基づいており、通常は信頼性が最も高いサブチャンネルが情報ビットを運ぶ情報サブチャンネルとして選択される。

20

【0061】

一般的なポーラー符号の場合、情報シーケンス155はシンボル位置のシーケンスかビット位置のシーケンスであってよい。 q -aryカーネルを使用する N_b ビットの符号語の場合、シンボル位置のシーケンスの全長は $N_b / \log_2(q)$ であり、一方、ビット位置のシーケンスのそれは N_b である。RS(4)ポーラー符号を一例として挙げる。シンボル位置のシーケンスの場合、情報ビットを置く位置はシンボルに基づいて選択され、つまり、符号化される1つのシンボルを表す隣接する2ビットは両方とも情報ビットであるか両方とも凍結ビットであるべきであり、一方、ビット位置のシーケンスの場合、1つのシンボルを表す隣接する2ビットは、ゼロ個、1個、または2個の情報ビットを収容できる。いくつかの実施形態において、シンボル位置のシーケンスを使用することは、少なくともジニー支援シーケンス生成方法のもとでは、ビット位置のシーケンスを使用するよりも優れた誤り訂正性能を有することができる。これは、シンボル位置のシーケンスを使用することで、シンボルベースのカーネルが使用されるときに分極利得をより有効に利用することに起因する。シンボル位置のシーケンスはビット位置のシーケンスに等しく、隣接する2つのビット位置 $2 * i$ および $2 * i + 1$ ($0 \leq i < N_b / 2$)は両方とも情報ビット位置であるか両方とも凍結ビット位置でなければならないという制約がある、という意味において、シンボル位置のシーケンスは実際にはビット位置のシーケンスの特別なケースである。したがって、一般性のために、以下の文章における情報シーケンスはいずれもビット位置のシーケンスを指す。

30

【0062】

サブチャンネルの単一のネストされたSNR非依存オーダードシーケンス155は、コード長 $N_{m_{ax}}$ に対して計算され、より短い符号長 N のためのオーダードシーケンスは、より長い $N_{m_{ax}}$ シーケンスから選択される。異なるマザー符号長 N_i に関して複数のオーダードシーケンスを代わりに計算することができ、マザー符号長シーケンスの1つを、好ましい符号長に基づいて特定の符号のために選択することができる。別の可能なオプションは、例えば、SNR値に関して複数のオーダードシーケンスを計算し、測定されたSNRに基づいてオーダードシーケンスを選択することを含む。

40

【0063】

情報シーケンス生成器149は数通りのやり方でオーダードシーケンス計算を遂行できる。例えば、計算をオンラインで遂行してオーダードシーケンスを生成でき、生成されたオ

50

オーダーシーケンスは、例えば観測されるチャネル状態に基づいて動的に調節または再計算できる。あるいは、計算をオフラインで（例えば事前に）遂行してあらかじめ計算された（静的な）オーダーシーケンスを生成でき、生成されたオーダーシーケンスはメモリに格納でき、シーケンス符号化作業のときにメモリから引き出すことができ、またはメモリから読み取ることができる。あるいは、計算は部分的にオンラインで遂行でき、なおかつ部分的にオフラインで遂行できる。

【 0 0 6 4 】

入力ベクトル形成器147から出力される入力ベクトル u は少なくとも1つのカーネルを各々有する1つ以上のカーネル層151によって符号化され、対応する長さ N_b ビットの符号語 x になる。入力ベクトル u はカーネル層で操作される前に q -aryシンボルのベクトル（ u_s と表記）に変換しなければならず、 q -aryシンボルの出力ベクトル（ x_s と表記）から N_b ビットの符号語 x が変換されなければならない。1つ以上のカーネル層151が演算 $x_s = u_s G$ を実施する。 x_s と u_s はシンボルであるが、それらはハードウェアではなおビットで表される。

【 0 0 6 5 】

ポーラー符号化器130はポーラー符号を実施し、ここで N_b は符号化レート R に基づいて実際に送信できるビット数 $M = k_b / R$ を超過する。このため、パンクチャリングパターン153に従ってビットを除去して M ビットにするため、長さ N_b の符号語 x はパンクチャ器152によってパンクチャされる。その後、 M ビットがチャネル128上で送信される。本明細書で用いる「パンクチャリング」とは符号語からビットを除去することを指す。パンクチャリングが遂行されると符号語の長さが減少する。「短縮」という語は、符号語から除去された各ビットが復号化器によって知られている値を有する特定の状況を指すために使用されることがあり、これは例えば、符号語から除去されたビットが凍結ビットの線形結合である場合であってよい。本明細書で用いる「パンクチャリング」は、「短縮」、ならびに符号語から除去された1つ、いくつか、または全てのビットが復号化器によって知られていない値をそれぞれ有する他の実装の両方を含む。符号語からどのビットを除去すべきかを指示する全てのパターンはパンクチャリングパターンと呼ばれる。パンクチャリングパターンは符号語の位置のサブセットを減少された長さまで短縮する短縮パターンを含む。パンクチャリングパターンは、ビットをパンクチャするが短縮パターンではない別種のパターンも含む。

【 0 0 6 6 】

M ビットを携える受信信号はポーラー復号化器132で処理される。まずはビットLLR計算器154が M ビットの各々につきビットLLRを計算する。その後、160に示されているように、パンクチャされたビットの各々につきビットLLRをゼロに設定することによってデパンクチャリングが遂行される。その後、ビットLLR - シンボルLLR変換器156がビットLLRを N_b ビットによって表されるシンボルの対応するシンボルLLRに変換する。ポーラー符号化器130がバイナリカーネルのみを使用する場合は、それぞれのビットがシンボルを表すため、それぞれのビットLLRはシンボルLLRであり、ビットLLRからシンボルLLRへの変換は必要ない。その後、復号化器158によってシンボルLLR値が処理され、どの k_b ビットが送信されたかについての決定が生成される。復号化器158によって実施される復号化アルゴリズムの例は、シンボルベースのサクセシブ・キャンセレーション（SC）またはサクセシブ・キャンセレーション・リスト（SCL）復号化である。図12は、シンボルインデックス順列により2層のRS（4）カーネルを用いて生成される32ビット符号語のための復号化器158の一例を示しており、ここでは符号語の最初の7ビットがパンクチャされている。160に示されているように、7つのパンクチャされたビットの各々につきビットLLR値をゼロに設定することによってデパンクチャリングが遂行される。図13は復号化器158の別の一例を示しており、ここではRS（4）カーネル層を使用する復号化器に同じパンクチャリングパターン（すなわち、符号語の最初の7ビットをパンクチャする）が適用されているが、シンボルインデックス順列はない。

【 0 0 6 7 】

図11に戻り、パンクチャリングパターン153を使って符号語 x のビットがパンクチャされ

10

20

30

40

50

、これにより符号語 x の N_b ビットは $M < N_b$ ビットに減らされる。パンクチャリングパターン153は、どのビットをパンクチャすべきかを、すなわち具体的には符号語 x のどのビットを除去すべきかを、指示する。 q -aryアルファベットのシンボルを符号化する一般的なポラー符号が使われ、 $q > 2$ である場合は、パンクチャリングにあたって、ビットからなるグループが異なるシンボルを表すという事実を考慮に入れなければならない。

【0068】

どのパンクチャリングパターン153と情報シーケンス155を使用するかの決定は相互に依存している。1つのアプローチでは、固定された情報シーケンス155に基づいて最適なパンクチャリングパターン153を得る。例えば、最初に情報シーケンス155を決定し、次に情報シーケンス155で指示される凍結位置（すなわち「凍結セット」）を踏まえて、最適なパンクチャリングパターン153を生成する。一例として、情報シーケンス生成器149がチャンネルのノイズと符号化レート R を踏まえて入力ベクトル u の最後の k_b ビット位置が最も信頼性の高い位置であると判断したため、情報シーケンス155は入力ベクトル u の最後の k_b ビット位置に k_b ビットを配置することを指示できる。その後、符号語 x の中で凍結値に最もよく一致するビットをパンクチャすることを試みるため、この特定の情報シーケンス155に基づいてパンクチャリングパターン153を計算できる。

【0069】

別の方法では、最初にパンクチャリングパターン153を選択し、次にパンクチャリングパターン153に基づいて最適な情報シーケンス155を生成する。例えば、ある特定のパンクチャリングパターン153で、凍結セットは、すなわち情報シーケンス155における凍結位置は、最適化できる。最適な凍結セット、ガウス近似による密度進化法を用いて、またはシミュレーションを使用するジーン支援法を用いて、判断できる。選択されたパンクチャリングパターンに基づいて最適な凍結セットが判断されたら、情報シーケンス生成器149は、例えばチャンネルノイズ（または作業SNR）と符号化レート R とに基づいて情報シーケンス155を生成するばかりでなく、選択されたパンクチャリングパターン153に基づいて情報シーケンス155を生成するように変更される。例えば、単純に符号語 x の最初の $P = N_b - M$ ビットをパンクチャするパンクチャリングパターン153を選択できる。次に、符号語 x でパンクチャされるビットに最もよく一致する位置として入力ベクトル u の凍結位置を判断するため、情報シーケンス生成器149によって最適な情報シーケンス155が生成される。

【0070】

あるいは、合同最適化法を遂行でき、この場合は、情報シーケンス155とパンクチャリングパターン153を合同で最適化するため、情報シーケンス155とパンクチャリングパターン153が一緒に生成される。合同最適化を行う場合は、探索空間の徹底的な探索またはスマートリダクションを遂行できる。

【0071】

図14はCRC支援SCLポラー復号化のFER曲線を示しており、ここで $N_b = 2048$ ビットであり、 $k_b = 600$ ビットであり、 $R = 1/3$ である。したがって、 $M = 1800$ ビットであり、それにより248ビットがパンクチャされる。情報シーケンスの凍結位置はパンクチャリングパターンに基づいて最適化される。リストサイズが $L = 1$ であるSC復号化の場合、Arkanカーネルに対するRS(4)カーネルを使った場合の性能利得は、 $FER = 0.1$ で0.45dBであり、 $FER = 0.01$ で0.5dBである。リストサイズが $L = 8$ であるSCL復号化の場合、性能利得は $FER = 0.1$ で0.15dBであり、 $FER = 0.01$ で0.17dBである。

【0072】

図15は送信器124によって遂行される方法の一実施形態の流れ図であり、ここでは最初にパンクチャリングパターン153が選択され、その後情報シーケンス155が生成される。ステップ222で、送信器124はチャンネル128上で送信されるべきビット長 M を判断する。例えば、ビット長 M は $M = k_b / R$ として計算できる。ステップ224で、送信器124は、符号語 x の最初の $P = N_b - M$ ビットをパンクチャするパンクチャリングパターンを構成することによってパンクチャリングパターン153を生成または決定する。

【0073】

ステップ224における最初の $P = N_b - M$ ビットのパンクチャリングは一例に過ぎない。別のパンクチャリングパターンに従って別の $P = N_b - M$ ビットセットをパンクチャ（例えば短縮）することもできる。ステップ224のパンクチャリングパターンは、符号語ビットのどのサブセットを減少された長さまで短縮するべきかを判断する短縮パターンを含んでよい。いくつかの実施形態において、パンクチャリングパターンは、 M に加えて他のパラメータを考慮して、例えば情報ブロック長 K および/または符号化レート R を考慮して、生成または決定されてよい。例えば、より良い誤り訂正性能のため、低および中符号化レート R の場合は最初の $N_b - M$ のパンクチャリングが採用されてよく、一方、高符号化レート R の場合はブロック方式の短縮またはビット逆転（BIV）短縮が使用されてよい。他の実施形態では、（例えば上記のパラメータの1つ以上に基づいて）複数の使用可能なパンクチャ

10

【0074】

いくつかの実施形態において、ステップ228では、各符号語 x につき、当該符号語 x のパンクチャリングパターン153と、以下の追加のパラメータ：(i) N_b ビットに等しい入力ベクトル u の長さ、(ii) 情報ビット数 k_b 、(iii) チャネル128の信号対ノイズ比（SNR）（または作業SNR）、および(iv) 送信されるべきビット長 M 、の一部または全部を用いて、情報シーケンス155を計算する。例えば、密度進化のガウス近似を遂行して入力ベクトル u における最適な凍結位置を見つけ、そうすることで情報シーケンス155を生成できる。ただし、ステップ228で計算を行うと計算の複雑さが増して待ち時間が増す可能性がある。具体的に述べると、 q -aryアルファベットのシンボルを符号化する一般的なポラー符号を使用し、 $q > 2$ である場合に、送信器124の作動中にオンライン方式でステップ228を遂行することは現実的でないかもしれない。代替りのオプションでは、 M の可能な全ての値について全ての情報シーケンスをあらかじめオフラインで計算し、送信器124に格納する。ただし、これはあらかじめ計算された情報シーケンスの全てを格納するためメモリの大部分を必要とする可能性がある。メモリ空間および/またはメモリアクセス時間といった送信器124におけるメモリの制約は、あらかじめ計算された情報シーケンスの全てを格納することを許さない可能性がある。

20

30

【0075】

このため、一実施形態では、図16に示されているように、送信器124のメモリ304にルックアップテーブル（LUT）302が格納される。LUT 302はある特定のパンクチャリングパターンに相当し得る。LUT 302は M の様々な範囲でどの情報シーケンスを使用するかを指示する。各範囲につき、範囲内の M の代表的な値について1つの情報シーケンスがオフラインで計算され、その後その情報シーケンスは範囲内の M のどの値にも使われる。例えば、範囲 $M_A < M < M_B$ の場合は、代表的なブロック長 M_{Rep} が選択され、 $M_A < M_{Rep} < M_B$ である。 M_{Rep} について情報シーケンスがオフラインで計算され、LUT 302に格納される。次に、作業中に、 M の値が $M_A < M < M_B$ 範囲内なら、 $M_A < M < M_B$ 範囲に対応するLUT 302に格納された情報シーケンスが使われる。具体的に述べると、 $M_A < M < M_B$ の範囲内にあるいずれかの値 M について、 K 個の最も信頼性の高いビット位置が、その範囲の対応する情報シーケンス（すなわち、 M_{Rep} で生成された情報シーケンス）によって示される K 個の情報ビットを収容するために、選択される。 M が M_{Rep} より大きい場合、選択は、 M_{Rep} に比べて追加のパンクチャリングのために凍結位置に強制される1つまたはいくつかのビット位置をスキップしてもよい。 M の可能な全ての値について情報シーケンスを格納するのではなく、 M を範囲に分割し、範囲ごとにただ1つの情報シーケンスを格納することにより、LUTは大幅に縮約できる。

40

【0076】

50

図17は3つの符号語312、314、および316を示している。符号語312が送信される符号化レートRでは、Mが M_B より僅かに小さくなる。符号語314が送信される符号化レートRでは、Mが M_{Rep} に等しくなる。符号語316が送信される符号化レートRでは、Mが M_A に等しくなる。それぞれの符号語で、パンクチャするビットの数 ($P = N_b - M$) は異なるが、 M_{Rep} に対応する同じ情報シーケンスが使われる。図17の例には値 M_U および M_L が示されており、 $M_U = M_B - M_{Rep}$ であり、 $M_L = M_{Rep} - M_A$ である。 M_U は M_{Rep} と M_B の間の範囲の部分であり、 M_L は M_A と M_{Rep} の間の範囲の部分である。 M_U は M_L より大きい。 M_U が M_L より大きくなる必要はないが、実装において M_U は M_L よりかなり大きくなり得る。 M_{Rep} に満たないMの値を使用すると M_{Rep} より多くのパンクチャリングが必要となり、その結果、符号化レートが高くなって誤り検出および/または訂正に使える情報が減り、その結果、復号化障害が発生して性能がさらに低下する可能性がある。したがって、 M_{Rep} に近い M_A が望ましく、つまり図17に示されているように、 M_L は M_U より小さい。ただし、 M_{Rep} より大きいMの値を使用すると M_{Rep} に比べて追加のパンクチャリングはなく、それにより重要な符号化情報は大部分保たれ得てほとんど失われない。したがって、 M_B が M_{Rep} の近くに保たれる必要はなくてもよく、すなわち、図17に示されているように、 M_U は M_L より大きくてよい。

【 0 0 7 7 】

図18は一実施形態に従って送信器124によって遂行される方法の流れ図である。ステップ242で、送信器124はチャンネル128上で送信されるべきビット長Mを判断する。例えば、ビット長Mは $M = k_b / R$ として計算できる。ステップ244で、送信器124は、符号語xの最初の $P = N_b - M$ ビットをパンクチャするパンクチャリングパターンを構成することによってパンクチャリングパターン153を生成または決定する。次いで、ステップ246で、送信器142は、値Mを情報シーケンス生成器149へ送り、またはこの他に情報シーケンス生成器149で使用できるようにする。あるいは、情報シーケンス生成器149はMの値を独立して計算してよい。ステップ248で、情報シーケンス生成器149は、Mの値を含む範囲に対応する情報シーケンス155をLUT 302から読み取ることによって情報シーケンス155を生成する。代表的な M_{Rep} に使われる情報シーケンスは指定範囲に含まれるMの隣接する値にも使われるため、図18の方法はピース・ワイズ・オフライン・レート/長さマッチング方式と呼ばれることもある。

【 0 0 7 8 】

ステップ244における最初の $P = N_b - M$ ビットのパンクチャリングは一例に過ぎない。別のパンクチャリングパターンに従って別の $P = N_b - M$ ビットセットをパンクチャ（例えば短縮）することもできる。ステップ244のパンクチャリングパターンは、符号語ビットのどのサブセットを短縮するべきかを判断する短縮パターンを含んでよい。いくつかの実施形態において、パンクチャリングパターンは、Mに加えて他のパラメータを考慮して、例えば情報ブロック長Kおよび/または符号化レートRを考慮して、生成または決定されてよい。例えば、より良い誤り訂正性能のため、低および中符号化レートRの場合は最初の $N_b - M$ のパンクチャリングが採用されてよく、一方、高符号化レートRの場合はブロック方式の短縮またはビット逆転（BIV）短縮が使用されてよい。他の実施形態では、（例えば上記のパラメータの1つ以上に基づいて）複数の使用可能なパンクチャリングパターンからパンクチャリングパターンを選択することによってパンクチャリングパターンが決定されてよい。いくつかの実施形態において、パンクチャリングパターンを決定することは、パンクチャされるべきサブチャンネルの数およびインデックスを含むパンクチャリングセットを決定することを含む。また、図16から図18までの関係で説明したピースワイズ方法は、符号語の中で連続するビットをパンクチャするパンクチャリングパターンと、符号語の中で連続するビットをパンクチャしないパンクチャリングパターンの両方に当てはまる。

【 0 0 7 9 】

ステップ248において、異なるパンクチャリングパターンが検討される場合は異なるLUTが使われてよく、例えばそれぞれのパンクチャリングパターンはそれぞれのLUTに対応している。異なるLUTは異なるM範囲数と関連する代表的なシーケンスを含み得る。例えば図16で、最初の数ビットをパンクチャするのではなくブロック方式の短縮かBIV短縮が検討

10

20

30

40

50

される場合は、M範囲数はおそらく異なる範囲境界で変化し得る（例えば、
【数 1 7】

$$M'_1 \leq M < M'_2, M'_2 \leq M < M'_3$$

など）。また、同じMの値でLUTは異なる代表的シーケンスを含み得る（例えば、 $M_1 \leq M < M_2$ と

【数 1 8】

$$M'_1 \leq M < M'_2$$

を満足するMの場合は、ある1つのLUTでシーケンス #1が使われてよく、別のLUTではシーケンス #1とは異なるシーケンス #1' が使われてよい）。さらに、いくつかの実施形態においては、格納されたシーケンスの各々の長さは N_b であるが、他の実施形態において、シーケンスの1つ、いくつか、または全ての長さはマザー符号ブロック長ではない、すなわち2の累乗ではない、場合がある。代わりに、長さが N_b より小さく、ただし M_2 より小さくない、シーケンスは、Mの対応範囲のために格納されてよく、 M_2 はMの対応範囲の上限である。

10

【 0 0 8 0 】

いくつかの実施形態において、Mの異なる範囲の異なる情報シーケンス（例えば、図16のシーケンス #1、シーケンス #2、...など）は同じマザー符号長 N_b にそれぞれ対応してよい。他の実施形態において、Mの異なる範囲の異なる情報シーケンスは異なるマザー符号長に対応してよい（例えば、図16のそれぞれの情報シーケンス / Mの範囲はそれぞれの異なるマザー符号長に対応してよい）。

20

【 0 0 8 1 】

図18の流れ図は、シーケンスの選択またはシーケンス生成が、特定のパンクチャリングパターンならびに送信される符号ブロック長Mに依存することを示している。

【 0 0 8 2 】

図18の方法に関連する可能性のある利点は以下のとおりである。符号化ビット長空間を適切に分割し、範囲ごとに代表的なブロック長 M_{Rep} を選択することにより、ポラー符号化 / 復号化の性能は、Mの各値について異なる情報シーケンスを計算するポラー符号化器の性能に匹敵し得る。オフライン生成も可能であり、この場合は、作業中に情報シーケンスを計算するのではなく、作業中にLUT302がアクセスされるので、実装の複雑さを低減できる。可能な全てのブロック長値Mではなく、ブロック長値の範囲ごとに情報シーケンスが格納されるので、メモリ要求は低減できる。図18の方法は、バイナリポラー符号のみを使用する符号化器に、例えばArikanポラー符号を使用する符号化器に、またバイナリでない一般的なポラー符号を使用する符号化器に、例えばRS方式ポラー符号を使用する符号化器に、適用可能である。

30

【 0 0 8 3 】

上記の実施形態は、例えばLUT 302により、値Mを含む範囲がどれなのかに基づいて情報シーケンス155を生成または選択することを説明している。あるいは、範囲は符号化レートRに基づいてもよい。すなわち、符号化レートRの値の異なる範囲は代表的な符号化レート R_{Rep} をそれぞれ有することができる。 R_{Rep} に対応する情報シーケンスは、符号化レートが R_{Rep} によって表される範囲内に入る場合はいつでも使用できる。また、代替の実施形態では、マザー符号ブロック長の情報シーケンスが事前に固定されてもよく、それに従って、符号ブロック長の範囲Mまたは符号化レートRについて共通のパンクチャリングセットが生成または決定される。

40

【 0 0 8 4 】

図19から図22は様々なFER曲線を示している。 $N_b = 2048$ ビットであり、 $k_b = 600$ ビットである。代表的な符号化レート $R_{Rep} = 1/3$ であり、したがって

【数 19】

$$M_{Rep} = \frac{k_b}{R_{Rep}} = 1800$$

ビットである。リストサイズLを使ってSCL復号化が遂行された。図19および図20に対応するシミュレーションにはRS(4)ポラー符号が使われ、図21および図22に対応するシミュレーションにはバイナリポラー符号が使われた。異なるリストサイズLとMの値でのFERが描かれている。図19からわかるように、 M_{Rep} より100ビット多いMの値を使用する場合に比べて M_{Rep} より100ビット少ないMの値を使用する場合、FERは $M_{Rep} = 1800$ ビットに対してより大きく変化する。

10

【0085】

図23は、一実施形態に従い、送信器によって、例えば送信器124によって、遂行される方法の流れ図である。ステップ402では、ポラー符号化器で複数のビットが受け取られる。ステップ404では、複数のビットの送信に使われる符号化レート、および複数のビットの送信に使われる符号化ビット数のうち、少なくともいずれか一方に相当する値が得られる。ステップ406で、送信器はその値を含む値の範囲がどれかを判断する。範囲は値を含む範囲であり、したがって値に対応する範囲であるため、値を含む範囲は対応範囲と呼ばれる。対応範囲の情報シーケンスが得られる。ステップ408では、情報シーケンスに従って入力ベクトルの位置のサブセットに複数のビットがマップされる。ステップ410では、入力ベクトルの残りの位置が復号化器によって知られる凍結値として設定される。ステップ412では、符号語を生成するためポラー符号化器で入力ベクトルが符号化される。

20

【0086】

いくつかの実施形態において、対応範囲の情報シーケンスを得ることは、対応範囲の格納された情報シーケンスをメモリから引き出すことを含む。いくつかの実施形態において、対応範囲の情報シーケンスは対応範囲内の代表的値に基づいて判断される情報シーケンスである。いくつかの実施形態において、代表的な値は、対応範囲の一端に、対応範囲の他端よりも近い。

【0087】

いくつかの実施形態において、方法は、パンクチャされた(例えば短縮された)符号語を得るため、パンクチャリング(例えば短縮)パターンに従って符号語をパンクチャするステップをさらに含む。パンクチャされた(例えば短縮された)符号語のビット長は複数のビットの送信に使われる符号化ビット数に等しい。

30

【0088】

いくつかの実施形態において、マザー符号語はビット長 N_b を有し、パンクチャ済み(例えば短縮済み)符号語はビット長Mを有し、パンクチャリングパターンは符号語の最初の $(N_b - M)$ ビットをパンクチャする。

【0089】

いくつかの実施形態において、複数のビットは第1の複数のビットであり、値は第1の値であり、情報シーケンスは第1の情報シーケンスであり、入力ベクトルは第1の入力ベクトルであり、符号語は第1の符号語であり、パンクチャ済み符号語は第1のパンクチャ済み符号語であり、さらなる方法は、(1)ポラー符号化器で第2の複数のビットを受け取るステップ、(2)第2の複数のビットの送信に使われる符号化レート、および第2の複数のビットの送信に使われる第2のパンクチャ済み符号語のビット長のうち、少なくともいずれか一方に相当する第2の値を得るステップ、(3)第2の値を含む値の範囲がどれなのかを判断するステップと、第2の値を含む範囲に対応する第2の情報シーケンスを得るステップ、(4)第2の情報シーケンスに従って第2の入力ベクトルの位置のサブセットに第2の複数のビットをマップするステップ、(5)第2の入力ベクトルの残りの位置を復号化器によって知られる凍結値として設定するステップ、(6)第2の符号語を生成するため、ポラー符号化器で第2の入力ベクトルを符号化するステップ、そして、(7)第2のパンクチャ済み(例えば短縮済み)符号語を得るため、パンクチャリング(例えば短縮)パターンに従

40

50

って第2の符号語をパンクチャ（例えば短縮）するステップを含む。

【0090】

いくつかの実施形態において、第1のパンクチャ済み（例えば短縮済み）符号語と第2のパンクチャ済み（例えば短縮済み）符号語は異なるビット長を有する。いくつかの実施形態において、第2の値を含む対応範囲は第1の値を含む対応範囲と同じであり、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと同じである。他の実施形態において、第2の値を含む対応範囲は第1の値を含む対応範囲と異なり、第1の情報シーケンスは第2の情報シーケンスと異なる。

【0091】

いくつかの実施形態において、複数のビットの少なくともいくつかは複数のq-aryシンボルを表し、 $q > 2$ である。例えば、複数のビットはいずれも複数のq-aryシンボルを表してよく、符号語はビットによって表されるq-aryシンボルからなるとよい。

10

【0092】

いくつかの実施形態において、入力ベクトルを符号化することは、符号語を生成するため、少なくとも1つのポーラ符号化器カーネルを使って入力ベクトルを符号化することを含む。符号化することは、ビットによって表される入力q-aryシンボルのセットをポーラ符号化器カーネルで受け取ることと、ビットによって表される出力q-aryシンボルのセットを生成するため、ポーラ符号化器カーネルのシード行列に従って上記入力q-aryシンボルのセットを変換することとを含んでよい。qは2以上であってよい。ポーラ符号化器カーネルのシード行列はカーネル生成行列と呼ばれることもある。

20

【0093】

図24は本開示の実施形態を実施できる通信システム例1300を示している。通常、システム1300は、複数の無線または有線エレメントがデータやその他のコンテンツをやり取りすることを可能にする。システム1300の目的は、ブロードキャストにより、ナローキャストにより、ユーザーデバイスからユーザーデバイスにより、その他により、コンテンツ（音声、データ、ビデオ、テキスト）を提供することであってよい。システム1300は帯域幅などのリソースを共用することによって効率的に作動できる。

【0094】

この例で、通信システム1300は、電子デバイス（ED）1310a～1310cと、無線アクセスネットワーク（RAN）1320a～1320bと、コアネットワーク1330と、公衆交換電話網（PSTN）1340と、インターネット1350と、他のネットワーク1360とを含む。図24にはある程度の数のこれらのコンポーネントやエレメントが示されているが、任意の妥当な数のこれらのコンポーネントやエレメントをシステム1300に含めることもできる。

30

【0095】

ED 1310a～1310cと基地局1370a～1370bは、ここで説明する機能および/または実施形態の一部または全部を実施するように構成できる通信機器の例である。例えば、ED 1310a～1310cおよび基地局1370a～1370bのいずれか1つは上述した符号化機能または復号化機能（または両方）を実施するように構成できる。別の一例において、ED 1310a～1310cと基地局1370a～1370bのいずれか1つは上述した送信器124、受信器126、または両方を含むことができる。

40

【0096】

ED 1310a～1310cはシステム1300の中で、作動するように、通信するように、または作動しかつ通信するように、構成される。例えば、ED 1310a～1310cは無線または有線通信チャネルを通じて送信するように、受信するように、または送信しかつ受信するように、構成される。それぞれのED 1310a～1310cは無線操作のための適当なエンドユーザーデバイスに相当し、ユーザー機器/デバイス（UE）、無線送受装置（WTRU）、移動局、固定または移動加入者装置、セル方式電話機、ステーション（STA）、マシンタイプ通信デバイス（MTC）、個人用デジタル補助装置（PDA）、スマートフォン、ラップトップ、コンピュータ、タッチパッド、無線センサー、または消費者電子デバイスなどのデバイスを含み得る（またはこのように呼ばれ得る）。

50

【 0 0 9 7 】

図24で、RAN 1320a～1320bは基地局1370a～1370bをそれぞれ含む。それぞれの基地局1370a～1370bは、任意の他の基地局1370a～1370b、コアネットワーク1330、PSTN 1340、インターネット1350、および/または他のネットワーク1360へのアクセスを可能にするため、ED 1310a～1310cのいずれか1つ以上と無線接続するように構成される。例えば、基地局1370a～1370bは、ベーストランシーバステーション (BTS)、ノードB (NodeB)、エボルブドNodeB (eNodeB)、ホームeNodeB、gNodeB (「ギガビット」NodeBと呼ばれることがある)、トランスミッションポイント (TP)、サイトコントローラ、アクセスポイント (AP)、無線ルーターなどの数個の周知のデバイスの1つ以上を含み得る (または1つ以上であり得る)。任意のED 1310a～1310cは、任意の他の基地局1370a～1370b、インターネット1350、コアネットワーク1330、PSTN 1340、他のネットワーク1360、またはこれらの任意の組み合わせと、接続するように、アクセスするように、または通信するように、代わりに、またはまとめて、構成されてよい。任意に選べることとして、システムはRAN 1320bなどのRANを含んでよく、図示されているように、対応する基地局1370bはインターネット1350を経由してコアネットワーク1330にアクセスする。

10

【 0 0 9 8 】

図24に示されている実施形態において、基地局1370aはRAN 1320aの一部を形成し、RAN 1320aは他の基地局、基地局コントローラ (BSC)、無線ネットワークコントローラ (RNC)、リレーノード、エレメント、および/またはデバイスを含み得る。基地局1370a、1370bは図示されているように単一のエレメントであってよく、あるいは対応するRANに分散された複数のエレメントその他であってよい。また、基地局1370bはRAN 1320bの一部を形成し、RAN 1320bは他の基地局、エレメント、および/またはデバイスを含み得る。それぞれの基地局1370a～1370bは、「セル」と呼ばれることがある特定の地理的領域または地域の中で無線信号を送信および/または受信するように作動するように構成されてよい。セルはセルセクターにさらに分割でき、基地局1370a～1370bは、例えば複数のトランシーバを使って複数のセクターにサービスを提供できる。いくつかの実施形態において、基地局1370a～1370bはピコまたはフェムトセルを確立でき、無線アクセス技術がこれをサポートする。いくつかの実施形態においては、各セルにつき複数のトランシーバを有する多入力多出力 (MIMO) 技術が採用されてよい。図示されているRAN 1320a～1320bの数は例に過ぎない。システム1300を考案するときはいくつものRANを企図できる。

20

30

【 0 0 9 9 】

基地局1370a～1370bは、無線通信リンクを使って、例えばRF、 μ Wave、IR、その他を使って、1つ以上のエアインターフェース1390にわたってED 1310a～1310cの1つ以上と通信する。エアインターフェース1390は任意の適当な無線アクセス技術を利用してよい。例えば、システム1300は、符号分割多元接続 (CDMA)、時分割多元接続 (TDMA)、周波数分割多元接続 (FDMA)、直交FDMA (OFDMA)、シングルキャリアFDMA (SC-FDMA) などの1つ以上のチャネルアクセス方法をエアインターフェース1390で実施できる。

【 0 1 0 0 】

基地局1370a～1370bは、広帯域CDMA (WCDMA (登録商標)) を使ってエアインターフェース1390を確立するため、ユニバーサルモバイル通信システム (UMTS) 地上無線アクセス (UTRA) を実施できる。そのため基地局1370a～1370bは、HSDPA、HSUPA、または両方を任意に含む、HSPA、HSPA+などのプロトコルを実施できる。あるいは、基地局1370a～1370bは、LTE、LTE-A、および/またはLTE-Bを使用し、エボルブドUTMS地上無線アクセス (E-UTRA) とのエアインターフェース1390を確立できる。システム1300が上述したような方式を含む複数チャネルアクセス機能を使用し得ることが考えられる。エアインターフェースを実現する他の無線技術は、IEEE 802.11、802.15、802.16、CDMA2000、CDMA2000 1X、CDMA2000 EV-DO、IS-2000、IS-95、IS-856、GSM (登録商標)、EDGE、GERANを含む。勿論、他の複数アクセス方式および無線プロトコルを利用することもできる。

40

【 0 1 0 1 】

音声、データ、その他サービスなどの様々なサービスをED 1310a～1310cに提供するた

50

め、RAN 1320a～1320bはコアネットワーク1330と通信する。当然ながら、RAN 1320a～1320bおよび/またはコアネットワーク1330は1つ以上の他のRAN(図示せず)と直接的に、または間接的に、通信でき、1つ以上の他のRANはコアネットワーク1330によって直接的に対処される場合とそうでない場合があり、RAN 1320a、RAN 1320b、または両方と同じ無線アクセス技術を採用する場合とそうでない場合がある。コアネットワーク1330は、(i) RAN 1320a～1320bの間、またはED 1310a～1310cの間、または両方の間、および(ii)他のネットワーク(PSTN 1340、インターネット1350、他のネットワーク1360など)の間で、ゲートウェイアクセスとして機能できる。加えて、ED 1310a～1310cの一部または全部は、様々な無線技術および/またはプロトコルを使って様々な無線リンクにわたって様々な無線ネットワークと通信する機能を含み得る。無線通信の代わりに(または無線通信に加えて)、ED 1310a～1310cは有線通信チャネルを通じてサービスプロバイダまたはスイッチ(図示せず)と通信でき、さらにインターネット1350と通信できる。PSTN 1340は簡素な古い電話サービス(POTS)を提供する回路交換電話網を含み得る。インターネット1350はコンピュータのネットワークおよびサブネット(イントラネット)または両方を含み得、IP、TCP、UDPなどのプロトコルが組み込まれてよい。ED 1310a～1310cは複数の無線アクセス技術に従って作動できるマルチモードデバイスであってよく、これをサポートするのに必要な複数のトランシーバが組み込まれてよい。

10

【0102】

図25および図26は上述した機能および/または実施形態を実施できるデバイスの例を示している。具体的に述べると、図25はED 1310の例を示しており、図26は基地局1370の例を示している。これらのコンポーネントはシステム1300で、または任意の他の適当なシステムで、使用できる。

20

【0103】

図25に示されているように、ED 1310は少なくとも1つの処理部1400を含む。処理部1400はED 1310の様々な処理作業を実施する。例えば、処理部1400は、信号符号化、データ処理、電力制御、入出力処理、またはED 1310がシステム1300の中で作動することを可能にする任意の他の機能を遂行できる。処理部1400は、上述した機能および/または実施形態の一部または全部を実施するように構成されてもよい。それぞれの処理部1400は1つ以上の作業を遂行するように構成された任意の適当な処理または計算デバイスを含む。それぞれの処理部1400は、例えばマイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、デジタル信号プロセッサ、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、または特定用途向け集積回路を含み得る。

30

【0104】

ED 1310はまた、少なくとも1つのトランシーバ1402を含む。トランシーバ1402は、データや他のコンテンツを、少なくとも1つのアンテナまたはNIC(ネットワーク・インターフェース・コントローラ)1404による送信のため、変調するように構成される。トランシーバ1402はまた、少なくとも1つのアンテナ1404によって受信されるデータや他のコンテンツを復調するように構成される。それぞれのトランシーバ1402は、無線で、または有線で送信される信号を生成し、および/または無線で、または有線で受信される信号を処理する、任意の適当な構造を含む。それぞれのアンテナ1404は、無線信号または有線信号を、送信および/または受信する任意の適当な構造を含む。1つ以上のトランシーバ1402をED 1310で使用でき、1つ以上アンテナ1404をED 1310で使用できる。トランシーバ1402は、単一の機能部として示されているが、少なくとも1つの送信器と少なくとも1つの独立した受信器とを用いて実装することもできる。いくつかの実施形態において、トランシーバ1402は上述した送信器124および/または受信器126を実装してよい。

40

【0105】

ED 1310は1つ以上の入出力デバイス1406またはインターフェース(インターネット1350に至る有線インターフェースなど)をさらに含む。入出力デバイス1406はネットワークの中でユーザーまたは他のデバイスとの相互作用(ネットワーク通信)を促進する。それぞれの入出力デバイス1406は、ネットワークインターフェース通信を含み、スピーカー、マ

50

イクロフォン、キーパッド、キーボード、ディスプレイ、またはタッチスクリーンなどの、ユーザーに情報を提供する、またはユーザーから情報を受信/提供する、任意の適当な構造を含む。

【0106】

加えて、ED 1310は少なくとも1つのメモリ1408を含む。メモリ1408はED 1310によって使用、生成、または収集されるデータと命令を格納する。例えば、メモリ1408は、上述した機能および/または実施形態の一部または全部を実施するように構成され、処理部1400によって実行される、ソフトウェア命令またはモジュールを、格納できる。それぞれのメモリ1408は適当な揮発性および/または不揮発性格納・検索デバイスを含む。ランダムアクセスメモリ(RAM)、読み取り専用メモリ(ROM)、ハードディスク、光ディスク、加入者識別モジュール(SIM)カード、メモリースティック、セキュアデジタル(SD)メモリーカードなど、任意の適当なタイプのメモリを使用できる。

10

【0107】

図26に示されているように、基地局1370は、少なくとも1つの処理部1450と、少なくとも1つの送信器1452(上述した送信器124と同じであってもなくてもよい)と、少なくとも1つの受信器1454(上述した受信器126と同じであってもなくてもよい)と、1つ以上のアンテナ1456と、少なくとも1つのメモリ1458と、1つ以上の入出力デバイスまたはインターフェース1466とを含む。送信器1452と受信器1454の代わりに図示されていないトランシーバを使用してもよい。処理部1450にはスケジューラ1453が結合されてよい。スケジューラ1453は基地局1370の中に含まれてよく、あるいは基地局1370から独立して操作されてもよい。処理部1450は、信号符号化、データ処理、電力制御、入出力処理、または任意のその他の機能など、基地局1370の様々な処理作業を実施する。処理部1450は詳細に上述した機能および/または実施形態の一部または全部を実施するように構成することもできる。それぞれの処理部1450は1つ以上の作業を遂行するように構成された任意の適当な処理または計算デバイスを含む。それぞれの処理部1450は、例えばマイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、デジタル信号プロセッサ、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、または特定用途向け集積回路を含み得る。

20

【0108】

それぞれの送信器1452は、1つ以上のEDへ、または他のデバイスへ、無線で、または有線で送信される信号を生成する任意の適当な構造を含む。それぞれの受信器1454は、1つ以上のEDから、または他のデバイスから、無線で、または有線で受信した信号を処理する任意の適当な構造を含む。別々のコンポーネントとして図示されているが、少なくとも1つの送信器1452と少なくとも1つの受信器1454を組み合わせてトランシーバにすることができる。それぞれのアンテナ1456は、無線信号を、または有線信号を、送信および/または受信する任意の適当な構造を含む。ここでは送信器1452と受信器1454の両方に結合された共通のアンテナ1456が図示されているが、送信器1452には1つ以上のアンテナ1456を結合でき、受信器1454には1つ以上の別個のアンテナ1456を結合できる。それぞれのメモリ1458は、ED 1310との関係で上述した揮発性および/または不揮発性格納・検索デバイスのような、任意の適当な揮発性および/または不揮発性格納・検索デバイスを含む。メモリ1458は基地局1370によって使用、生成、または収集されるデータと命令を格納する。例えば、メモリ1458は、上述した機能および/または実施形態の一部または全部を実施するように構成され、処理部1450によって実行される、ソフトウェア命令またはモジュールを、格納できる。

30

40

【0109】

それぞれの入出力デバイス1466はネットワークの中でユーザーまたは他のデバイスとの相互作用(ネットワーク通信)を促進する。それぞれの入出力デバイス1466は、ネットワークインターフェース通信を含み、ユーザーに情報を提供する、またはユーザーから情報を受信/提供する、任意の適当な構造を含む。

【0110】

本発明の具体的な特徴と実施形態を参照しながら本発明を説明してきたが、本発明には

50

、本発明から逸脱することなく様々な修正や組み合わせを行うことができる。相応に、説明と図面は単に、添付の請求項によって規定される本発明のいくつかの実施形態の例証とみなすべきものであり、本発明の範囲内にあるあらゆる修正、バリエーション、組み合わせ、またはこれらと同等のものをカバーすると考えられる。したがって、本発明とその利点を詳しく説明してきたが、添付の請求項によって規定される本発明から逸脱することなく様々な変更、代替、改変を本発明に行うことができる。また、本願の範囲は、本明細書に記載されているプロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、およびステップの特定の実施形態に限定されることを意図しない。当業者が本発明の開示から容易く理解するように、ここで説明されている対応する実施形態と概ね同じ機能を遂行する、または概ね同じ結果を達成する、既存の、または今後開発される、プロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、またはステップを本発明に従って利用することができる。相応に、添付の請求項はそのようなプロセス、機械、製造物、組成物、手段、方法、またはステップをその範囲内に含むことが意図される。

10

【0111】

また、本明細書で例示されている、命令を実行する、いずれのモジュール、コンポーネント、またはデバイスも、コンピュータ/プロセッサ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、および/またはその他データなどの情報を格納する非一時的なコンピュータ/プロセッサ可読記憶媒体を含んでよく、あるいは非一時的なコンピュータ/プロセッサ可読記憶媒体にアクセスしてよい。非一時的なコンピュータ/プロセッサ可読記憶媒体の例の非網羅的なリストは、磁気カセット、磁気テープ、磁気ディスクストレージ、または他の磁気式ストレージデバイス、コンパクトディスク読み取り専用メモリ (CD-ROM)、デジタルビデオディスク、またはデジタル多用途ディスク (DVD)、ブルーレイディスク (商標)、または他の光学式ストレージなどの光ディスク、任意の方法または技術で実装された揮発性および不揮発性リムーバブルおよび非リムーバブル媒体、ランダムアクセスメモリ (RAM)、読み取り専用メモリ (ROM)、電気的消去可能プログラム可能読み取り専用メモリ (EEPROM)、フラッシュメモリ、または他のメモリ技術を含む。そのような非一時的なコンピュータ/プロセッサ記憶媒体はいずれもデバイスの一部であってよく、あるいはデバイスにアクセス可能または接続可能であってよい。本明細書に記載されているどのアプリケーションまたはモジュールも、そのような非一時的なコンピュータ/プロセッサ可読記憶媒体に格納または保持できるコンピュータ/プロセッサ可読/実行可能命令を用いて実行されてよい。

20

30

【符号の説明】

【0112】

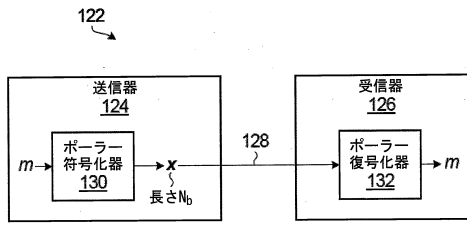
- 121 カーネル
- 122 通信システム
- 124 送信器
- 126 受信器
- 128 チャンネル
- 130 ポーラー符号化器
- 132 ポーラー復号化器
- 142 送信器
- 147 入力ベクトル形成器
- 148 Arikanバイナリカーネル
- 149 情報シーケンス生成器
- 150 カーネル
- 151 カーネル層
- 152 パンクチャ器
- 153 パンクチャリングパターン
- 154 ビット対数尤度比 (LLR) 計算器
- 155 情報シーケンス、SNR非依存オーダードシーケンス

40

50

156	ビットLLR - シンボルLLR変換器	
158	復号化器	
302	ルックアップテーブル (LUT)	
304	メモリ	
312	符号語	
314	符号語	
316	符号語	
1300	通信システム	
1310	ED	
1310a	電子デバイス (ED)	10
1310b	電子デバイス (ED)	
1310c	電子デバイス (ED)	
1320a	無線アクセスネットワーク (RAN)	
1320b	無線アクセスネットワーク (RAN)	
1330	コアネットワーク	
1340	公衆交換電話網 (PSTN)	
1350	インターネット	
1360	他のネットワーク	
1370	基地局	
1370a	基地局	20
1370b	基地局	
1390	エアインターフェース	
1400	処理部	
1402	トランシーバ	
1404	アンテナ	
1406	入出力デバイス	
1408	メモリ	
1450	処理部	
1452	送信器	
1453	スケジューラ	30
1454	受信器	
1456	アンテナ	
1458	メモリ	
1466	入出力デバイス、インターフェース	

【図1】



【図2】

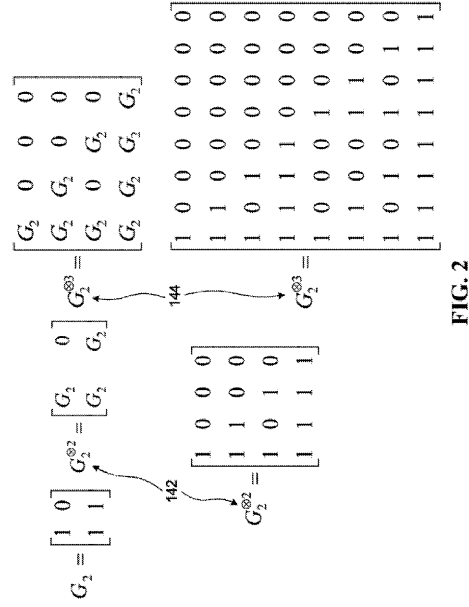
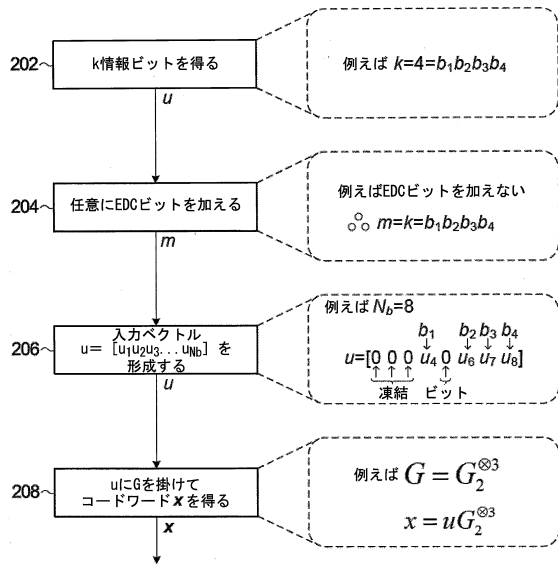
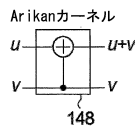


FIG. 2

【図3】



【図4】



【図5】

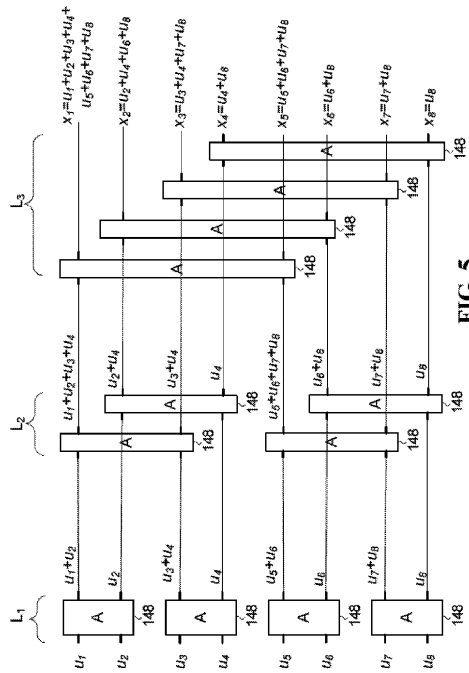


FIG. 5

【 図 6 】

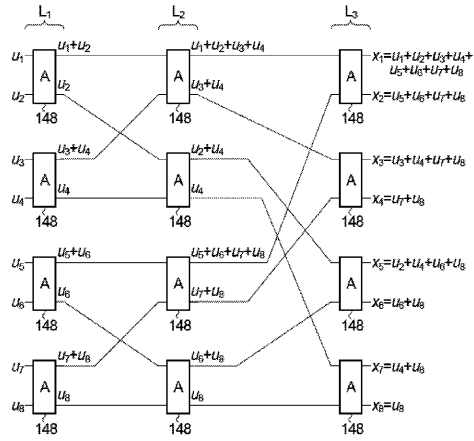
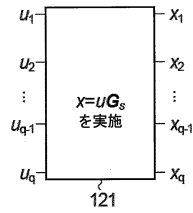
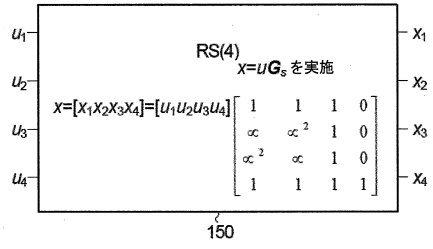


FIG. 6

【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

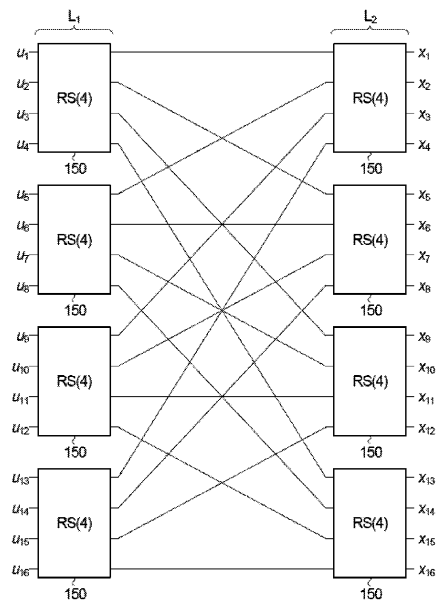
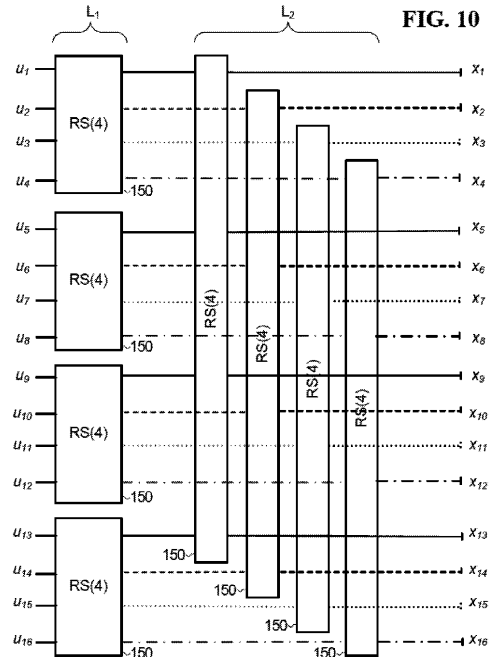
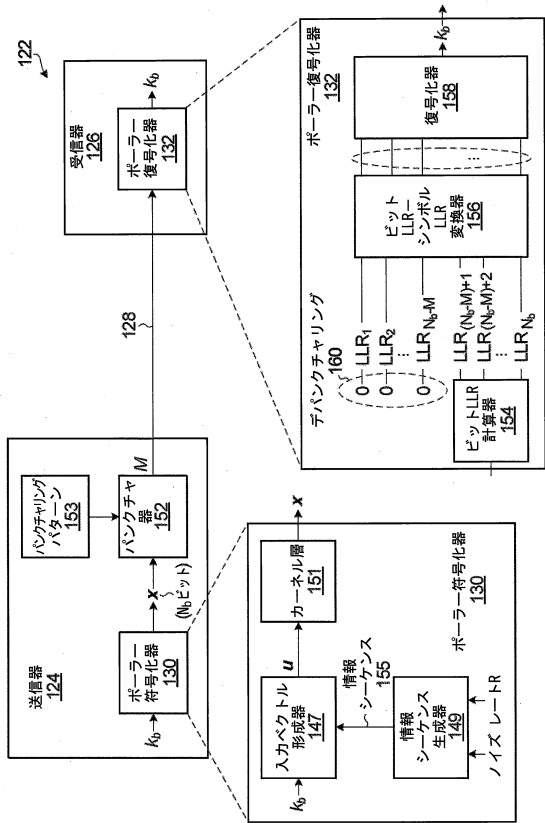


FIG. 9

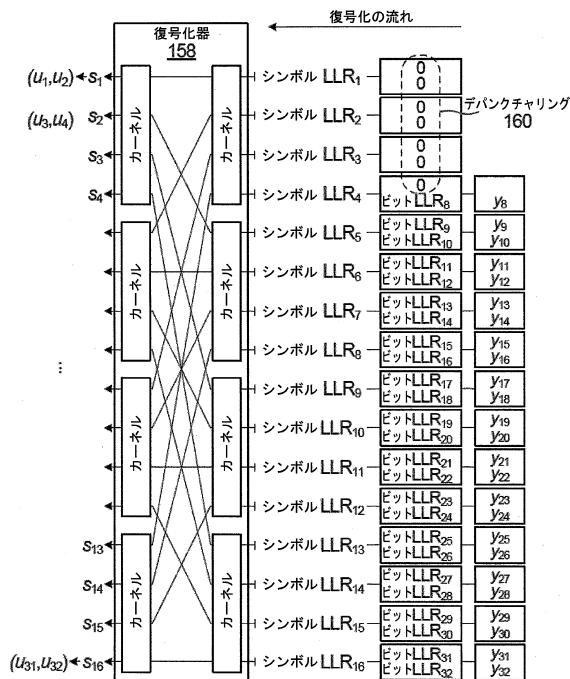
【 図 10 】



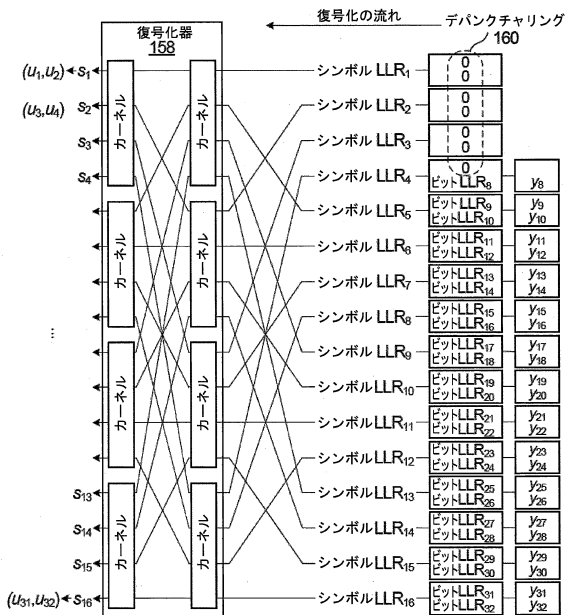
【図11】



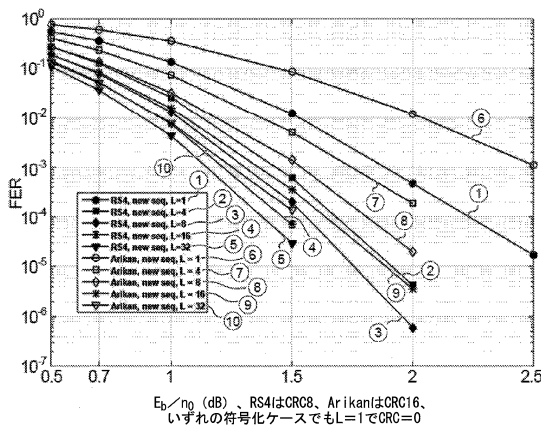
【図12】



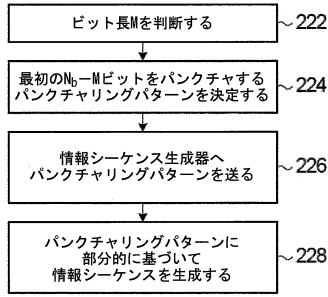
【図13】



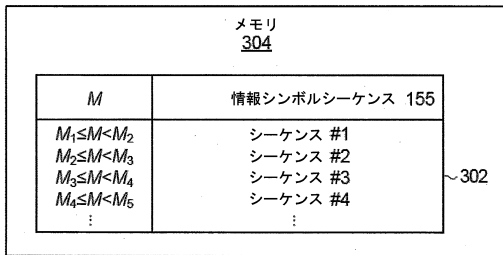
【図14】



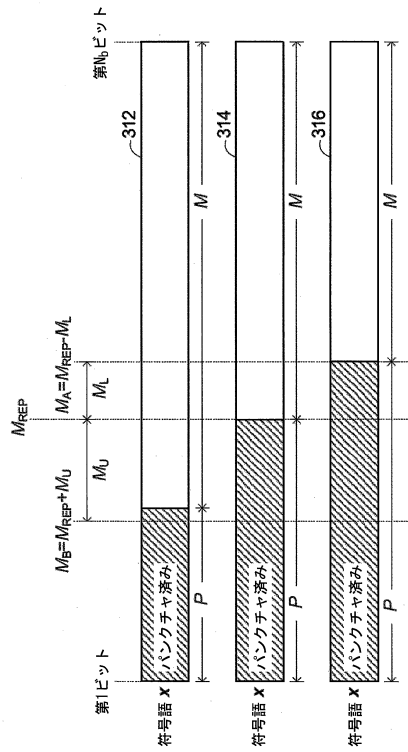
【図15】



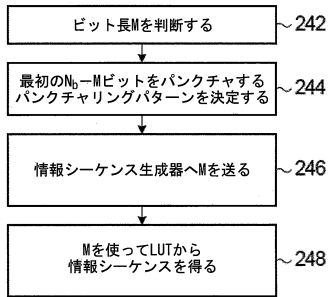
【図16】



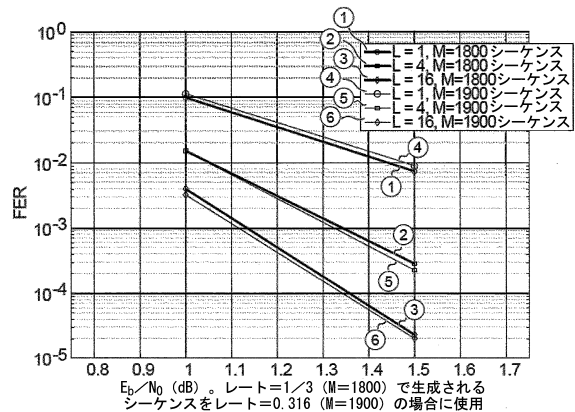
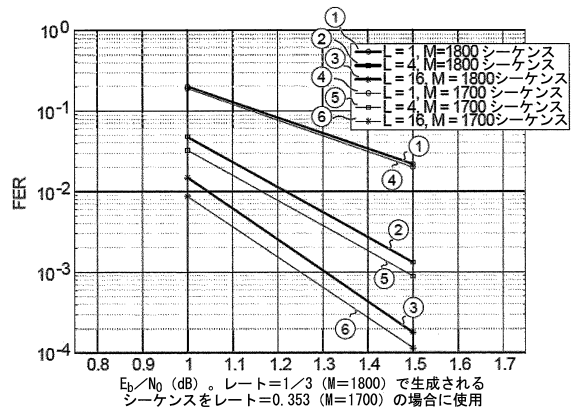
【図17】



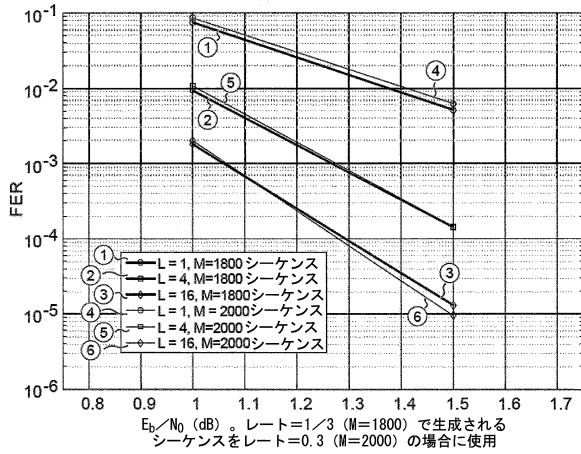
【図18】



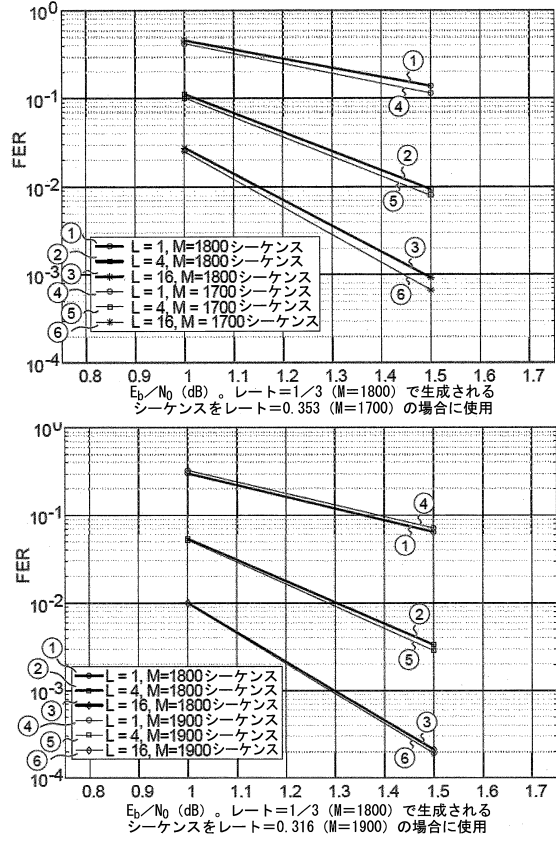
【図19】



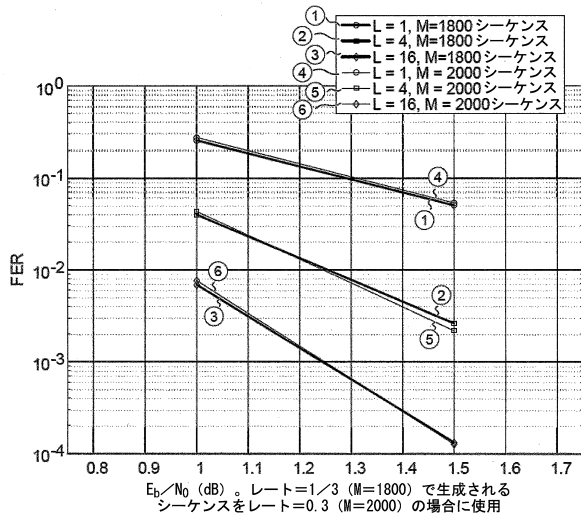
【図 20】



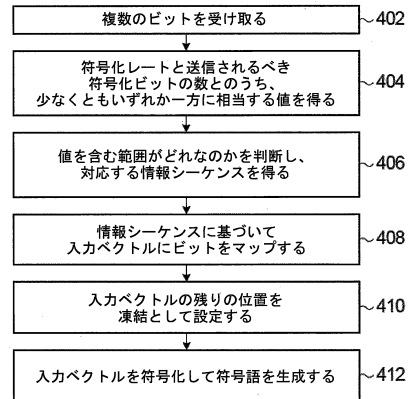
【図 21】



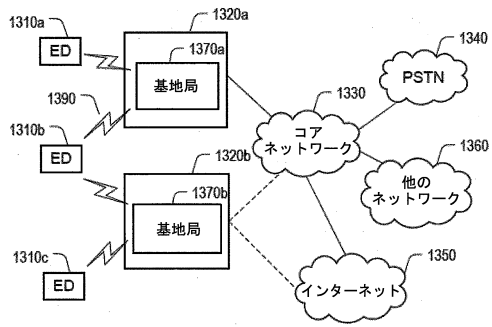
【図 22】



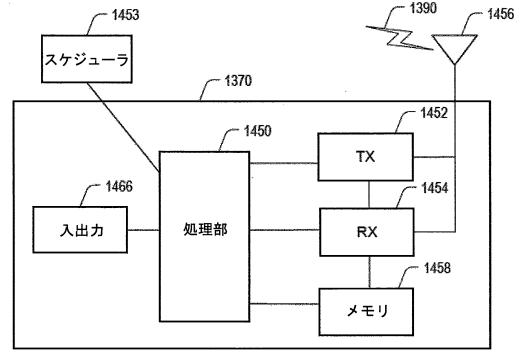
【図 23】



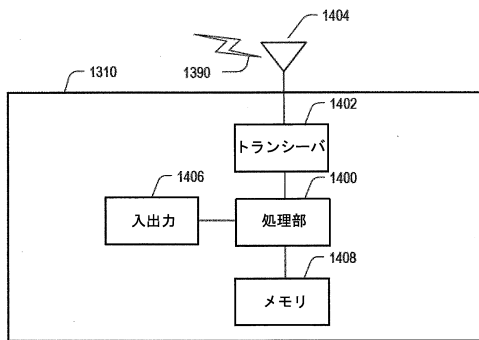
【図24】



【図26】



【図25】



フロントページの続き

- (72)発明者 ウシアン・シ
カナダ・オンタリオ・K 2 T・0 B 7・カナタ・フレッチャー・サークル・9 4 4
- (72)発明者 ナン・チェン
カナダ・オンタリオ・K 2 M・0 M 1・カナタ・ソラリス・ドライブ・1 1 1
- (72)発明者 イチュン・ゲ
カナダ・オンタリオ・K 2 T・0 B 7・カナタ・フレッチャー・サークル・9 4 4

審査官 吉江 一明

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 5 / 0 6 6 9 2 5 (W O , A 1)
Huawei, HiSilicon, Polar codes - encoding and decoding, 3GPP TSG-RAN WG1#85 R1-164039, 2 0 1 6 年 5 月
Qualcomm Incorporated, Polar code design overview, 3GPP TSG-RAN WG1#85 R1-164699, 2 0 1 6 年 5 月
MediaTek Inc., Discussion on Polar Code Design and Performance, 3GPP TSG-RAN WG1#85 R1-165454, 2 0 1 6 年 5 月
Kai Niu, et al., Beyond Turbo Codes: Rate-Compatible Punctured Polar Codes, 2013 IEEE International Conference on Communications(ICC), 2 0 1 3 年, p.3423-3427
Ryohei Mori, et al., Non-Binary Polar Codes using Reed-Solomon Codes and Algebraic Geometry Codes, [online], 2 0 1 0 年, U R L , <https://arxiv.org/pdf/1007.3661.pdf>
Peter Trifonov, Binary Successive Cancellation Decoding of Polar Codes with Reed-Solomon Kernel, 2014 IEEE International Symposium on Information Theory, 2 0 1 4 年, p.2972-2976

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 3 M 1 3 / 1 3
I E E E X p l o r e