



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112016014679-4 B1



(22) Data do Depósito: 24/12/2013

(45) Data de Concessão: 03/11/2021

(54) Título: MÉTODO DE DECODIFICAÇÃO DE CÓDIGO POLAR E APARELHO DE DECODIFICAÇÃO

(51) Int.Cl.: H03M 13/00.

(73) Titular(es): HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD..

(72) Inventor(es): BIN LI; WEN TONG; HUI SHEN; YUCHEN SHI.

(86) Pedido PCT: PCT CN2013090285 de 24/12/2013

(87) Publicação PCT: WO 2015/096021 de 02/07/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/06/2016

(57) Resumo: MÉTODO DE DECODIFICAÇÃO DE CÓDIGO POLAR E APARELHO DE DECODIFICAÇÃO. É fornecido um método de decodificação de código Polar, incluindo: receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$; calcular distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, onde as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes; obter, de acordo com as m distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar, onde a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado (...).

“MÉTODO DE DECODIFICAÇÃO DE CÓDIGO POLAR E APARELHO DE DECODIFICAÇÃO”

CAMPO DA TÉCNICA

[0001] Modalidades da presente invenção se relacionam ao campo de um codec, e em particular, a um método de decodificação de código Polar (código polar).

ANTECEDENTES

[0002] Em um sistema de comunicações, a codificação de canal é em geral usada para aperfeiçoar a confiabilidade de transmissão de dados e assegurar a qualidade de comunicação. O código Polar provou ser um bom código que pode alcançar uma capacidade Shannon e tem baixa complexidade de codificação e decodificação. O código Polar é um código de blocos linear.

Uma matriz geradora do mesmo é G_N , e um processo de codificação do mesmo é $x_1^N = u_1^N G_N$, onde $G_N = B_N F^{\otimes n}$, e um comprimento de código $N = 2n$, onde $n \geq 0$. u_1^N é bits de entrada, incluindo bits de informações e bits

congelados. No presente documento, $F = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$, e B_N é uma matriz transposta, por exemplo, uma matriz de inversão de bit (inversão de bit). $F^{\otimes n}$ é uma potência Kronecker (potência Kronecker) de F e é definida como $F^{\otimes n} = F \otimes F^{\otimes(n-1)}$. O código Polar pode ser expresso pelo uso de um código codificado (N, K, A, u_{A^c}) , e um processo de codificação do mesmo é $x_1^N = u_A G_N(A) \oplus u_{A^c} G_N(A^c)$, onde A é um conjunto de índices de bits de informações (informações), $G_N(A)$ é uma submatriz de G_N e é obtida pelo uso de linhas que correspondem aos índices no conjunto A , e $G_N(A^c)$ é uma submatriz de G_N e é obtida pelo uso linhas que correspondem aos índices no conjunto A^c . u_{A^c} é bits congelados (congelados), onde uma quantidade dos bits congelados é $(N - K)$ e os bits congelados são bits conhecidos. Para simplificar, esses bits congelados podem ser definidos em 0.

[0003] O código Polar pode também ser decodificado por meio de ML (probabilidade máxima), e um decodificador por probabilidade máxima para decodificação por ML encontra uma sequência de bit de informações, para

minimizar uma distância euclidiana elevada ao quadrado:

$$E_{\min} = \min_{u_k} \left\| y_1^N - z_1^N(u_1, u_2, \dots, u_N) \right\|^2$$

onde z_k é um símbolo obtido após mapeamento BPSK, onde $z_k = (1 - 2x_k), k = 1, \dots, N$.

[0004] A complexidade de decodificação por ML é $O(2^K)$.

[0005] Pode ser visto que, na técnica anterior, a decodificação por ML para o código Polar tem complexidade excessivamente alta.

SUMÁRIO

[0006] As modalidades da presente invenção fornecem um método de decodificação de código polar e um aparelho de decodificação, de modo a reduzir a complexidade de decodificação.

[0007] De acordo com um aspecto, um aparelho de decodificação de código Polar é fornecido, incluindo:

um módulo de divisão, configurado para receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N, e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m, N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$;

m módulos de processamento independentes, separadamente configurados para calcular, para os m subcódigos do código Polar, distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, onde as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes;

um módulo de processamento combinado, configurado para obter, de acordo com as m distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar,

onde a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado dos bits de entrada que são acoplados um ao outro nos subcódigos do código Polar é referida como uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e

um módulo de saída de resultado, configurado para obter bits de entrada que estão nos m subcódigos do código Polar e que igualam as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes e a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, e obtêm um resultado de decodificação do código Polar a ser decodificado com referência a relações entre os m subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

[0008] De acordo com outro aspecto, um método de decodificação executado pelo aparelho supracitado é fornecido.

[0009] De acordo com as modalidades da presente invenção, um código Polar a ser decodificado é dividido, e processamento por probabilidade máxima combinado é realizado, o que reduz a complexidade de decodificação e um retardo de decodificação do código Polar, e aperfeiçoa uma taxa de rendimento de um decodificador de ML para o código Polar.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0010] A Figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema de comunicações sem fio 100 em um ambiente de aplicativo em uma maneira de implantação da presente invenção;

[0011] A Figura 2 é um diagrama esquemático de um sistema 200 em uma maneira de implantação da presente invenção;

[0012] A Figura 3 é um diagrama esquemático de um aparelho de decodificação de código Polar 300 em uma maneira específica de implantação;

[0013] A Figura 4 é um diagrama esquemático de um método de decodificação de código polar em uma maneira específica de implantação;

[0014] A Figura 5 é um diagrama explodido esquemático de decodificação paralela em dois estágios na maneira de implantação mostrada na Figura 4;

[0015] A Figura 6 é um diagrama esquemático de um método de decodificação de código polar em outra maneira específica de implantação;

[0016] A Figura 7 é um diagrama explodido esquemático de decodificação paralela em três estágios na maneira de implantação mostrada

na Figura 6;

[0017] A Figura 8 é um diagrama esquemático de um método de decodificação em uma maneira específica de implantação; e

[0018] A Figura 9 é um diagrama esquemático de um aparelho de decodificação em uma maneira específica de implantação.

DESCRIÇÃO DE MODALIDADES

[0019] A seguir se descrevem clara e completamente as soluções técnicas nas modalidades da presente invenção com referência aos desenhos anexos nas modalidades da presente invenção. Evidentemente, as modalidades descritas são algumas, mas não todas as modalidades da presente invenção. Todas as outras modalidades obtidas por uma pessoa de habilidade comum na técnica com base nas modalidades da presente invenção sem esforços criativos estarão abrangidas pelo escopo da presente invenção.

[0020] Agora, múltiplas modalidades são descritas com referência aos desenhos anexos, onde uma mesma marca nos desenhos anexos indica um mesmo componente no presente documento. Para facilidade de ilustração, as descrições a seguir fornecem muitos detalhes, de modo que uma ou mais modalidades sejam entendidas em sua totalidade. Entretanto, obviamente, as modalidades também podem ser implantadas sem esses detalhes. Em outro exemplo, uma estrutura e dispositivo bem conhecidos são mostrados em uma forma de diagramas de blocos, de modo a descrever uma ou mais modalidades.

[0021] Os termos tais como "componente", "módulo", e "sistema" nesse relatório descritivo são usados para representar uma entidade, hardware, firmware, combinação de hardware e software, software, ou software em execução relacionados a um computador. Por exemplo, o componente pode ser, porém, sem limitação, um processo rodando em um processador, um processador, um objeto, um arquivo executável, um encaminhamento de execução, e um programa e/ou um computador. Para fins de ilustração, tanto um aplicativo rodando em um dispositivo de computação quanto o dispositivo de computação podem ser componentes. Um ou mais componentes podem residir dentro de um processo e/ou de um encaminhamento de execução, e os componentes podem ser localizados em um computador e/ou distribuídos entre dois ou mais computadores. Além disso, esses componentes podem ser

executados a partir de várias mídias de armazenamento legíveis por computador tendo várias estruturas de dados armazenadas nas mesmas. Os componentes podem realizar comunicação por meio de um processo local e/ou remoto e de acordo com, por exemplo, um sinal tendo um ou mais pacotes de dados (por exemplo, dados a partir de dois componentes interagindo com outro componente em um sistema local, um sistema distribuído, e/ou através de uma rede tal como a Internet que interage com outro sistema por meio de um sinal).

[0022] Além disso, um terminal de acesso em cada modalidade pode também ser referido como um sistema, uma unidade de usuário, uma estação de usuário, uma estação de rádio móvel, uma estação móvel, uma estação remota, um terminal remoto, um dispositivo móvel, um terminal de usuário, um terminal, um dispositivo de comunicações sem fio, um agente de usuário, um aparelho de usuário, ou UE (Equipamento de Usuário, equipamento de usuário). O terminal de acesso pode ser um telefone celular, um conjunto de telefone sem fio, um fone SIP (Protocolo de Iniciação de Sessão, protocolo de iniciação de sessão), uma estação WLL (Circuito Local Sem Fio, circuito local sem fio), um PDA (Assistente Digital Pessoal, assistente digital pessoal), um dispositivo que cabe na mão tendo uma função de comunicações sem fio, um dispositivo de computação, ou outro dispositivo de processamento conectado a um modem sem fio. Além disso, cada modalidade é descrita com referência a uma estação de base. A estação de base pode ser configurada para se comunicar com um dispositivo móvel. A estação de base pode ser uma BTS (Estação Transceptora de Base, estação transceptora de base) em um GSM (Sistema Global de Comunicação Móvel, Sistema Global para Comunicações Móveis) ou CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código, Acesso Múltiplo por Divisão de Código), ou pode ser um NB (NodeB, nodeB) em WCDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código de Banda Larga, Acesso Múltiplo por Divisão de Código de Banda Larga), ou pode ser adicionalmente um eNB ou um eNodeB (Nó B Evolutivo, nodeB evoluído) em LTE (Evolução a Longo Prazo, Evolução a Longo Prazo), uma localização de relé ou um ponto de acesso, ou um dispositivo de estação de base em uma futura rede 5G.

[0023] Além disso, todos os aspectos ou recursos da presente invenção podem ser implantados como um método, um aparelho, ou um produto que usam uma codificação padrão e/ou tecnologia de engenharia. O

termo "produto" nesse pedido cobre programas de computador que podem ser acessados a partir de qualquer dispositivo, portadora, ou meio legíveis por computador. Por exemplo, o meio legível por computador pode incluir, porém, sem limitação, um dispositivo de memória magnética (tal como um disco rígido, um disquete, ou uma fita magnética), um disco óptico (tal como um CD (Disco Compacto, disco compacto), ou um DVD (Disco Digital Versátil, disco digital versátil), um cartão inteligente, e um dispositivo de memória flash (tal como uma EPROM (Memória Apenas para Leitura Programável Apagável, memória apenas para leitura programável apagável), ou um cartão, pendrive, ou acionador de tecla). Além disso, as várias mídias de armazenamento descritas no presente documento podem representar um ou mais dispositivos para armazenar informações e/ou outro meio legível por máquina. O termo "meio legível por máquina" pode incluir, porém, sem limitação, um canal de rádio e várias outras mídias com capacidade de armazenar, incluindo e/ou portando instruções e/ou dados.

[0024] Agora, referência pode ser feita à Figura 1, a qual é um diagrama esquemático de um sistema de comunicações sem fio 100 em uma maneira de implantação da presente invenção. O sistema 100 inclui uma estação de base 102, onde a estação de base 102 pode incluir múltiplos grupos de antena. Por exemplo, um grupo de antena pode incluir antenas 104 e 106, e outro grupo de antena pode incluir antenas 108 e 110, e um grupo adicional pode incluir antenas 112 e 114. Duas antenas são mostradas em cada grupo de antena. Entretanto, para cada grupo, mais ou menos antenas podem ser usadas. A estação de base 102 pode adicionalmente incluir uma cadeia transmissora e uma cadeia receptora. Pode ser entendido por uma pessoa de habilidade comum na técnica que tanto a cadeia transmissora quanto a cadeia receptora podem incluir múltiplos componentes (tal como um processador, um modulador, um multiplexador, um modem, um desmultiplexador, ou uma antena) relacionados a envio e recebimento de sinal.

[0025] A estação de base 102 pode se comunicar com um ou mais terminais de acesso (por exemplo, um terminal de acesso 116 e um terminal de acesso 122). Entretanto, pode ser entendido que a estação de base 102 pode se comunicar com quase qualquer quantidade de terminais de acesso similares aos terminais de acesso 116 e 122. Cada um dos terminais de acesso 116 e

122 pode ser, por exemplo, um telefone celular, um smartphone, um computador portátil, um dispositivo de comunicações que cabe na mão, um dispositivo de computação que cabe na mão, um aparelho de rádio satélite, um Sistema de Posicionamento Global, um PDA, e/ou qualquer outro dispositivo adequado usado para comunicação no sistema de comunicações sem fio 100. Conforme mostrado na figura, o terminal de acesso 116 se comunica com as antenas 112 e 114, onde as antenas 112 e 114 enviam informações para o terminal de acesso 116 através de um enlace de avanço 118 e recebem informações a partir do terminal de acesso 116 através de um enlace inverso 120. Além disso, o terminal de acesso 122 se comunica com as antenas 104 e 106, onde as antenas 104 e 106 enviam informações para o terminal de acesso 122 através de um enlace de avanço 124 e recebem informações a partir do terminal de acesso 122 através de um enlace inverso 126. Em um sistema FDD (Duplex de Divisão por Frequência, duplex de divisão por frequência), por exemplo, o enlace de avanço 118 pode usar uma banda de frequência diferente daquela usada pelo enlace inverso 120, e o enlace de avanço 124 pode usar uma banda de frequência diferente daquela usada pelo enlace inverso 126. Além disso, em um sistema TDD (Duplex de Divisão de Tempo, duplex de divisão de tempo), o enlace de avanço 118 e o enlace inverso 120 podem usar uma banda de frequência comum, e o enlace de avanço 124 e o enlace inverso 126 podem usar uma banda de frequência comum.

[0026] Cada grupo de antenas e/ou cada área projetada para comunicação é referida como um setor da estação de base 102. Por exemplo, um grupo de antena pode ser projetado para se comunicar com um terminal de acesso em um setor de uma área de cobertura da estação de base 102. Em comunicação por meio dos enlaces de avanço 118 e 124, uma antena de transmitir da estação de base 102 pode aperfeiçoar, por meio de formação de feixe, razões de sinal para ruído dos enlaces de avanço 118 e 124 que correspondem aos terminais de acesso 116 e 122. Além disso, comparado a uma situação na qual uma estação de base envia informações para todos os terminais de acesso da estação de base pelo uso de uma única antena, quando a estação de base 102 envia, por meio de formação de feixe, informações aos terminais de acesso 116 e 122 que são aleatoriamente distribuídos em uma área de cobertura relacionada, um dispositivo móvel em

uma célula vizinha sofre menos interferência.

[0027] Em um dado tempo, a estação de base 102, o terminal de acesso 116, e/ou o terminal de acesso 122 podem ser um aparelho de envio de comunicações sem fio, e/ou um aparelho de recebimento de comunicações sem fio. Quando envia dados, o aparelho de envio de comunicações sem fio pode codificar dados e transmitir dados codificados. Especificamente, o aparelho de envio de comunicações sem fio pode ter (por exemplo, gerar, adquirir, e armazenar em uma memória) uma quantidade particular de bits de informações que precisam ser enviados a um aparelho de recebimento de comunicações sem fio através de um canal. Esses bits de informações podem ser incluídos em um bloco de transmissão (ou múltiplos blocos de transmissão) de dados, onde múltiplos blocos de transmissão podem ser gerados por meio de segmentação. Além disso, o aparelho de envio de comunicações sem fio pode codificar cada bloco de transmissão pelo uso de um codificador de código Polar (o qual não é mostrado). Correspondentemente, quando recebe os dados, o aparelho de recebimento de comunicações sem fio pode realizar decodificação Polar nos dados, de modo a aperfeiçoar confiabilidade de comunicação de dados.

[0028] A Figura 2 mostra um sistema 200 que realiza um método de decodificação de código polar em um ambiente de comunicações sem fio. O sistema 200 inclui um aparelho de comunicações sem fio 202. É mostrado que o aparelho de comunicações sem fio 202 recebe dados através de um canal de recepção. Embora seja mostrado que o aparelho de comunicações sem fio 202 recebe dados, o aparelho de comunicações sem fio 202 pode também enviar dados através de um canal (por exemplo, o aparelho de comunicações sem fio 202 pode enviar e receber dados ao mesmo tempo, o aparelho de comunicações sem fio 202 pode enviar e receber dados em diferentes momentos, ou o aparelho de comunicações sem fio 202 enviar e receber dados ao mesmo tempo e o aparelho de comunicações sem fio 202 enviar e receber dados em diferentes momentos são combinados). O aparelho de comunicações sem fio 202 pode ser, por exemplo, uma estação de base (tal como a estação de base 102 na Figura 1), ou um terminal de acesso (tal como o terminal de acesso 116 na Figura 1 ou o terminal de acesso 122 na Figura 1).

[0029] O aparelho de comunicações sem fio 202 pode incluir um

decodificador de código Polar 204 e um receptor 206. O decodificador de código Polar 204 é configurado para dividir, de acordo com um recurso de uma estrutura de um código Polar que é recebido pelo receptor 206 e que tem um comprimento de N , o código Polar em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$; primeiramente, realizar minimização de escala por probabilidade máxima em bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar (isto é, para os m subcódigos do código Polar, calcular as distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar), e então realizar minimização de escala por probabilidade máxima em uma maneira combinada, para obter um resultado de decodificação por probabilidade máxima para o código Polar cujo comprimento original é N .

[0030] Com referência à Figura 3, a qual é um diagrama esquemático de um aparelho de decodificação de código Polar 300 de acordo com uma maneira de implantação da presente invenção, o aparelho de decodificação de código Polar inclui:

um módulo de divisão 302, configurado para receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$;

m módulos de processamento independentes 304, separadamente configurados para calcular, para os m subcódigos do código Polar, distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, onde as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado

independentes;

um módulo de processamento combinado 306, configurado para obter, de acordo com as m distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar, onde a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado dos bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar é referida como uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e

um módulo de saída de resultado 308, configurado para obter bits de entrada que estão nos m subcódigos do código Polar e que igualam as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes e a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, e obter um resultado de decodificação do código Polar a ser decodificado com referência às relações entre os m subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

[0031] Em um exemplo preferido, os módulos de processamento independentes realizam o processamento em paralelo. A variável m pode ser 2, 4, 8, ou similares. Nas seguintes maneiras de implantação, exemplos nos quais m é 2 e 4 são usados, mas não há impedimento que em outras maneiras de implantação o código polar seja dividido em outras quantidades de módulos de acordo com a solução da presente invenção. Obviamente, na supracitada maneira de implantação, a complexidade de decodificação de um código Polar pode ser reduzida por meio de divisão e processamento combinado.

[0032] Com referência à Figura 4, a qual é uma maneira de implantação de outro método de decodificação de acordo com a presente invenção, um exemplo é usado, no qual m na maneira de implantação da Figura 3 é igual a 2 e uma maneira de decodificação paralela é usada. Nessa maneira específica de implantação, um processo de decodificação é basicamente completado em dois estágios. O aparelho de decodificação é referido como um decodificador paralelo em dois estágios 400 (Decodificador de Busca em Dois Estágios abreviadamente).

[0033] Na supracitada maneira de implantação mostrada na Figura 4, em geral, a decodificação por ML para o código Polar pode ser

completada em dois estágios, reduzindo acentuadamente a complexidade de decodificação por ML para o código Polar. O pseudocódigo do supracitado decodificador paralelo em dois estágios (Decodificador de ML de Busca em Dois Estágios) é resumidamente expresso da seguinte maneira:

Decodificador de ML de Busca em Dois Estágios

Para (qualquer realização de $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$)

{

Busca completa

$E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_{N/2+1}^N$

Busca completa

Combinar $E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) + E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$

}

$\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$

Busca completa

[0034] Primeiramente, para facilidade de descrição, nos processos e desenhos anexos das maneiras de implantação, um código Polar a ser decodificado é expresso pelo uso de uma fórmula

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix}$$

$$= \left[(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right]; \text{ um índice definido } \Omega_{01}^{(1)} \text{ representa que } v_k \text{ é}$$

um bit congelado e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações; e um índice definido $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações.

Em outras palavras, se $k \in \Omega_{01}^{(1)}$, a_k e b_k são acoplados um ao outro, o que é

expresso pelo uso de uma fórmula $a_k = b_k$; e se $k \in \Omega_{11}^{(1)}$, a_k, b_k são

independentes um do outro. Deve ser notado que, para o código Polar, não há

nenhum índice definido $\Omega_{10}^{(1)}$, isto é, v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um

bit congelado. Em alguns exemplos, o supracitado $\Omega_{11}^{(1)}$ pode ser dividido em

três subconjuntos: $\Omega_{11}^{(1)} = \{\Omega_{01}^{(2)} + N/4\} \cup \Omega_{11}^{(2)} \cup \{\Omega_{11}^{(2)} + N/4\}$, onde um índice

definido $\Omega_{01}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$,

onde $1 \leq k \leq N/4$, e um índice definido $\Omega_{11}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \in \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, onde $1 \leq k \leq N/4$. Similarmente, não há nenhum índice que iguala as seguintes condições: $k \in \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \notin \Omega_{11}^{(1)}$, onde $1 \leq k \leq N/4$.

[0035] Com referência a um princípio de funcionamento de decodificação por probabilidade máxima, com referência à Figura 4, um processo de funcionamento de uma maneira de implantação de decodificação mostrada na Figura 4 inclui:

[0036] S401: Receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N, onde o código Polar a ser decodificado é expresso pelo

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix}$$

uso de uma fórmula $= \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right]$, e dividir o código Polar a

ser decodificado em dois subcódigos do código Polar: um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, onde bits de entrada correspondentes aos dois subcódigos do código Polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$.

[0037] S402: Para um bit de entrada $a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no primeiro subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no segundo subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente

$E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_1^{N/2}$; e para um bit de entrada $b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no

segundo subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no primeiro subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente

$E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_{N/2+1}^N$.

[0038] S403: Combinar a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente e a segunda distância euclidiana mínima

elevada ao quadrado independente E_a, E_b , para obter E_{sum} que é expresso pelo uso de uma fórmula $E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) + E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$.

[0039] S404: Realizar busca para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada que é expressa pelo uso

de uma fórmula $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$, isto é, $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$.

[0040] S405: Obter bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que são acoplados um ao outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e que igualam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e obter bits de entrada $a_k, b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que são independentes um do outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e que igualam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_a e a segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_b (isto é, realizar busca para obter bits de entrada $a_k, b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que minimizam E_a ou E_b).

[0041] S406: após todos os a_k, b_k serem obtidos através de cálculo, realizar cálculo de acordo com as relações $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$ e $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ entre os dois subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado, para obter bits de entrada $v_1^{N/2}$ e $v_{N/2+1}^N$ de código Polar a ser decodificado.

[0042] Referência pode ser feita à Figura 5, a qual é um diagrama explodido esquemático de decodificação paralela em dois estágios na supracitada maneira de implantação. Pode ser aprendido a partir do diagrama esquemático que, por meio de decodificação paralela, a complexidade é reduzida de maneira desejável.

[0043] Referência pode ser feita à Figura 6, a qual é outra maneira específica de implantação de acordo com a presente invenção. Essa maneira específica de implantação é desenvolvida adicionalmente com base na supracitada solução de decodificação paralela, para implantar uma solução de

decodificação na qual m na maneira de implantação mostrada na Figura 3 é igual a 4. Essa solução de decodificação é resumidamente referida como decodificação por ML paralela em três estágios. Com referência a um princípio de funcionamento de decodificação por probabilidade máxima, com referência à Figura 6, um processo de funcionamento da supracitada maneira de implantação inclui:

[0044] S601: Receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em quatro subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de $N/4$, N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > 4$.

[0045] Especificamente, o código Polar a ser decodificado é

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix}$$

expresso pelo uso de uma fórmula $= \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right]$, e os quatro subcódigos do código Polar são subsequentemente referidos como um terceiro subcódigo do código Polar, um quarto subcódigo do código Polar, um quinto subcódigo do código Polar, e um sexto subcódigo do código Polar. Um método de divisão específico do mesmo pode ser como a seguir: primeiro, o código Polar a ser decodificado é dividido, pelo uso do método em S401 na Figura 4, em dois subcódigos do código Polar, isto é, um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, onde bits de entrada correspondentes aos dois subcódigos do código polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$; e então, o primeiro subcódigo do código Polar é dividido em um terceiro subcódigo do código Polar e um quarto subcódigo do código Polar, e o segundo subcódigo do código Polar é dividido em um quinto subcódigo do código Polar e um sexto subcódigo do código Polar.

[0046] Bits de entrada dos supracitados terceiro subcódigo do código Polar, quarto subcódigo do código Polar, quinto subcódigo do código Polar e sexto subcódigo do código Polar são c_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$, d_k que é expresso pelo uso de uma fórmula

$d_k = a_{k+N/4}$, e_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$, e f_k respectivamente, onde $f_k = b_{k+N/4}$, $1 \leq k \leq N/4$, $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$.

[0047] Um princípio específico da supracitada solução de divisão é como a seguir:

$x_1^{N/2} = a_1^{N/2} F^{\otimes(n-1)}$ pode ser dividido adicionalmente em:

$$x_1^{N/2} = \begin{bmatrix} c_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} & d_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} \end{bmatrix}$$

[0048] Similarmente, pode ser obtido que:

$$x_1^N = \begin{bmatrix} c_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} & d_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} & e_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} & f_1^{N/4} F^{\otimes(n-2)} \end{bmatrix};$$
 e de acordo

com uma estrutura do código Polar mostrada na supracitada fórmula, obviamente, o supracitado método de divisão pode ser realizado facilmente.

[0049] S602: Para bits de entrada que são independentes um do outro nos supracitados quatro subcódigos do código Polar, calcular separadamente as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada

ao quadrado independente $E_c = \min_{c_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_1^{N/4}$, uma segunda distância euclidiana

mínima elevada ao quadrado independente $E_d = \min_{d_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/4+1}^{N/2}$, uma terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente

$E_e = \min_{e_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/2+1}^{3N/4}$, e uma quarta distância euclidiana mínima elevada ao

quadrado independente $E_f = \min_{f_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{3N/4+1}^N$, onde um índice definido $\Omega_{11}^{(2)}$

representa todos os índices que igualam $k \in \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, e um índice

definido $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações, onde $1 \leq k \leq N/4$.

[0050] S603: Realizar cálculo para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do terceiro subcódigo do código Polar e do quarto subcódigo do código Polar, onde a soma é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum1} = E_c + E_d$, e para bits de entrada que são acoplados um ao outro

no terceiro subcódigo do código Polar e no quarto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum2} = \min_{a_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum1}$, onde $\Omega_{01}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, onde $1 \leq k \leq N/4$.

[0051] S604: Realizar cálculo para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do quinto subcódigo do código Polar e do sexto subcódigo do código Polar, onde a soma é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum3} = E_e + E_f$, e para bits de entrada que são acoplados um ao outro no quinto subcódigo do código Polar e no sexto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum4} = \min_{b_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum3}$, onde $\Omega_{01}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, onde $1 \leq k \leq N/4$.

[0052] S605: Para bits de entrada que são acoplados um ao outro em todos os subcódigos do código Polar, calcular uma distância euclidiana elevada ao quadrado total que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_{sum2} + E_{sum4}$, e realizar busca para obter uma terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$, onde um índice definido $\Omega_{01}^{(1)}$ representa que v_k é um bit congelado, e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações.

[0053] S606: Obter bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que igualam a terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$, e substituir separadamente os bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ na primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum2} e na segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum4} para obter outros bits de entrada.

[0054] S607: Após todos os bits de entrada c_k , d_k , e_k , e f_k serem obtidos, obter bits de entrada v_1^N do código Polar a ser decodificado de acordo

com relações
$$\begin{cases} v_k = c_k \oplus d_k \oplus e_k \oplus f_k \\ v_{k+N/4} = d_k \oplus f_k \\ v_{k+N/2} = e_k \oplus f_k \\ v_{k+3N/4} = f_k \end{cases}$$
 entre os quatro subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

[0055] Na supracitada maneira de implantação mostrada na Figura 6, em geral, a decodificação por ML para o código Polar pode ser completada em três estágios, reduzindo acentuadamente a complexidade de decodificação por ML para o código Polar. O código do supracitado decodificador paralelo em três estágios (Decodificador por ML de Busca em Três Estágios) é resumidamente expresso como a seguir:

Decodificador por ML de Busca em Três Estágios

Para (qualquer realização de $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$)

{
para (qualquer realização de $a_k, k \in \Omega_{01}^{(2)} + N/4$)

{
Calcular $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$, e $d_k = a_{k+N/4}$,
onde $1 \leq k \leq N/4$, $k \notin \Omega_{11}^{(2)}$

Buscar $E_c = \min_{c_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_1^{N/4}$

Buscar $E_d = \min_{d_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/4+1}^{N/2}$

Combinar $E_{sum1} = E_c + E_d$

}

Busca $E_{sum2} = \min_{a_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum1}$

para (qualquer realização de $b_k, k \in \Omega_{01}^{(2)} + N/4$)

{
Calcular $e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$, e $f_k = b_{k+N/4}$,
onde $1 \leq k \leq N/4$, $k \notin \Omega_{11}^{(2)}$

Buscar $E_e = \min_{e_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/2+1}^{3N/4}$

Buscar $E_f = \min_{f_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{3N/4+1}^N$

Combinar $E_{sum3} = E_e + E_f$

}

Busca $E_{sum4} = \min_{b_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum3}$

Combinar $E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_{sum2} + E_{sum4}$

}

Busca completa $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$

[0056] Um efeito técnico dessa maneira de implantação é descrito em detalhe abaixo, onde a complexidade da supracitada decodificação por probabilidade máxima paralela em três estágios é $2^{|\Omega_{01}^{(1)}| + |\Omega_{11}^{(1)}| + |\Omega_{11}^{(2)}|}$. Com referência à Tabela 1 abaixo, a qual é uma comparação entre a complexidade da supracitada decodificação por probabilidade máxima paralela em três estágios e a complexidade de decodificação por probabilidade máxima original em casos de diferentes comprimentos de código N, onde Comp 1 é a complexidade da ML paralela em três estágios e Comp 2 é a complexidade de

ML original.

N	$ \Omega_{01}^{(1)} $	$ \Omega_{11}^{(1)} $	$ \Omega_{11}^{(2)} $	Comp 1	Comp 2
32	4	2	2	2^8	2^{16}
64	4	4	5	2^{13}	2^{32}
128	8	6	11	2^{25}	2^{64}
256	16	10	23	2^{49}	2^{128}

Tabela 1

[0057] Referência pode ser feita à Figura 7, a qual é um diagrama esquemático da supracitada decodificação paralela em três estágios. Pode ser visto a partir da Figura 7 que a complexidade de decodificação por probabilidade máxima nessa maneira de implantação da presente invenção pode ser acentuadamente reduzida.

[0058] Nas supracitadas maneiras de implantação, m é 2 ou 4. Uma pessoa versada na técnica pode saber que m também pode ser 8, ou outra potência de 2 de expoente inteiro. Nas supracitadas maneiras de implantação, reduzindo-se a complexidade de decodificação e, especialmente, pelo uso de uma maneira de decodificação paralela, um rendimento de decodificação pode ser acentuadamente aperfeiçoado e um retardo de decodificação pode ser diminuído.

[0059] O método de decodificação de ML descrito em cada maneira de implantação da presente invenção pode ser usado em combinação com qualquer método de decodificação que não conflite logicamente com o método de decodificação de ML, o qual não é limitado nas maneiras de implantação da presente invenção.

[0060] Como um exemplo, outra maneira específica de implantação da presente invenção fornece um método de decodificação. No método, primeiramente, a decodificação de SC é realizada independentemente (preferencialmente, em paralelo) em m subcódigos de um código Polar, e então, o processamento por probabilidade máxima ML combinado é realizado nos subcódigos do código Polar, isto é, uma decodificação de código Polar completa é realizada combinando-se a decodificação paralela de SC e o supracitado método de decodificação paralela de ML (por exemplo, o método de decodificação paralela de ML em dois estágios ou o método de

decodificação paralela de ML em três estágios).

[0061] O aparelho de decodificação de código Polar mostrado na Figura 3 é usado como um exemplo. Opcionalmente, o aparelho inclui adicionalmente um módulo de decodificação independente de SC, configurado para dividir um código Polar tendo um comprimento de S em N subcódigos do código Polar, onde cada subcódigo tem um comprimento de S/N, e separadamente realizar decodificação de SC para obter N resultados de decodificação de SC (por exemplo, razões de probabilidade), onde S e N são potências de 2 de expoente inteiro e $S > N$,

de modo que o módulo de divisão, os m módulos de processamento independentes, o módulo de processamento combinado, e o módulo de saída de resultado de acordo com qualquer uma das supracitadas maneiras de implantação completem o trabalho correspondente pelo uso de todos os bits de entrada nos N resultados de decodificação de SC como o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N;

e

obter, de acordo com todos os bits de entrada, um resultado de decodificação do código Polar tendo o comprimento de S.

[0062] Em um exemplo mais específico, no Pedido de Patente da China 201310073607.8, uma maneira de implantação na qual a decodificação de SC pode ser realizada em paralelo em oito subcódigos de um código Polar é fornecida (referência pode ser feita à Figura 4 no 201310073607.8). Comparado à maneira de implantação no Pedido de Patente da China 201310073607.8, nesse exemplo, após a decodificação paralela de SC, não é mais necessário atravessar $(a_i, b_i, c_i, d_i, e_i, f_i, g_i, h_i)$ para tomar uma decisão. Ao contrário, um princípio de ML é usado para realizar decodificação combinada. Com referência à Figura 8, um processo da mesma inclui:

[0063] Primeiro, um código Polar tendo um comprimento de S é dividido em oito códigos Polares tendo um comprimento de S/8, isto é, oito vetores de sinal recebido $y_1^{S/8}$, $y_{S/8+1}^{2S/8}$, $y_{2S/8+1}^{3S/8}$, ..., e $y_{7S/8+1}^S$. Os bits de entrada correspondente igualam:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_i = v_i \oplus v_{i+S/8} \oplus v_{i+2S/8} \oplus v_{i+3S/8} \oplus v_{i+4S/8} \oplus v_{i+5S/8} \oplus v_{i+6S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ b_i = v_{i+S/8} \oplus v_{i+3S/8} \oplus v_{i+5S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ c_i = v_{i+2S/8} \oplus v_{i+3S/8} \oplus v_{i+6S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ d_i = v_{i+3S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ e_i = v_{i+4S/8} \oplus v_{i+5S/8} \oplus v_{i+6S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ f_i = v_{i+5S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ g_i = v_{i+6S/8} \oplus v_{i+7S/8} \\ h_i = v_{i+7S/8} \end{array} \right. \quad 1 \leq i \leq S/8$$

[0064] Oito decodificadores de componente (decodificadores de SC tendo um comprimento de S/8) usam separadamente $y_1^{S/8}$, $y_{S/8+1}^{2S/8}$, $y_{2S/8+1}^{3S/8}$, ..., e $y_{2S/8+1}^{3S/8}$ como entradas. Os oito decodificadores de componente calculam independentemente razões de probabilidade de log separadamente: $L(a_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_1^{S/8}, \hat{a}_1^{i-1})$, $L(b_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_{S/8+1}^{2S/8}, \hat{b}_1^{i-1})$, $L(c_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_{2S/8+1}^{3S/8}, \hat{c}_1^{i-1})$, ..., e $L(h_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_{7S/8+1}^S, \hat{h}_1^{i-1})$.

[0065] E, em segundo lugar, de acordo com as supracitadas razões de probabilidade de log obtidas por meio de cálculo, decodificação paralela de ML é realizada nos bits de entrada $(v_k, v_{k+S/8}, v_{k+2S/8}, \dots, v_{k+7S/8})$, o que é especificamente expresso pelo uso da seguinte fórmula:

$$\begin{bmatrix} a_k \\ b_k \\ c_k \\ d_k \\ e_k \\ f_k \\ g_k \\ h_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_k \\ v_{k+S/8} \\ v_{k+2S/8} \\ v_{k+3S/8} \\ v_{k+4S/8} \\ v_{k+5S/8} \\ v_{k+6S/8} \\ v_{k+7S/8} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0066] A matriz à direita da supracitada fórmula é na verdade uma matriz geradora de um código Polar tendo um comprimento de $N = 8$. Portanto, no supracitado processo de decodificação, o método de decodificação paralela

por ML para o código Polar na supracitada maneira de implantação pode ser usado.

$$[0067] \quad \text{Especificamente,} \quad Y = [L(a_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_1^{S/8}, \hat{a}_1^{i-1}), \\ L(b_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_{S/8+1}^{2S/8}, \hat{b}_1^{i-1}), L(c_i) = L_{S/4}^{(i)}(y_{2S/8+1}^{3S/8}, \hat{c}_1^{i-1}), \dots, L(h_i) = L_{S/8}^{(i)}(y_{7S/8+1}^S, \hat{h}_1^{i-1})],$$

os bits de entrada são $(v_k, v_{k+S/8}, v_{k+2S/8}, \dots, v_{k+7S/8})$, e

após $\hat{v}_i, \hat{v}_{i+S/8}, \hat{v}_{i+2S/8}, \dots, \hat{v}_{i+7S/8}$ ($i = 1, 2, \dots, S/8$) serem obtidos, um

resultado de decodificação u_1^N do código Polar original pode ser obtido por troca de posição.

[0068] Na supracitada maneira de implantação, um código Polar tendo um comprimento de S é dividido em oito códigos Polares tendo um comprimento de $S/8$, a decodificação de SC é separadamente realizada nos oito códigos Polares e então uma maneira de decodificação combinada por ML tal como decodificação paralela em dois estágios por ML ou decodificação por ML paralela em três estágios fornecidas nas maneiras de implantação da presente invenção é usada, desse modo reduzindo adicionalmente a complexidade de decodificação e aperfeiçoando um rendimento de decodificação.

[0069] Pode ser entendido que as modalidades descritas nesse relatório descritivo podem ser implantadas pelo uso de hardware, software, firmware, middleware, microcódigo, ou uma combinação dos mesmos. Para implantação pelo uso de hardware, uma unidade de processamento pode ser implantada em um ou mais ASICs (Circuitos Integrados de Aplicação Específica, circuitos integrados de aplicação específica), DSPs (Processamento de Sinal Digital, processadores de sinal digital), DSPDs (Dispositivo DSP, dispositivos DSP), PLDs (Dispositivo de Lógica Programável, dispositivos de lógica programável), FPGAs (Arranjo de Porta Programável em Campo, arranjos de porta programável em campo), processadores, controladores, microcontroladores, microprocessadores, ou outras unidades eletrônicas configuradas para realizar as funções desse aplicativo, ou uma combinação dos mesmos.

[0070] Quando as modalidades são implantadas em software, firmware, middleware ou microcódigo, código de programa ou segmentos de

código, as mesmas podem ser armazenadas em um meio legível por máquina tal como um componente de armazenamento. Um segmento de código pode representar um procedimento, uma função, um subprograma, um programa, uma rotina, uma subrotina, um módulo, um grupo de software, uma classe, ou qualquer combinação de instruções, estruturas de dados, ou declarações de programa. Um segmento de código pode ser acoplado a outro segmento de código ou a um circuito de hardware passando-se e/ou recebendo-se informações, dados, argumentos, parâmetros, ou conteúdo de memória. Informações, argumentos, parâmetros, dados e similares podem ser passados, avançados, ou transmitidos usando qualquer meio adequado incluindo compartilhamento de memória, passagem de mensagem, passagem de token, transmissão de rede, e similares.

[0071] Para implantação pelo uso de software, a tecnologia descrita nesse relatório descritivo pode ser implantada pelo uso dos módulos (por exemplo, procedimentos e funções) que realizam as funções descritas nesse relatório descritivo. O código de software pode ser armazenado em uma unidade de memória e realizado por um processador. A unidade de memória pode ser implantada no processador ou fora do processador. Neste último caso, a unidade de memória pode ser comunicativamente acoplada ao processador por vários meios conhecidos na técnica.

[0072] Com referência à Figura 9, a qual mostra um sistema 900 que pode usar um método de processamento de código polar em um ambiente de comunicações sem fio. Por exemplo, o sistema 900 pode residir pelo menos parcialmente em uma estação de base ou em um terminal de acesso. Deve ser entendido que o sistema 900 pode ser representado como incluindo blocos de função, os quais podem ser blocos de função cujas funções são implantadas por um processador, software, ou uma combinação dos mesmos (por exemplo, firmware). O sistema 900 inclui um grupo lógico 902 tendo componentes eletrônicos que são operados em uma maneira combinada.

[0073] Por exemplo, o grupo lógico 902 pode incluir: um módulo de divisão 904, configurado para receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, onde cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências

de 2 de expoente inteiro, e $N > m$;

m módulos de processamento independentes 906, não todos mostrados na figura, separadamente configurados para calcular, para os m subcódigos do código Polar, distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, onde as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes;

um módulo de processamento combinado 908, configurado para obter, de acordo com as m distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar, onde a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado dos bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar é referida como uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e

um módulo de saída de resultado 910, configurado para obter bits de entrada que estão nos m subcódigos do código Polar e que igualam as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes e a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, e obter um resultado de decodificação do código Polar a ser decodificado com referência a relações entre os m subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

[0074] Além disso, o sistema 900 pode incluir uma memória 912, onde a memória 912 armazena instruções usadas para realizar funções relacionadas aos componentes eletrônicos 904, 906, 908, e 910. Embora seja mostrado que os componentes eletrônicos 904, 906, 908, e 910 são localizados fora da memória 912, pode ser entendido que um ou mais dos componentes eletrônicos 904, 906, 908, e 910 pode(m) ser localizado(s) na memória 912. Correspondentemente, as maneiras de implantação dos supracitados métodos podem ser ainda preferencialmente usadas nos supracitados componentes.

Detalhes das mesmas não são descritos no presente documento novamente.

[0075] As descrições acima incluem exemplos de uma ou mais modalidades. Certamente, é impossível descrever, para as descrições dessas modalidades, todas as combinações possíveis dos componentes ou métodos. Entretanto, uma pessoa de habilidade comum na técnica deve estar ciente de que essas modalidades podem ser adicionalmente combinadas e transformadas. Portanto, as modalidades descritas nesse pedido se destinam a cobrir todas as alterações, modificações, e variações abrangidas pelo espírito e escopo de proteção das reivindicações anexas. Além disso, na medida em que o termo "incluir", "ter", ou similares é usado na descrição ou nas reivindicações, tal termo se destina a ser inclusivo em uma maneira similar ao termo "compreender" da forma como "compreender" é interpretado quando empregado como uma palavra de transição em uma reivindicação.

[0076] Uma pessoa de habilidade comum na técnica pode estar ciente que, em combinação com os exemplos descritos nas modalidades reveladas nesse relatório descritivo, unidades e etapas de algoritmo podem ser implantadas por hardware eletrônico ou uma combinação de software de computador e hardware eletrônico. Se as funções são ou não realizadas por hardware ou software depende de aplicativos e condições de restrição de projeto particulares das soluções técnicas. Uma pessoa versada na técnica pode usar diferentes métodos para implantar as funções descritas para cada aplicativo em particular, mas não deve ser considerado que a implantação vá além do escopo da presente invenção.

[0077] Pode ser claramente entendido por uma pessoa versada na técnica que, para o propósito de descrição conveniente e breve, para um processo de funcionamento do sistema, aparelho e unidade supracitados, pode ser feita referência a um processo nas supracitadas modalidades de método, e detalhes não são descritos no presente documento novamente.

[0078] Nas diversas modalidades fornecidas no presente pedido, deve ser entendido que o sistema, aparelho e método revelados podem ser implantados de outras maneiras. Por exemplo, a modalidade de aparelho descrita é meramente exemplificativa. Por exemplo, a divisão por unidade é meramente uma divisão de função lógica e pode ser outra divisão na implantação efetiva. Por exemplo, uma pluralidade de unidades ou

componentes pode ser combinada ou integrada em outro sistema, ou alguns recursos podem ser ignorados ou não realizados. Além disso, os acoplamentos mútuos ou acoplamentos diretos ou conexões de comunicação mostrados ou discutidos podem ser implantados pelo uso de algumas interfaces. Os acoplamentos indiretos ou conexões de comunicação entre os aparelhos ou unidades podem ser implantados em forma elétrica, mecânica, ou outras formas.

[0079] As unidades descritas como partes separadas podem ou não ser fisicamente separadas, e partes mostradas como unidades podem ou não ser unidades físicas, podem ser localizadas em uma posição, ou podem ser distribuídas em uma pluralidade de unidades de rede. Algumas das ou todas as unidades podem ser selecionadas de acordo com necessidades efetivas para alcançar os objetivos das soluções das modalidades.

[0080] Além disso, unidades funcionais nas modalidades da presente invenção podem ser integradas em uma unidade de processamento, ou cada uma das unidades pode existir sozinha fisicamente, ou duas ou mais unidades ser integradas em uma unidade.

[0081] Quando as funções são implantadas na forma de uma unidade funcional de software e vendidas ou usadas como um produto independente, as funções podem ser armazenadas em um meio de armazenamento legível por computador. Com base em tal entendimento, essencialmente as soluções técnicas da presente invenção, ou a parte que contribui para a técnica anterior, ou algumas das soluções técnicas, podem ser implantadas em uma forma de um produto de software. O produto de software de computador é armazenado em um meio de armazenamento, e inclui diversas instruções para instruir um dispositivo de computador (o qual pode ser um computador pessoal, um servidor, ou um dispositivo de rede) para realizar todas as ou algumas das etapas dos métodos descritos nas modalidades da presente invenção. O supracitado meio de armazenamento inclui: qualquer meio que pode armazenar código de programa, tal como um flash drive USB, um disco rígido removível, uma memória apenas para leitura (ROM, Memória Apenas para Leitura), uma memória de acesso aleatório (RAM, Memória de Acesso Aleatório), um disco magnético, ou um disco óptico.

[0082] As supracitadas descrições são meramente maneiras

específicas de implantação da presente invenção, mas não são destinadas a limitar o escopo de proteção da presente invenção. Qualquer variação ou troca prontamente imaginada por uma pessoa versada na técnica dentro do escopo técnico revelado na presente invenção estarão abrangidas pelo escopo da presente invenção. Portanto, o escopo de proteção da presente invenção estará sujeito ao escopo de proteção das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho de decodificação de código Polar, **CARACTERIZADO** pelo fato de que:

um módulo de divisão (302), configurado para receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, em que cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$;

m módulos de processamento independentes (304), separadamente configurados para calcular, para os m subcódigos do código Polar, distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, em que as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes;

um módulo de processamento combinado (306), configurado para obter, de acordo com as m distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar, em que a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado dos bits de entrada que são acoplados um ao outro nos subcódigos do código Polar é referida como uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e

um módulo de saída de resultado (308), configurado para obter bits de entrada que estão nos m subcódigos do código Polar e que minimizam as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes e a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, e obter um resultado de decodificação do código Polar a ser decodificado com referência a relações entre os m subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado;

em que os m módulos de processamento independentes (304) são especificamente configurados para:

com relação aos m subcódigos do código Polar, calcular, em paralelo,

as distâncias euclidianas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar;

em que m é 2, 4, ou 8;

em que quando m é 2,

o módulo de divisão (302) é especificamente configurado para receber o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N , em que o código Polar a ser decodificado é expresso pelo uso de uma fórmula

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix}$$

$$= \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right],$$
 e dividir o código Polar a ser decodificado em dois subcódigos do código Polar: um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, em que bits de entrada correspondentes aos dois subcódigos do código polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$;

um conjunto de índices $\Omega_{01}^{(1)}$ representa que v_k é um bit congelado e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações; e um conjunto de índices $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações, por meio do qual, se $k \in \Omega_{01}^{(1)}$, a_k e b_k são ligados um ao outro, que é expresso usando uma fórmula $a_k = b_k$, e se $k \in \Omega_{11}^{(1)}$, a_k, b_k são independentes um do outro;

um dos dois módulos de processamento independentes (304) é especificamente configurado para: com relação a um bit de entrada $a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no primeiro subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no segundo subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

independente, E_a :
$$E_a(a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}) = \min_{a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_1^{N/2},$$
 em que $D_1^{N/2}$ representa

distância de bits de entrada $a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$; e

o outro dos dois módulos de processamento independentes (304) é especificamente configurado para: com relação a um bit de entrada $b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no segundo subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no primeiro subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente, E_b :

$$E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_{N/2+1}^N, \text{ em que, } D_{N/2+1}^N \text{ representa}$$

distância de bits de entrada $b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ nos bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$;

o módulo de processamento combinado (306) é especificamente configurado para combinar a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente e a segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_a, E_b , para obter E_{sum} que é expresso pelo uso de uma fórmula $E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) + E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; e realizar busca para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula

$$\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}); \text{ e}$$

o módulo de saída de resultado (308) é configurado para obter bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que são acoplados um ao outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e que minimizam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; então obter bits de entrada $a_k, b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que são independentes um do outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e que minimizam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_a e a segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_b ; e então realizar cálculo para obter resultado de decodificações $v_1^{N/2}$ e $v_{N/2+1}^N$ do código Polar a ser decodificado pelo uso das relações $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$ e $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ entre os dois subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

2. Aparelho de decodificação, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que quando m é 4,

o módulo de divisão (302) é especificamente configurado para receber o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em quatro subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, em que cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de $N/4$, N é uma potência de 2 de expoente inteiro, e $N > 4$; o código Polar a ser decodificado é expresso pelo uso de uma fórmula

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix} \\ = \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right],$$

e um processo da divisão é especificamente como a seguir: o código Polar a ser decodificado é primeiramente dividido em dois subcódigos do código Polar, isto é, um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, em que bits de entrada correspondentes aos dois subcódigos do código polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas

$$a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \text{ e } b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N;$$

e então o primeiro subcódigo do código Polar é dividido em um terceiro subcódigo do código Polar e em um quarto subcódigo do código Polar, e o segundo subcódigo do código Polar é dividido em um quinto subcódigo do código Polar e em um sexto subcódigo do código Polar, em que bits de entrada do terceiro subcódigo do código Polar, do quarto subcódigo do código Polar, do quinto subcódigo do código Polar e do sexto subcódigo do código Polar são c_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$, d_k

que é expresso pelo uso de uma fórmula $d_k = a_{k+N/4}$, e_k que é expresso pelo uso

de uma fórmula $e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$, e f_k respectivamente, em que $f_k = b_{k+N/4}$,

$$1 \leq k \leq N/4, \quad a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N, \text{ e } b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N;$$

os quatro módulos de processamento independentes (304) são especificamente configurados para calcular separadamente as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes para bits de entrada que são independentes um do outro no terceiro subcódigo do código Polar, no quarto subcódigo do código Polar, no quinto subcódigo do código Polar, e no sexto subcódigo do código Polar, para obter uma primeira distância euclidiana

$$\text{mínima elevada ao quadrado independente } E_c = \min_{c_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_1^{N/4}, \text{ em que } D_1^{N/4}$$

representa distância de bits de entrada $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao

quadrado independente $E_d = \min_{d_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/4+1}^{N/2}$, em que $D_{N/4+1}^{N/2}$ representa distância

de bits de entrada $d_k = a_{k+N/4}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, uma terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente

$E_e = \min_{e_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/2+1}^{3N/4}$, em que $D_{N/2+1}^{3N/4}$ representa distância dos bits de entrada

$e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$ nos bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$, e uma quarta distância euclidiana

mínima elevada ao quadrado independente $E_f = \min_{f_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{3N/4+1}^N$, em que $D_{3N/4+1}^N$

representa distância de bits de entrada $f_k = b_{k+N/4}$ nos bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$, em que um índice definido $\Omega_{11}^{(2)}$ representa todos os índices que

igualam $k \in \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, e um índice definido $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações, em que $1 \leq k \leq N/4$;

o módulo de processamento combinado (306) é especificamente configurado para realizar cálculo para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do terceiro subcódigo do código Polar e do quarto subcódigo do código Polar, em que a soma é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum1} = E_c + E_d$, e para bits de entrada que são acoplados um ao outro no terceiro subcódigo do código Polar e no quarto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum2} = \min_{a_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum1}$, em que $\Omega_{01}^{(2)}$

representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, em que $1 \leq k \leq N/4$;

realizar cálculo para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do quinto subcódigo do código Polar e do sexto subcódigo do código Polar, em que a soma é expressa pelo uso de uma fórmula

$E_{sum3} = E_e + E_f$, e para bits de entrada que são acoplados um ao outro no quinto

subcódigo do código Polar e no sexto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum4} = \min_{b_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum3}$, em que $\Omega_{01}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, em que $1 \leq k \leq N/4$;

para bits de entrada que são acoplados um ao outro em todos os subcódigos do código Polar, calcular uma distância euclidiana elevada ao quadrado total que é expressa pelo uso de uma fórmula

$E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_{sum2} + E_{sum4}$, e realizar busca para obter uma terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada

$\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$, em que um índice definido $\Omega_{01}^{(1)}$ representa que v_k

é um bit congelado e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações; e

o módulo de saída de resultado (308) é configurado para obter bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que igualam uma terceira distância euclidiana mínima

elevada ao quadrado combinada $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; substituir

separadamente os bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ na primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum2} e na segunda distância

euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum4} para obter outros bits

de entrada; e após todos os bits de entrada $c_k, d_k, e_k, e f_k$ serem obtidos, obter

bits de entrada v_1^N do código Polar a ser decodificado de acordo com relações

$$\begin{cases} v_k = c_k \oplus d_k \oplus e_k \oplus f_k \\ v_{k+N/4} = d_k \oplus f_k \\ v_{k+N/2} = e_k \oplus f_k \\ v_{k+3N/4} = f_k \end{cases}$$

entre os quatro subcódigos do código Polar e o código

Polar a ser decodificado.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **CARACTERIZADO** pelo fato de que um módulo de decodificação independente de SC, configurado para dividir um código Polar tendo um comprimento de S em

N subcódigos do código Polar, onde cada subcódigo tem um comprimento de S/N , e separadamente realizar decodificação de SC para obter N resultados de decodificação de SC, em que S e N são potências de 2 de expoente inteiro e $S > N$,

de modo que o módulo de divisão, os m módulos de processamento independentes, o módulo de processamento combinado, e o módulo de saída de resultado conforme definidos em qualquer uma das reivindicações 1 a 5 completem o trabalho correspondente pelo uso de todos os bits de entrada nos N resultados de decodificação de SC como o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N;

e

obter, de acordo com todos os bits de entrada, um resultado de decodificação do código Polar tendo o comprimento de S.

4. Aparelho de comunicações sem fio, **CARACTERIZADO** pelo fato de que o aparelho de decodificação de código Polar conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 3 e um receptor, em que o aparelho de decodificação de código Polar recebe um código Polar pelo uso do receptor.

5. Método de decodificação de código polar, **CARACTERIZADO** pelo fato de:

receber um código Polar a ser decodificado tendo um comprimento de N, e dividir o código Polar a ser decodificado em m subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, em que cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de N/m , N e m são potências de 2 de expoente inteiro, e $N > m$;

calcular separadamente, para os m subcódigos do código Polar, distâncias euclidianas elevadas ao quadrado de bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, para obter distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar, em que as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado dos bits de entrada que são independentes um do outro nos m subcódigos do código Polar são referidas como distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes;

obter, de acordo com as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes, uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

de bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar, em que a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado dos bits de entrada que são acoplados um ao outro nos m subcódigos do código Polar é referida como uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada; e

obter bits de entrada que estão nos m subcódigos do código Polar e que minimizam as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes e a distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, e obter um resultado de decodificação do código Polar a ser decodificado com referência às relações entre os m subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado;

em que um processo do cálculo separado das distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes é especificamente:

calcular, em paralelo, as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes;

em que m é 2, 4, ou 8;

em que quando m é 2,

a etapa de recepção e divisão (S401) especificamente compreende:

receber o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N,

em que o código Polar a ser decodificado é expresso pelo uso de uma fórmula

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix} \\ = \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right], \text{ e dividir o código Polar a ser decodificado em}$$

dois subcódigos do código Polar: um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, em que bits de entrada correspondentes

aos dois subcódigos do código Polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ e

$$b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N;$$

um conjunto de índices $\Omega_{01}^{(1)}$ representa que v_k é um bit congelado e

$v_{k+N/2}$ é um bit de informações; e um conjunto de índices $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k

é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações, por meio do qual, se

$k \in \Omega_{01}^{(1)}$, a_k e b_k são ligados um ao outro, que é expresso usando uma fórmula $a_k = b_k$, e se $k \in \Omega_{11}^{(1)}$, a_k, b_k são independentes um do outro;

um processo do cálculo separado (S402) das distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes é especificamente:

para um bit de entrada $a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no primeiro subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no segundo subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente, E_a :

$E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_1^{N/2}$; em que $D_1^{N/2}$ representa distância de bits de

entrada $a_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, e para um bit de

entrada $b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que está no segundo subcódigo do código Polar e que é independente de qualquer bit de entrada no primeiro subcódigo do código Polar, realizar cálculo para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao

quadrado independente, E_b : $E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = \min_{b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}} D_{N/2+1}^N$, em que $D_{N/2+1}^N$

representa distância dos bits de entrada $b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ nos bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$;

um processo de se obter (S403 – S405) uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada é especificamente:

combinar a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente e a segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

independente E_a, E_b , para obter

$E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_a(a_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) + E_b(b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; e realizar busca para obter

uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada que

é expressa pelo uso de uma fórmula $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; e

um processo da saída de resultado (S406) é especificamente:

obter bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que são acoplados um ao outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e

que minimizam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada, em que a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada é expressa pelo uso de uma fórmula $\min_{a_k=b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; e obter bits de entrada $a_k, b_k, k \in \Omega_{11}^{(1)}$ que são independentes um do outro no primeiro subcódigo do código Polar e no segundo subcódigo do código Polar e que minimizam a primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_a e a segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente E_b ; e então obter resultado de decodificações $v_1^{N/2}$ e $v_{N/2+1}^N$ do código Polar a ser decodificado pelo uso das relações $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$ e $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ entre os dois subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que quando m é 4,

a etapa de recepção e divisão (S601) especificamente compreende:

receber o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N , e dividir o código Polar a ser decodificado em quatro subcódigos do código Polar que são acoplados um ao outro, em que cada subcódigo do código Polar tem um comprimento de $N/4$, N é uma potência de 2 de expoente inteiro, e $N > 4$; o código Polar a ser decodificado é expresso pelo uso de uma fórmula

$$x_1^N = v_1^N \times \begin{bmatrix} F^{\otimes(n-1)} & 0 \\ F^{\otimes(n-1)} & F^{\otimes(n-1)} \end{bmatrix} = \left[\left(v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N \right) F^{\otimes(n-1)} \quad v_{N/2+1}^N F^{\otimes(n-1)} \right],$$

e um processo da divisão é especificamente como a seguir: o código Polar a ser decodificado é primeiramente dividido em dois subcódigos do código Polar, isto é, um primeiro subcódigo do código Polar e um segundo subcódigo do código Polar, em que bits de entrada correspondentes aos dois subcódigos do código Polar são a_k e b_k respectivamente, e são separadamente expressos pelo uso das fórmulas $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$ e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$; e então o primeiro subcódigo do código Polar é dividido em um terceiro subcódigo do código Polar e um quarto subcódigo do código Polar, e o segundo subcódigo do código Polar é dividido em um quinto subcódigo do código Polar e um sexto subcódigo do código Polar, em que bits

de entrada do terceiro subcódigo do código Polar, do quarto subcódigo do código Polar, do quinto subcódigo do código Polar, e do sexto subcódigo do código Polar são c_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$, d_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $d_k = a_{k+N/4}$, e_k que é expresso pelo uso de uma fórmula $e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$, e f_k respectivamente, em que $f_k = b_{k+N/4}$, $1 \leq k \leq N/4$, $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, e $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$;

um processo de calcular separadamente (S602) as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes é especificamente:

calcular separadamente as distâncias euclidianas mínimas elevadas ao quadrado independentes para bits de entrada que são independentes um do outro no terceiro subcódigo do código Polar, no quarto subcódigo do código Polar, no quinto subcódigo do código Polar, e no sexto subcódigo do código Polar, para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

independente $E_c = \min_{c_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_1^{N/4}$, em que $D_1^{N/4}$ representa distância de bits de

entrada $c_k = a_k \oplus a_{k+N/4}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado independente

$E_d = \min_{d_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/4+1}^{N/2}$, em que $D_{N/4+1}^{N/2}$ representa distância de bits de entrada

$d_k = a_{k+N/4}$ nos bits de entrada $a_1^{N/2} = v_1^{N/2} \oplus v_{N/2+1}^N$, uma terceira distância

euclidiana mínima elevada ao quadrado independente $E_e = \min_{e_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{N/2+1}^{3N/4}$, em

que $D_{N/2+1}^{3N/4}$ representa distância de bits de entrada $e_k = b_k \oplus b_{k+N/4}$ nos bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$, e uma quarta distância euclidiana mínima elevada ao

quadrado independente $E_f = \min_{f_k, k \in \Omega_{11}^{(2)}} D_{3N/4+1}^N$, em que $D_{3N/4+1}^N$ representa distância

de bits de entrada $f_k = b_{k+N/4}$ no bits de entrada $b_1^{N/2} = v_{N/2+1}^N$, em que um índice definido $\Omega_{11}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \in \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, e

um índice definido $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que v_k é um bit de informações e $v_{k+N/2}$ é um bit de informações, em que $1 \leq k \leq N/4$;

um processo de obter (S603 – S605) uma distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada é especificamente:

realizar cálculo (S603) para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do terceiro subcódigo do código Polar e do quarto subcódigo do código Polar, em que a soma é expressa pelo uso de uma fórmula

$$E_{sum1} = E_c + E_d, \text{ e para bits de entrada que são acoplados um ao outro no terceiro}$$

subcódigo do código Polar e o quarto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum2} = \min_{a_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum1}$, em que $\Omega_{01}^{(2)}$

representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, em que $1 \leq k \leq N/4$;

realizar cálculo (S604) para obter uma soma de distâncias euclidianas elevadas ao quadrado do quinto subcódigo do código Polar e do sexto subcódigo do código Polar, em que a soma é expressa pelo uso de uma fórmula

$$E_{sum3} = E_e + E_f, \text{ e para bits de entrada que são acoplados um ao outro no quinto}$$

subcódigo do código Polar e no sexto subcódigo do código Polar, realizar busca para obter uma segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado

combinada que é expressa pelo uso de uma fórmula $E_{sum4} = \min_{b_k, k \in \Omega_{01}^{(2)}} E_{sum3}$, em que

$\Omega_{01}^{(2)}$ representa todos os índices que igualam $k \notin \Omega_{11}^{(1)}$ e $k + N/4 \in \Omega_{11}^{(1)}$, em que $1 \leq k \leq N/4$;

para bits de entrada que são acoplados um ao outro em todos os subcódigos do código Polar, calcular (S605) uma distância euclidiana elevada ao quadrado total que é expressa pelo uso de uma fórmula

$$E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}) = E_{sum2} + E_{sum4}, \text{ e realizar busca para obter uma terceira}$$

distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada

$\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum}(a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$, em que um índice definido $\Omega_{11}^{(1)}$ representa que V_k

é um bit congelado, e $V_{k+N/2}$ é um bit de informações; e

o módulo de saída de resultado, configurado para obter bits de

entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ que igualam a terceira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada $\min_{a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}} E_{sum} (a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)})$; substituir separadamente os bits de entrada $a_k = b_k, k \in \Omega_{01}^{(1)}$ na primeira distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum2} e na segunda distância euclidiana mínima elevada ao quadrado combinada E_{sum4} para obter outros bits de entrada (S606); e após todos os bits de entrada $c_k, d_k, e_k, e f_k$ serem obtidos, obter bits de entrada v_1^N (S607) do código Polar a ser decodificado de

acordo com relações
$$\begin{cases} v_k = c_k \oplus d_k \oplus e_k \oplus f_k \\ v_{k+N/4} = d_k \oplus f_k \\ v_{k+N/2} = e_k \oplus f_k \\ v_{k+3N/4} = f_k \end{cases}$$
 entre os quatro subcódigos do código Polar e o código Polar a ser decodificado.

7. Método, de acordo com a reivindicação 5 ou 6, **CARACTERIZADO** pelo fato de que, antes da etapa de recepção e divisão, compreende adicionalmente:

dividir um código Polar tendo um comprimento de S em N subcódigos do código Polar, em que cada subcódigo tem um comprimento de S/N, e separadamente realizar decodificação de SC para obter N resultados de decodificação de SC ,

de modo a completar as etapas conforme definidas nas reivindicações 8 a 12 pelo uso de todos os bits de entrada nos N resultados de decodificação de SC como o código Polar a ser decodificado tendo o comprimento de N;

e

obter, de acordo com todos os bits de entrada, um resultado de decodificação do código Polar tendo o comprimento de S.

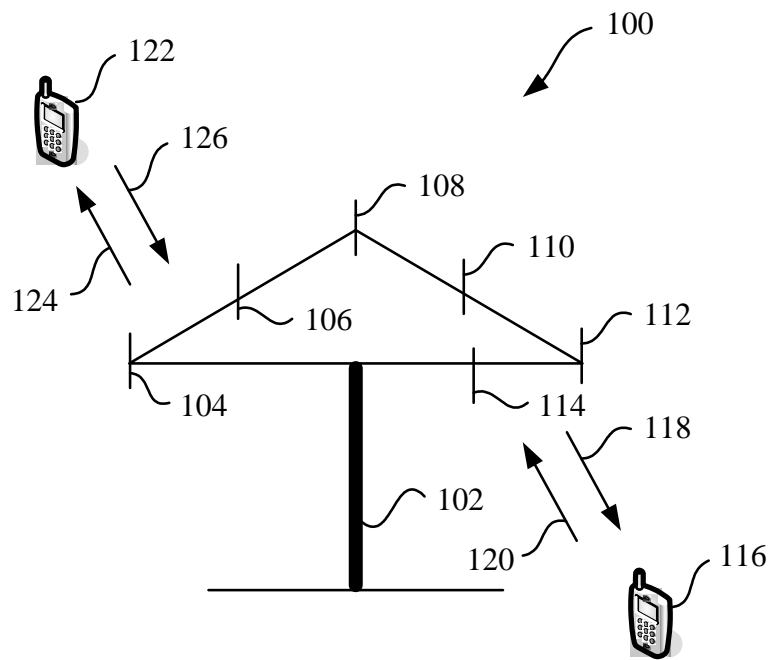


FIG. 1

200

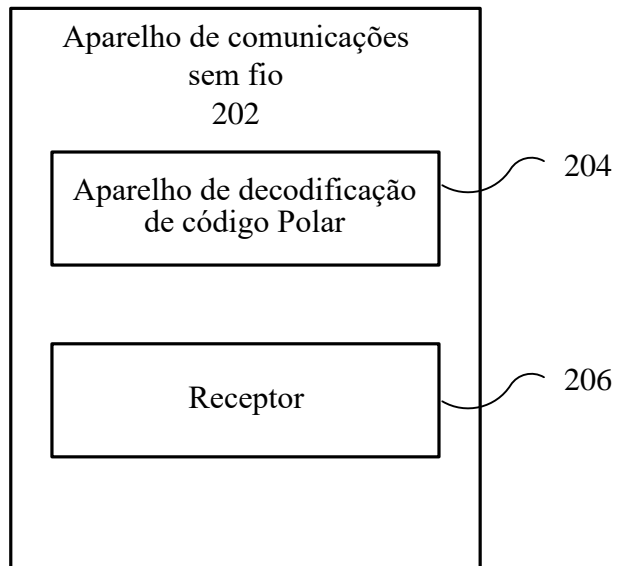


FIG. 2

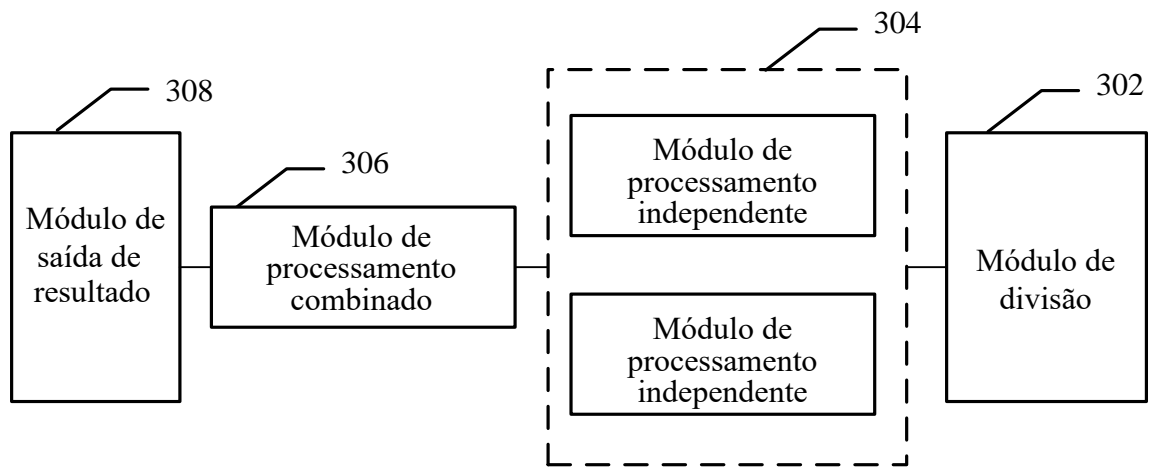


FIG. 3

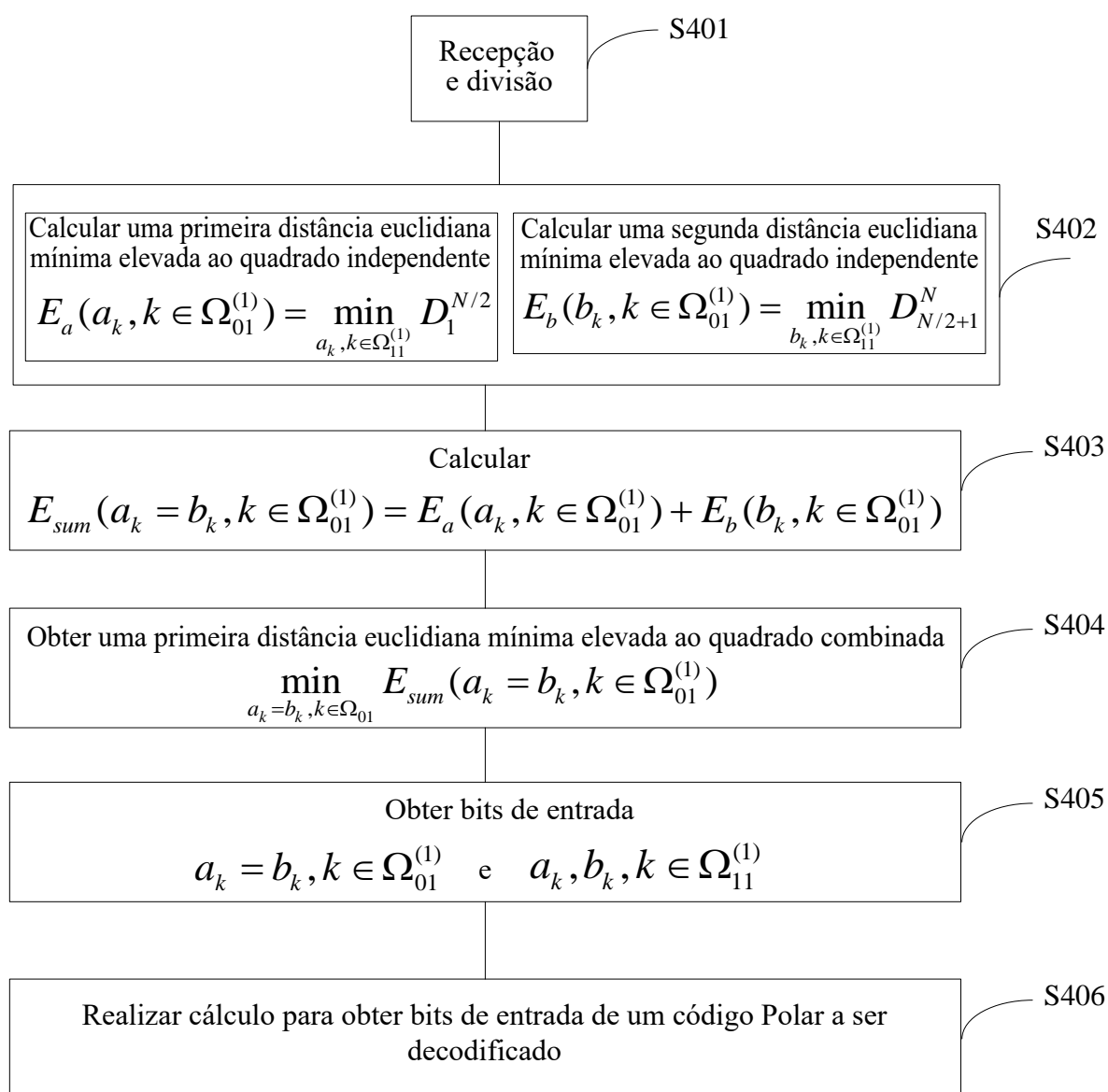


FIG. 4

4/8

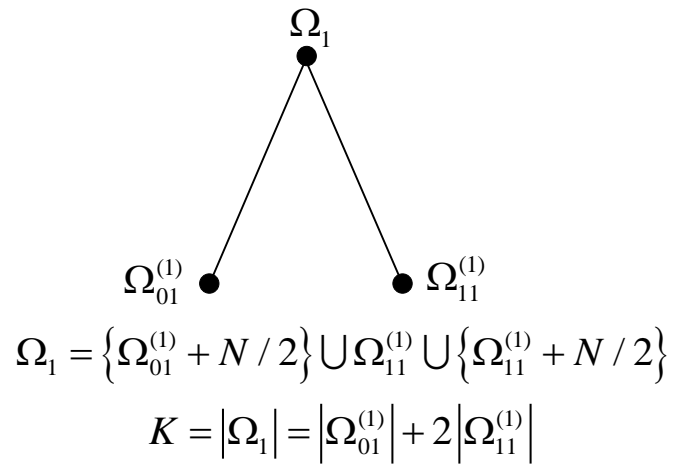


FIG. 5

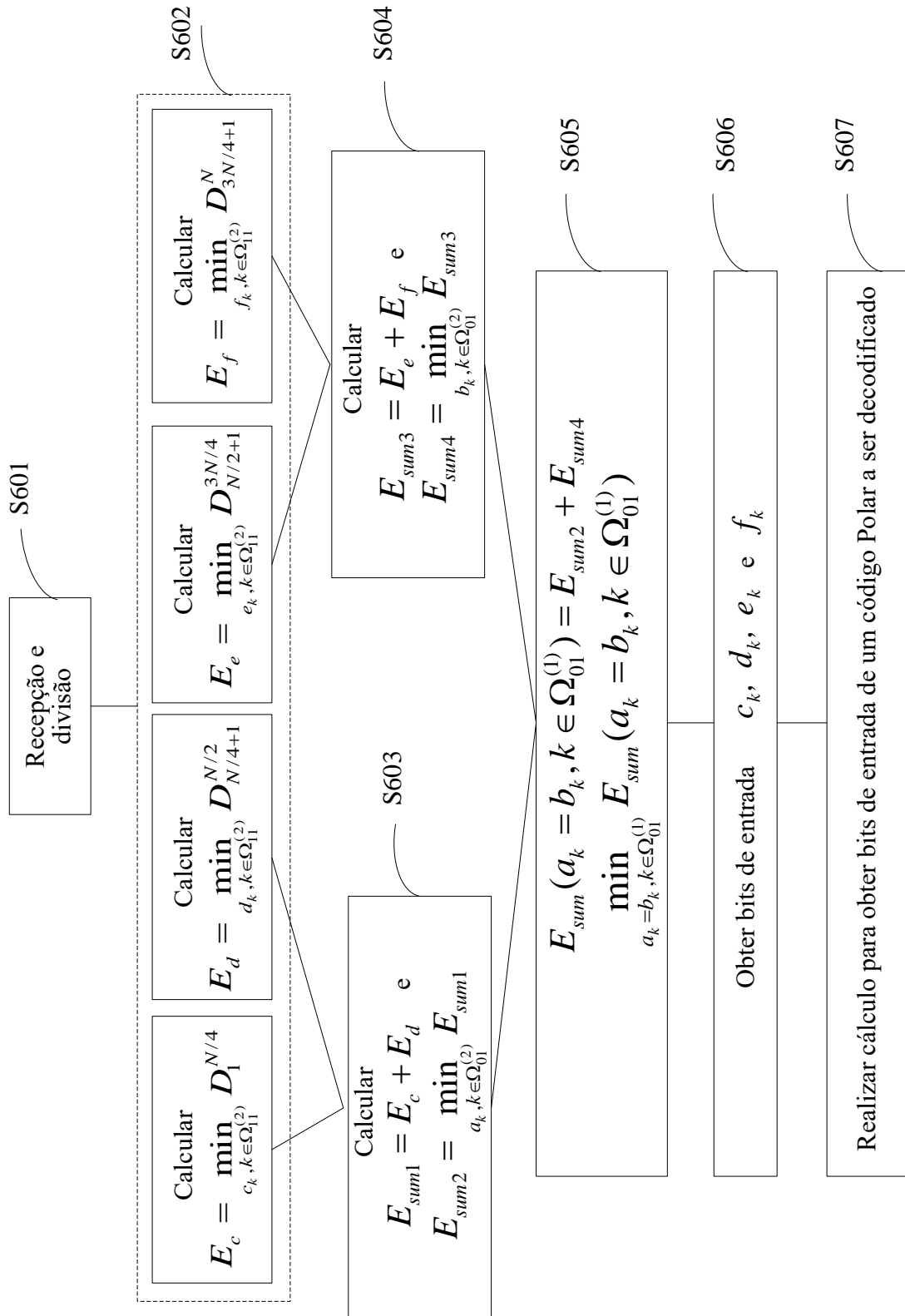
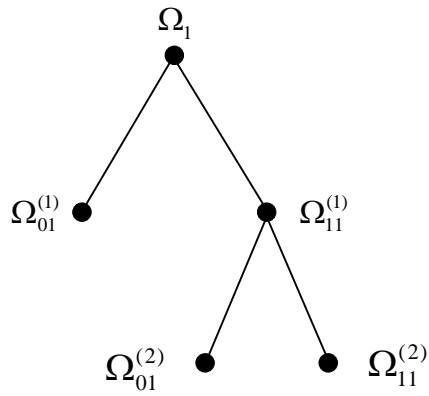


FIG. 6



$$\Omega_{11}^{(1)} = \{\Omega_{01}^{(2)} + N/4\} \cup \Omega_{11}^{(2)} \cup \{\Omega_{11}^{(2)} + N/4\}$$

$$|\Omega_{11}^{(1)}| = |\Omega_{01}^{(2)}| + 2|\Omega_{11}^{(2)}|$$

FIG. 7

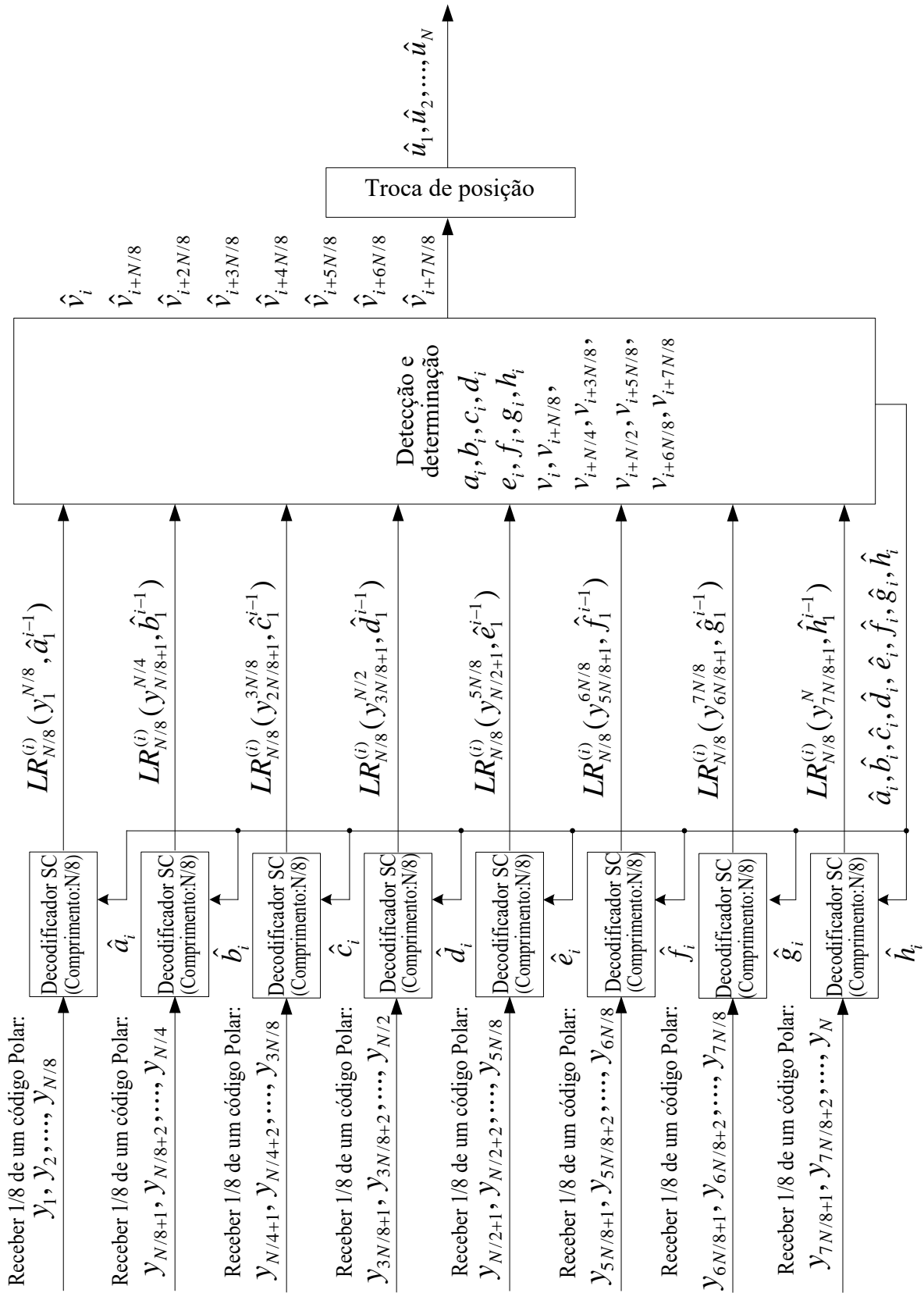


FIG. 8

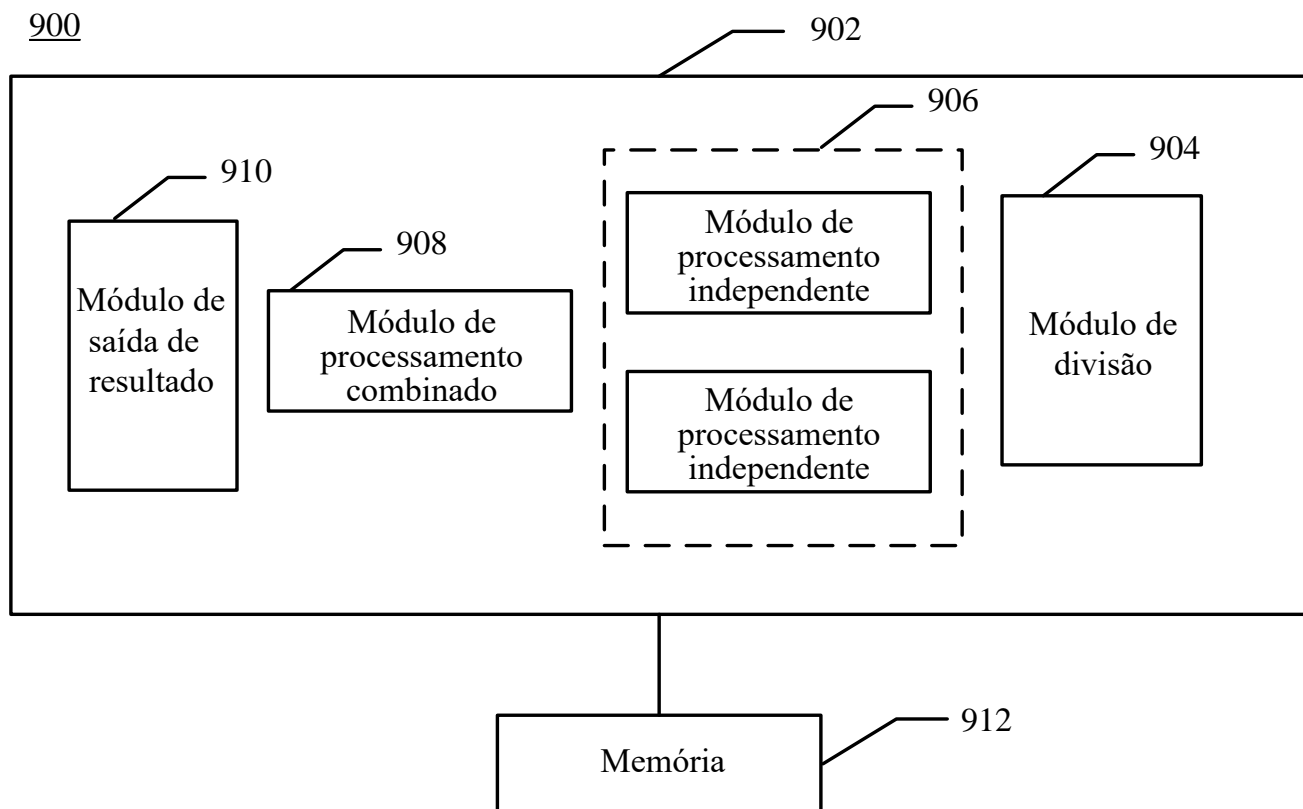


FIG. 9