

# 一种编码、译码方法及装置

## 相关申请的交叉引用

本申请要求在2021年07月02日提交中国专利局、申请号为202110748075.8、申请名称为“一种编码、译码方法及装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

## 技术领域

本申请涉及通信技术领域，尤其涉及一种编码、译码方法及装置。

## 背景技术

第五代（5th generation, 5G）通信系统中，最典型的三个通信场景包括增强型移动互联网（enhance mobile broadband, eMBB）、海量机器连接通信（massive machine type communication, mMTC）和高可靠低延迟通信（ultra reliable low latency communication, URLLC）。编码作为最基本的无线接入技术，是满足 5G 通信需求的重要研究对象之一。极化码（Polar Codes）在 5G 标准中被选作控制编码方式。极化码也可以称为 Polar 码，是第一种、也是已知的唯一一种能够被严格证明“达到”信道容量的编码方法。在不同码长下，尤其对于有限码，Polar 码的性能远优于 Turbo 码和低密度奇偶校验码（low density parity check, LDPC）码。另外，Polar 码在编译码方面具有较低的计算复杂度。这些优点让 Polar 码在 5G 中具有很大的发展和应用前景。

在 Polar 码的编码过程中，可以先确定信息子信道，然后根据信息子信道对待编码的比特序列进行编码。目前较为常用的构造方法比如比特交织编码调制（bit-interleaved coded modulation, BICM）。BICM 主要是基于低阶调制比如正交相移键控（quadrature phase shift keying, QPSK）或二进制相移键控（binary phase shift keying, BPSK）构造出信息子信道，而在构造过程中可假设符号中各比特位的能量是一致的。而高阶调制比如脉冲振幅调制（pulse amplitude modulation, PAM）16 中，一个符号中包含的四个比特的能量不一致。若采用 BICM 生成高阶调制下的 Polar 码，存在构造结果与调制方式不匹配的问题。

目前，亟需提供一种适用于高阶调制下的 Polar 码生成方式。

## 发明内容

本申请提供一种编码、译码方法及装置，用于生成与高阶调制相匹配的 Polar 码。

第一方面，本申请提供一种编码方法，该方法可通过通信装置来执行，通信装置比如是终端设备、网络设备以及物联网设备等，也可以是网络设备中的模块（例如，芯片），或者是终端设备中的模块（例如，芯片）。本申请在此不具体限定执行主体为哪个，只要通信设备中设置有发射机均可执行本申请提供的编码方法。

编码方法包括：获取信息比特数  $K$  和编码比特数  $L$ ；根据所述编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ ，确定符号数  $S$ ， $S$  为  $S_1$  或  $S_2$ ， $S_1=L/B$ ， $S_2=L/2B$ ；根据所述符号数  $S$ 、所述能量等级数  $B$  和可靠度序列，从编码序列中确定  $K$  个信息子信道；根据所述  $K$  个信息子信道，

对  $K$  个信息比特进行编码并输出比特序列；其中，所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列，所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应；所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的，所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S_1$  个子信道或  $2 \times S_2$  个子信道； $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数， $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ， $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ， $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

上述技术方案中，可靠度序列是基于同一个符号中比特的相关性构造的，而且在构造过程中还考虑了同一个符号中不同比特之间的能量等级不同。发送端在发送信息时，可以根据可靠度序列，从编码序列中确定信息子信道，发送端根据该确定出的信息子信道对信息比特进行编码，可以得到与高阶调制较为匹配的比特序列。相应的，接收端可以根据可靠度序列，从编码序列中确定信息子信道，并根据信息子信道对比特序列进行译码，获取到发送端实际需要发送的信息，该方式可提高 0.5dB 至 1.5dB 左右的编码增益。而且无需改变编码器和译码器的设计，有助于节约成本。

而且可靠度序列可以是双重嵌套结构，即由预设符号数  $S_{\max}$  和预设能量等级数  $B_{\max}$  共同对应的  $S_{\max} \times B_{\max}$  个子信道所组成的序列。该可靠度序列可适用于不同的符号数或者不同的能量等级，发送端可以根据待发送的信息比特对应的符号数和能量等级，以及可靠度序列，确定出候选子信道。然后从候选子信道中确定出信息子信道和冻结子信道。无需为每个能量等级数对应的调制设置不同的可靠度序列，有助于节约成本。

在一种可能的实现方式中，所述  $K$  个信息子信道为：所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

上述技术方案中，将候选子信道中的打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道排除，从剩余的候选子信道中按照可靠度从高到低的排序选取信息子信道，可以保障用于承载信息比特的子信道的可靠性均较高，有助于提高信息传输中的准确性。

在一种可能的实现方式中，所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内母码长度确定的。

上述技术方案中，根据能量等级（即符号中比特数）确定符号内的母码长度，即从符号间和符号内两个维度来确定母码长度，从而有助于确定出与能量等级数  $B$  和符号数  $S$  相对应的候选子信道。

在一种可能的实现方式中，所述根据所述  $K$  个信息子信道，对  $K$  个信息比特进行编码并输出之后，还包括：将输出的所述比特序列进行速率匹配和调制，得到  $S$  个待发送符号；对所述  $S$  个待发送符号进行交织处理。

上述技术方案中，将调制之后的  $S$  个待发送符号，进行符号级别的交织处理，可以保障符号中多个比特之间具有的相关性不被破坏，且有助于提高待发送符号在发送过程中应对突发连续噪音的抗干扰性。

在一种可能的实现方式中，所述调制包括：按照能量等级从低到高的排序，在所述  $B$  个子序列的每个子序列中，依次选取一个比特映射至一个待发送符号中。在一种可能的实现方式中，可以将比特序列中，第  $(j_1 \times B + j_2)$  个比特映射至第  $j_1$  个待发送符号中的第  $j_2$  个比特位，其中  $j_1$  为小于  $S$  的正整数， $j_2$  为小于  $B$  的正整数。

在一种可能的实现方式中，对于正交振幅调制 (quadrature amplitude modulation, QAM)

256, 所述调制还包括: 对能量等级从低到高的排序中的、第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特交换映射次序。

上述技术方案中, 将第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特调换映射顺序得到符号, 可有助于提高符号在信道中的传输性能。

在一种可能的实现方式中, 所述编码为极化 Polar 码编码。

第二方面, 本申请提供一种译码方法, 该方法可通过通信装置来执行, 通信装置比如是终端设备、网络设备以及物联网设备等, 也可以是网络设备中的模块(例如, 芯片), 或者是终端设备中的模块(例如, 芯片)。本申请在此不具体限定执行主体为哪个, 只要通信设备中设置有接收机均可执行本申请提供的译码方法。

译码方法包括: 接收  $S$  个符号, 其中符号数  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ; 根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列, 对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特, 所述  $L$  个比特中包括  $K$  个信息比特,  $L = S1 \times B$ , 或  $L = 2 \times S2 \times B$ ; 其中, 所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列, 所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应; 所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道; 所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序; 所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的, 所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道;  $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数,  $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ,  $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ,  $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

上述技术方案中, 可靠度序列是基于同一个符号中比特的相关性构造的, 而且在构造过程中还考虑了同一个符号中不同比特之间的能量等级不同。发送端在发送信息时, 可以根据可靠度序列, 从编码序列中确定信息子信道, 发送端根据该确定出的信息子信道对信息比特进行编码, 可以得到与高阶调制较为匹配的比特序列。相应的, 接收端可以根据可靠度序列, 从编码序列中确定信息子信道, 并根据信息子信道对比特序列进行译码, 获取到发送端实际需要发送的信息。而且无需改变编码器和译码器的设计, 有助于节约成本。

而且可靠度序列可以是双重嵌套结构, 即由预设符号数  $S_{\max}$  和预设能量等级数  $B_{\max}$  共同对应的  $S_{\max} \times B_{\max}$  个子信道所组成的序列。该可靠度序列可适用于不同的符号数或者不同的能量等级, 发送端可以根据待发送的信息比特对应的符号数和能量等级, 以及可靠度序列, 确定出候选子信道。然后从候选子信道中确定出信息子信道和冻结子信道。无需为每个能量等级数对应的调制设置不同的可靠度序列, 有助于节约成本。

在一种可能的实现方式中, 所述  $K$  个信息子信道为: 所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中, 按照可靠度从高到低的排序选取的。

在一种可能的实现方式中, 所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内母码长度确定的。

在一种可能的实现方式中, 所述根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列, 对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特之前, 还包括: 对所述  $S$  个符号进行解交织处理。

在一种可能的实现方式中, 所述解调包括: 将所述  $S$  个符号中的每个符号包括的  $B$  个比特, 依次映射至能量等级从低到高排序的  $B$  个子序列中。

在一种可能的实现方式中, 对于 QAM256, 所述解调还包括: 对所述  $S$  个符号中的每

个符号包括的第三个比特和第四个比特交换映射次序。

在一种可能的实现方式中，所述编码为极化 Polar 码译码。

5 第三方面，本申请提供一种通信装置，通信装置比如是终端设备、网络设备以及物联网设备等，也可以是网络设备中的模块（例如，芯片），或者是终端设备中的模块（例如，芯片）。通信装置包括：输入输出单元和处理单元。

在一种可能的实现方式中，输入输出单元，用于获取信息比特数  $K$  和编码比特数  $L$ ；处理单元，用于根据所述编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ ，确定符号数  $S$ ， $S$  为  $S1$  或  $S2$ ， $S1=L/B$ ， $S2=L/2B$ ；所述处理单元，还用于根据所述符号数  $S$ 、所述能量等级数  $B$  和可靠度序列，从编码序列中确定  $K$  个信息子信道；所述处理单元，还用于根据所述  $K$  个信息子信道，对  $K$  个信息比特进行编码并输出比特序列；其中，所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列，所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应；所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的，所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道； $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数， $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ， $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ， $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

在一种可能的实现方式中，所述  $K$  个信息子信道为：所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

20 在一种可能的实现方式中，所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内码长度确定的。

在一种可能的实现方式中，所述处理单元在根据所述  $K$  个信息子信道，对  $K$  个信息比特进行编码并输出之后，还用于：将输出的所述比特序列进行速率匹配和调制，得到  $S$  个待发送符号；对所述  $S$  个待发送符号进行交织处理。

25 在一种可能的实现方式中，所述处理单元具体用于：按照能量等级从低到高的排序，在所述  $B$  个子序列的每个子序列中，依次选取一个比特映射至一个待发送符号中。

在一种可能的实现方式中，对于 QAM256，所述处理单元还用于：对能量等级从低到高的排序中的、第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特交换映射次序。

30 在一种可能的实现方式中，所述编码为极化 Polar 码编码。

第四方面，本申请提供一种通信装置，通信装置比如是终端设备、网络设备以及物联网设备等，也可以是网络设备中的模块（例如，芯片），或者是终端设备中的模块（例如，芯片）。通信装置包括：输入输出单元和处理单元。

35 在一种可能的实现方式中，输入输出单元，用于接收  $S$  个符号，其中符号数  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ；处理单元，用于根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列，对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特，所述  $L$  个比特中包括  $K$  个信息比特， $L=S1 \times B$ ，或  $L=2 \times S2 \times B$ ；其中，所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列，所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应；所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；所述  $K$  个信息子信道是根

据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的,所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道;  $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数,  $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ,  $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ,  $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

5 在一种可能的实现方式中,所述  $K$  个信息子信道为:所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中,按照可靠度从高到低的排序选取的。

在一种可能的实现方式中,所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内母码长度确定的。

10 在一种可能的实现方式中,所述处理单元根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列,对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特之前,还用于:对所述  $S$  个符号进行解交织处理。

在一种可能的实现方式中,所述处理单元具体用于:将所述  $S$  个符号中的每个符号包括的  $B$  个比特,依次映射至能量等级从低到高排序的  $B$  个子序列中。

在一种可能的实现方式中,对于 QAM256,所述处理单元还用于:对所述  $S$  个符号中的每个符号包括的第三个比特和第四个比特交换映射次序。

15 在一种可能的实现方式中,所述编码为极化 Polar 码译码。

20 对于上述第三方面或第四方面,应理解,所述输入输出单元可以称为收发单元、通信单元等,当所述通信装置是终端设备时,所述输入输出单元可以是收发器;所述处理单元可以是处理器。当所述通信装置是终端设备中的模块(如,芯片)时,所述输入输出单元可以是输入输出接口、输入输出电路或输入输出管脚等,也可以称为接口、通信接口或接口电路等;所述处理单元可以是处理器、处理电路或逻辑电路等。

25 第五方面,本申请提供一种通信装置,包括至少一个处理器和存储器;该存储器用于存储计算机程序或指令,当该通信装置运行时,该处理器执行该存储器存储的该计算机程序或指令,以使该通信装置执行上述第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式中的方法,或执行上述第二方面或第二方面的任一种可能的实现方式中的方法。在一种可选的实施方式中,该处理器和存储器可集成在同一芯片中,也可分别集成在不同的芯片中。

30 第六方面,本申请实施例中还提供一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质中存储有计算机可读指令,当所述计算机可读指令在计算机上运行时,以使得计算机执行上述第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式中的方法,或执行上述第二方面或第二方面的任一种可能的实现方式中的方法。

第七方面,本申请提供一种包含指令的计算机程序产品,当其在计算机上运行时,使得计算机执行上述第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式中的方法,或执行上述第二方面或第二方面的任一种可能的实现方式中的方法。

35 第八方面,本申请实施例提供了一种芯片系统,该芯片系统包括处理器,还可以包括存储器,用于实现上述第一方面或第一方面的任一种可能的实现方式中的方法,或执行上述第二方面或第二方面的任一种可能的实现方式中的方法。该芯片系统可以由芯片构成,也可以包含芯片和其他分立器件。

40 第九方面,本申请实施例提供了一种通信系统,所述通信系统包括发送端以及接收端,所述发送端用于执行上述第一方面或第一方面中任一种可能的实现方式中所述的方法,所述接收端用于执行上述第二方面或第二方面中任一种可能的实现方式中所述的方法。

上述第二方面至第九方面可以达到的技术效果，请参照上述第一方面中相应的可能实现方式可以达到的技术效果说明，本申请这里不再重复赘述。

#### 附图说明

- 5 图 1 为本申请示例性提供一种可适用于 Polar 编码方法和译码方法的通信系统；  
图 2 为本申请示例性提供一种发送端发送信号的流程示意图；  
图 3 为本申请示例性提供一种具体的编码的过程；  
图 4 为本申请示例性提供一种接收端对接收到的符号中多个比特进行译码的示意图；  
图 5a 和图 5b 为本申请示例性提供一组符号中比特相关性的示意图；  
10 图 6 为本申请示例性提供一种确定可靠度序列的流程示意图；  
图 7a 为本申请示例性提供一种编码序列的示意图；  
图 7b 为本申请示例性提供一种可靠度序列的示意图；  
图 8 为本申请示例性提供的一种编码和译码的流程示意图；  
图 9 为本申请示例性提供的一种构造出信息子信道和冻结子信道的示意图；  
15 图 10 为本申请示例性提供一种发送端发送符号的流程示意图；  
图 11a 和图 11b 为本申请示例性提供一组 CAP 与 BICM 的对比示意图；  
图 12a 和图 12b 为本申请示例性提供再一组 CAP 与 BICM 的对比示意图；  
图 13 为本申请示例性提供一种 CAP 与 MLC 的对比示意图；  
图 14 示出了本申请实施例提供的第一种通信装置的结构示意图；  
20 图 15 示出了本申请实施例提供的第二种通信装置的结构示意图；  
图 16 示出了本申请实施例提供的第三种通信装置的结构示意图。

#### 具体实施方式

25 在无线通信技术领域，通信设备（例如终端设备、网络设备等）可以通过 Polar 码的方式进行编码。Polar 码基于信道极化（channel polarization）进行设计，是第一种能够通过严格的数学方法证明达到信道容量的构造性编码方案。

无线通信领域可以包括但不限于 5G 通信系统、未来的通信系统（如 6G 通信系统）、卫星通信系统、窄带物联网系统（narrow band-internet of things, NB-IoT）、全球移动通信系统（global system for mobile communications, GSM）、增强型数据速率 GSM 演进系统（enhanced data rate for GSM evolution, EDGE）、宽带码分多址系统（wideband code division multiple access, WCDMA）、码分多址 2000 系统（code division multiple access, CDMA2000）、时分同步码分多址系统（time division-synchronization code division multiple access, TD-SCDMA）、长期演进系统（long term evolution, LTE）以及 5G 移动通信系统的三大应用场景 eMBB, URLLC, mMTC。

35 图 1 为本申请示例性提供的一种可适用于 Polar 编码和译码方法的通信系统。通信系统中包括发送端 101 和接收端 102。其中，发送端 101 可以是网络设备或者可以是终端设备，接收端 102 可以是网络设备也可以是终端设备。

可选的，当发送端 101 是网络设备时，接收端 102 可以是终端设备；当接收端 102 是网络设备时，发送端 101 可以是终端设备。

其中, 发送端 101 可以包括编码器, 发送端 101 可以通过编码器对待编码的比特序列进行编码, 并输出编码后的比特序列。编码后的比特序列经过速率匹配、交织以及调制之后得到待发送的符号, 该待发送的符号可以在信道上传输至接收端 102。接收端 102 可以包括译码器, 接收端 102 可以接收并解调来自发送端 101 的符号, 接收端 102 在对接收到的符号进行解调和解交织之后, 可以通过译码器进行译码。

本申请涉及的终端设备, 包括向用户提供语音和/或数据连通性的设备, 具体的, 包括向用户提供语音的设备, 或包括向用户提供数据连通性的设备, 或包括向用户提供语音和数据连通性的设备。例如可以包括具有无线连接功能的手持式设备、或连接到无线调制解调器的处理设备。该终端设备可以包括用户设备 (user equipment, UE)、无线终端设备、移动终端设备、设备到设备通信 (device-to-device, D2D) 终端设备、车到一切 (vehicle to everything, V2X) 终端设备、机器到机器/机器类通信 (machine-to-machine /machine-type communications, M2M/MTC) 终端设备、物联网 (internet of things, IoT) 终端设备、订户单元 (subscriber unit)、订户站 (subscriber station)、移动站 (mobile station)、远程站 (remote station)、接入点 (access point, AP)、远程终端设备 (remote terminal)、接入终端设备 (access terminal)、用户终端设备 (user terminal)、用户代理 (user agent)、或用户装备 (user device)、卫星、无人机、气球、飞机等。例如, 可以包括移动电话 (或称为“蜂窝”电话), 具有移动终端设备的计算机, 便携式、袖珍式、手持式、计算机内置的移动装置等。例如, 个人通信业务 (personal communication service, PCS) 电话、无绳电话、会话发起协议 (session initiation protocol, SIP) 话机、无线本地环路 (wireless local loop, WLL) 站、个人数字助理 (personal digital assistant, PDA)、等设备。还包括受限设备, 例如功耗较低的设备, 或存储能力有限的设备, 或计算能力有限的设备等。例如包括条码、射频识别 (radio frequency identification, RFID)、传感器、全球定位系统 (global positioning system, GPS)、激光扫描器等信息传感设备。作为示例而非限定, 在本申请实施例中, 该终端设备还可以是可穿戴设备。可穿戴设备也可以称为穿戴式智能设备或智能穿戴式设备等, 是应用穿戴式技术对日常穿戴进行智能化设计、开发出可以穿戴的设备的总称。而如上介绍的各种终端设备, 如果位于车辆上 (例如放置在车辆内或安装在车辆内), 都可以认为是车载终端设备, 车载终端设备例如也称为车载单元 (on-board unit, OBU)。

本申请所涉及的网络设备, 例如包括接入网 (access network, AN) 设备, 例如基站 (例如, 接入点), 可以是指接入网中在空口通过一个或多个小区与无线终端设备通信的设备, 或者例如, 一种车到一切 (vehicle-to-everything, V2X) 技术中的网络设备为路侧单元 (road side unit, RSU)。网络设备可以包括第五代移动通信技术 (the 5th generation, 5G)、新空口 (new radio, NR) 系统 (也简称为 NR 系统) 中的下一代节点 B (next generation node B, gNB) 或者也可以包括云接入网 (cloud radio access network, Cloud RAN) 系统中的集中式单元 (centralized unit, CU) 和分布式单元 (distributed unit, DU), 卫星、无人机、气球和飞机等, 本申请实施例并不限定。

Polar 码是一种线性块码。其生成矩阵为  $G_N$ , 其编码过程为  $x_1^N = u_1^N G_N$ , 其中  $u_1^N = (u_1, u_2, \dots, u_N)$  是一个二进制的行矢量, 长度为  $N$  (即码长);  $G_N$  是一个  $N \times N$  的矩阵,

且  $G_N = F_2^{\otimes (\log_2(N))}$ , 这里,  $F_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $F_2^{\otimes (\log_2(N))}$  定义为  $\log_2 N$  个矩阵  $F_2$  的克罗内克

(Kronecker) 乘积。

Polar 码的编码过程中,  $u_1^N$  中的一部分比特用来携带信息, 称为信息比特, 这些比特的索引的集合记作  $A$ ; 另外的一部分比特置为收发端预先约定的固定值 (称之为固定比特或者冻结比特), 其索引的集合用  $A$  的补集  $A^c$  表示。不失一般性, 这些固定比特通常被设为 0, 只需要收发端预先约定, 固定比特序列可以被任意设置。从而, Polar 码的编码输出可简化为:  $x_1^N = u_A G_N(A)$ , 这里  $u_A$  为  $u_1^N$  中的信息比特集合,  $u_A$  为长度  $K$  的行矢量, 即  $|A| = K$ ,  $|\cdot|$  表示集合中元素的个数,  $K$  为信息块大小,  $G_N(A)$  是矩阵  $G_N$  中由集合  $A$  中的索引对应的那些行得到的子矩阵,  $G_N(A)$  是一个  $K \times N$  的矩阵。Polar 码的构造过程即集合  $A$  的选取过程, 集合  $A$  的选取过程决定了 Polar 码的性能。

参照图 2 示例性的示出的发送端发送信号的过程解释说明。发送端可以预先根据密度进化 (density evolution, DE)、高斯近似 (gaussian approximation, GA)、极化权重 (polarization weight, PW) 等方式构造出信息子信道和冻结子信道。根据构造出的信息子信道和冻结子信道, 对待编码的比特序列进行信道编码, 得到编码之后的比特序列。由于调制符号内的各比特能量不一致的, 可将编码之后的比特序列输入至交织器执行交织。将交织之后的比特序列调制到多个符号中。发送端向接收端发送符号。

图 3 示例性示出一种具体的编码的过程, 其中左侧可理解为待编码侧, 右侧可理解为编码侧, 从左往右的过程即发送端对待编码的比特序列进行编码的过程。在待编码侧, 待编码的比特序列可用向量  $u$  表示, 其中向量  $u$  为  $(0, 0, 0, u_4, 0, u_6, u_7, u_8)$ , 根据生成矩阵  $G_N$  对向量  $u$  进行编码, 得到编码后的比特序列, 编码后的比特序列可参照图 3 中, 表示为  $(1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1)$ 。其中高可靠度的子信道用于映射信息比特, 低可靠的子信道用于映射冻结比特。如图 3 中所示, 将 4 个信息比特分别映射到信息子信道上, 冻结子信道设置为 0, 经过  $x_1^N = u_1^N G_N$  的编码过程之后生成长度为 8 的比特序列。

可以参见图 3 继续说明, 在编码过程中, 相邻两列即为一个编码层, 左边一列比特为编码层的输入比特, 右边一列比特为编码层的输出比特。比如最左侧的编码层中, 输入比特序列  $(0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1)$ , 输出比特序列  $(0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ 。编码层中间的操作符号“ $\oplus$ ”表示异或操作, “ $\oplus$ ”表示“ $\oplus$ ”所在行的比特与“ $\oplus$ ”所达行的比特之间的一次异或操作, “ $\oplus$ ”右侧的比特即为操作结果。比如最左侧编码层中, 第一个输入比特 (取值 0) 与第二个输入比特 (取值 0) 执行“ $\oplus$ ”操作得到第一个输出比特 (取值 0)。

目前, 较为常用的构造方法比如 BICM。BICM 主要是基于低阶调制比如 QPSK 或 BPSK 构造出信息子信道, 在构造过程中可假设低阶调制的符号中比特的能量是一致的。而高阶调制比如 QAM16 中, 符号中比特的能量不一致, 若采用 BICM 生成高阶调制下的 Polar 码, 存在构造的信息子信道与调制方式不匹配的问题。

基于此, 本申请提供一种编码、译码方法及装置, 利用高阶调制下符号中各比特之间的相关性, 来构造信息子信道和冻结子信道, 根据构造出的信息子信道和冻结子信道在高阶调制下生成 Polar 码, 有助于提高信道传输的可靠性。

预先对高阶调制下同一个符号中多个比特之间的相关性解释说明:

在发送端通过信道向接收端发送符号时, 同一个符号中的多个比特在信道中会受到相同的噪声干扰。接收端接收到的同一个符号中的多个比特的接收信息的分布之间是具有相关性的。如图 4 为接收端对接收到的符号中多个比特进行译码的示意图, 其中的调制方式

比如是幅移键控 (amplitude shift keying, ASK) 16, 一个符号中的 4 个比特之间具有相关性。

预先说明的是, 如图 4 中  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  等均表示比特位, 每个比特位对应各自的值。在译码过程中, 可以包括多次译码, 每次译码可对应一个译码层, 一个译码层包括有输入比特位和输出比特位。比如最外译码层中, 接收端可以对  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  译码得到  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ , 其中,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  即输入比特位,  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  即输出比特位。为方便描述, 可以将  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  所在层称为是第一层,  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  所在层称为是第二层,  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  所在层称为是第三层, 第一层与第二层组成第一译码层, 第二层与第三层组成第二译码层, 以此类推。

如图 4 示出的例子中, 接收端可以接收到 4 个符号, 每个符号中包括 4 个比特, 即接收端可以收到由 16 个比特组成的比特序列。进一步的, 该比特序列中  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  均是第一个符号中的比特。由于在发送过程中,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  在同一个符号 (即第一个符号) 中受到相同的噪声干扰,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  是具有相关性的。

相应的, 接收端可以对第一个符号中  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  进行译码得到中间结果, 该中间结果分别为  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 。 $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  仍然对应于第一个符号, 在同一个符号中受到相同的噪声干扰,  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  是具有相关性的。

接收端可以继续对  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  进行译码得到中间结果, 该中间结果分别为  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 。 $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  仍然是对应于第一个符号, 在同一个符号中受到相同的噪声干扰,  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  是具有相关性的。

此处, 需要说明的是, 接收端对第一个符号中  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  进行两层译码, 得到  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$ 。其中,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  分别对应的概率密度函数可参见图 5a 所示,  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  分别对应的概率密度函数是具有相关性的。 $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  分别对应的概率密度函数可参见图 5b 所示,  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  分别对应的概率密度函数同样具有相关性的。

如图 4 中, 接收端可以继续对  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  进行译码得到中间的译码结果。由图 4 中的各层比特的对应关系可知, 经  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  译码得到的比特位不再对应于同一个符号, 即得到的比特位不再具有相关性。

基于上述关于相关性的描述, 本申请提供一种构造可靠度序列的方式, 该可靠度序列可以是基于上述译码过程中, 同一个符号中具有相关性的多个比特位得到的。

在构造可靠度序列中, 可以预先确定预设符号数  $S_{\max}$  和预设调制阶数  $B_{\max}$ ,  $S_{\max}$  和  $B_{\max}$  均为正整数。其中, 预设调制阶数用于指示一个符号中包括的比特个数, 一个符号中的多个比特又分别对应于各自的能量等级, 可以理解, 本申请中预设调制阶数、预设比特数和预设能量等级数三者的取值相同, 在一些实施例中三者可以互换。

结合图 6 解释说明生成可靠度序列的流程示意图。该流程可以由可靠度序列的生成装置执行, 该可靠度序列的生成装置可以是接收端或者发送端, 或者其他装置。

步骤 601, 根据预设信噪比和预设调制阶数, 确定发送符号和接收符号的联合分布概率密度函数。其中, 发送符号可表示为  $x$ , 接收符号可表示为  $y$ , 发送符号和接收符号的联合分布概率密度函数可表示为  $f(y, x)$ 。

本申请中, 发送符号的个数可以等于预设符号数  $S_{\max}$ , 接收符号的个数同样可以等于预设符号数  $S_{\max}$ , 即可以根据  $S_{\max}$  个发送符号和  $S_{\max}$  个接收符号, 确定发送符号和

接收符号的联合分布概率密度函数。

示例性的，发送符号和接收符号的联合分布概率密度函数 $f(y, x)$ 符合公式：

$$f(y, x) = X(x, \sigma^2) \times P(x)$$

其中， $x_0, x_1, \dots, x_{\max-1}$ 是发送符号的值的取值范围。发送符号的值的取值范围与预设调制阶数  $B_{\max}$  有关。例如在 ASK8 情况下，预设调制阶数为 3，发送符号的值的取值范围为 $x_0, x_1, \dots, x_7$ 。例如在 ASK16 情况下，预设调制阶数为 4，发送符号的值的取值范围为 $x_0, x_1, \dots, x_{15}$ 。 $X(x, \sigma^2)$ 是服从 $N(x, \sigma^2)$ 的高斯分布， $\sigma^2$ 为噪音功率密度。 $P(x)$ 是发送符号的幅值等于 $x_0, x_1, \dots, x_{\max-1}$ 的先验概率。

步骤 602，根据接收符号和发送符号，确定接收符号中第一比特位的 LLR 的表达式。

第一比特位可以是接收符号在译码过程中最外译码层的输入比特位。同一个接收符号中可以包括  $B_{\max}$  个第一比特位，可将  $B_{\max}$  个第一比特位分别表示为  $a_0, a_1, \dots, a_{B_{\max}-1}$ 。比如图 4 示例性示出的 ASK16 中，有四个接收符号，每个接收符号对应的最外译码层包括四个第一比特位。以第一个接收符号举例说明，该第一个接收符号中包括的四个第一比特位，可分别表示为  $a_0, a_1, a_2, a_3$ 。

预先说明的是，发送符号可以是多个比特的联合表达，发送符号可以二进制表达为  $(b_0 b_1 \dots b_{B_{\max}-1})_2$ ，其中  $b_0, b_1, \dots, b_{B_{\max}-1}$  为发送符号在二进制表达下每个比特的值。

具体的，可以先确定先验概率 $P(\tilde{x})$ ，以及根据接收符号确定似然概率  $P(y|\tilde{x})$ ，其中， $\tilde{x}$ 是计算似然概率时可能的发送符号。然后根据先验概率 $P(\tilde{x})$ 和似然概率  $P(y|\tilde{x})$ ，确定多个第一比特位的 LLR 的表达式。

示例性的，多个第一比特位中，第  $k$  个第一比特位的 LLR 可以表达为：

$$LLR_k(y, x) = \log \frac{\sum_{b_k=\tilde{b}_k} P(y|\tilde{x}) \times P(\tilde{x})}{\sum_{b_k \neq \tilde{b}_k} P(y|\tilde{x}) \times P(\tilde{x})}$$

其中， $k$ 取值为  $0, 1, \dots, B_{\max}-1$ ； $b_k$  为  $x$  中第  $k$  个第一比特位的取值； $\tilde{b}_k$  为  $\tilde{x}$  中第  $k$  个第一比特位的取值。

在构造过程中，可通过 $LLR_k(y, x)$ 来表征第  $k$  个第一比特位是否译码正确。示例性的，当 LLR 大于 0 时，表示第  $k$  个第一比特位译码正确，当 LLR 小于 0 时，表示第  $k$  个第一比特位译码错误。可以根据 $LLR_k(y, x)$ 大于 0 的 $(y, x)$ 组合在 $f(y, x)$ 的积分，得到第  $k$  个第一比特位的译码正确的概率。

本申请中，接收端接收到  $S_{\max}$  个接收符号，每个接收符号中包括  $B_{\max}$  个第一比特位，即接收端接收到的比特序列中包括  $N_{\max}$  个第一比特位，其中  $N_{\max} = \text{预设符号数 } S_{\max} \times \text{预设调制阶数 } B_{\max}$ 。相应的，接收端可以确定出  $N_{\max}$  个第一比特位的 LLR，即  $N_{\max}$  个第一比特位的 LLR 关于 $(y, x)$ 的表达式。图 4 例子中，预设符号数  $S_{\max}$  为 4，预设调制阶数  $B_{\max}$  为 4，即接收端接收到的比特序列中包括 16 个第一比特位。相应的，接收端可以根据 16 个 $(y, x)$ 组合，得到的 16 个第一比特位的 LLR 关于 $(y, x)$ 的表达式。

步骤 603，根据接收符号中第一比特位的 LLR 的表达式，确定第二比特位的 LLR 的表达式。第二比特位指的是对第一比特位进行译码过程中的中间比特位。

具体的，可以针对任一个接收符号，根据该接收符号中第一比特位的 LLR 的表达式，

确定第二比特位的 LLR 的表达式。其中，一个接收符号中包括 Bmax 个第一比特位，对该接收符号中 Bmax 个第一比特位的 LLR 进行译码，可得到 Bmax 个第二比特位的 LLR，且 Bmax 个第二比特位也对应于该接收符号。本申请中，可将该 Bmax 个第二比特位分别表示为  $c_0, c_1, \dots, c_{Bmax-1}$ 。

比如图 4 示例性示出的 ASK16 中，对第一个接收符号中的四个第一比特位的 LLR (即  $a_0, a_1, a_2, a_3$  的 LLR) 执行符号译码运算，得到该第一个接收符号对应的四个第二比特位的 LLR，其中该四个第二比特位可分别表示为  $c_0, c_1, c_2, c_3$ 。

以  $a_0, a_1, a_2, a_3$  为第一比特位， $c_0, c_1, c_2, c_3$  为第二比特位为例，来具体解释本申请中根据第一比特位的 LLR 的表达式确定第二比特位的 LLR 的表达式的过程。

第 1 步，根据  $a_0, a_1, a_2, a_3$  的 LLR 的表达式，得到  $b_0, b_1, b_2, b_3$  的 LLR 的表达式。

示例性的， $b_0, b_1, b_2, b_3$  的 LLR 的表达式可以如下：

$$LLR_{b_0}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) \blacksquare LLR_{a_2}(y, x))$$

$$LLR_{b_1}(y, x) = (LLR_{a_1}(y, x) \blacksquare LLR_{a_3}(y, x))$$

$$LLR_{b_2}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) + LLR_{a_2}(y, x))$$

$$LLR_{b_3}(y, x) = (LLR_{a_1}(y, x) + LLR_{a_3}(y, x))$$

该表达式中， $LLR_{a_0}(y, x)$ 、 $LLR_{a_1}(y, x)$ 、 $LLR_{a_2}(y, x)$ 、 $LLR_{a_3}(y, x)$  分别表示  $a_0$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  的 LLR 的表达式； $LLR_{b_0}(y, x)$ 、 $LLR_{b_1}(y, x)$ 、 $LLR_{b_2}(y, x)$ 、 $LLR_{b_3}(y, x)$  分别表示  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$  的 LLR 的表达式。 $\blacksquare$  表示 boxplus 运算，示例性的，boxplus 也可以由表达式  $a \blacksquare b = (1 - 2^{\text{sign}(a)\text{sign}(b)}) \times \min(\text{abs}(a), \text{abs}(b))$  取代，该表达式中 sign 表示取符号运算，正数输出 0，负数输出 1。abs 表示取绝对值运算，min 表示取最小值。

第 2 步，根据  $b_0, b_1, b_2, b_3$  的 LLR 的表达式，得到  $c_0, c_1, c_2, c_3$  的 LLR 的表达式。

示例性的， $c_0, c_1, c_2, c_3$  的 LLR 的表达式可以如下：

$$LLR_{c_0}(y, x) = (LLR_{b_0}(y, x) \blacksquare LLR_{b_1}(y, x))$$

$$LLR_{c_1}(y, x) = (LLR_{b_0}(y, x) + LLR_{b_1}(y, x))$$

$$LLR_{c_2}(y, x) = (LLR_{b_2}(y, x) \blacksquare LLR_{b_3}(y, x))$$

$$LLR_{c_3}(y, x) = (LLR_{b_2}(y, x) + LLR_{b_3}(y, x))$$

该表达式中， $LLR_{c_0}(y, x)$ 、 $LLR_{c_1}(y, x)$ 、 $LLR_{c_2}(y, x)$ 、 $LLR_{c_3}(y, x)$  分别表示  $c_0$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $c_3$  的 LLR。

进一步的，基于上述  $c_0, c_1, c_2, c_3$  的 LLR 关于  $b_0, b_1, b_2, b_3$  的 LLR 的表达式，以及上述  $b_0, b_1, b_2, b_3$  的 LLR 关于  $a_0, a_1, a_2, a_3$  的 LLR 的表达式，可得到  $c_0, c_1, c_2, c_3$  的 LLR 关于  $a_0, a_1, a_2, a_3$  的 LLR 的表达式为：

$$LLR_{c_0}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) \blacksquare LLR_{a_2}(y, x)) \blacksquare (LLR_{a_1}(y, x) \blacksquare LLR_{a_3}(y, x))$$

$$LLR_{c_1}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) \blacksquare LLR_{a_2}(y, x)) + (LLR_{a_1}(y, x) \blacksquare LLR_{a_3}(y, x))$$

$$LLR_{c_2}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) + LLR_{a_2}(y, x)) \blacksquare (LLR_{a_1}(y, x) + LLR_{a_3}(y, x))$$

$$LLR_{c_3}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) + LLR_{a_2}(y, x)) + (LLR_{a_1}(y, x) + LLR_{a_3}(y, x))$$

需要补充的是，上述仅是以 ASK16 为例说明。而在其他场景，比如 ASK4 或 ASK8 中，同样可以根据第一比特位的 LLR 的表达式，确定第二比特位的 LLR 的表达式。

比如在 ASK8 中：

$$LLR_{c_0}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) \blacksquare LLR_{a_2}(y, x)) \blacksquare (LLR_{a_1}(y, x))$$

$$LLR_{c_1}(y, x) = (LLR_{a_0}(y, x) \blacksquare LLR_{a_2}(y, x)) + (LLR_{a_1}(y, x))$$

$$\text{LLR}_{c_2}(y, x) = (\text{LLR}_{a_0}(y, x) + \text{LLR}_{a_2}(y, x))$$

还需要补充的是, 在 ASK16 或 ASK8 中, 第一比特位的 LLR 均经需两层译码得到第二比特位的 LLR。而在 ASK4 中, 第一比特位的 LLR 仅需要经一层译码即可以得到第二比特位的 LLR。也即本申请中, 由第一比特位的 LLR 译码至第二比特位的 LLR 的译码层数(可称为第一译码层数), 可与预设调制阶数相关。示例性的, 第一译码层数 =  $\log_2(B_{\max})$ , 比如预设调制阶数是 4, 第一译码层数是 2; 预设调制阶数是 2, 第一译码层数是 1 等。

本申请中, 接收端可以确定出  $N_{\max}$  个第二比特位的 LLR 的表达式, 即  $N_{\max}$  个第二比特位的 LLR 关于  $(y, x)$  的表达式。图 4 例子中, 预设符号数  $S_{\max}$  为 4, 预设调制阶数  $B_{\max}$  为 4, 即接收端接收到的比特序列中包括 16 个第二比特位。相应的, 接收端可以根据 16 个  $(y, x)$  组合, 得到的 16 个第二比特位的 LLR 关于  $(y, x)$  的表达式。

步骤 604, 根据第二比特位的 LLR 的表达式, 确定第二比特位的 LLR 分布。

第二比特位的 LLR 分布可基于如下表达式得到:

$$f_c(\text{LLR} = L) = \int_{\text{LLR}_c(y, x)=L} f(y, x)$$

其中,  $f_c(\text{LLR} = L)$  即第二比特位的 LLR 分布。如此, 第二比特位的 LLR 分布是与第二比特位的 LLR 有关的分布函数。本申请中, 可以获得  $N_{\max}$  个第二比特位的 LLR 分布。

步骤 605, 根据第二比特位的 LLR 分布, 确定第三比特位的 LLR 分布。

其中, 第三比特位为译码过程中的最终比特位(相当于发送端的待编码比特位), 该多个第三比特位可用于接收端确定发送端实际发送的信息比特。比如图 4 示例性示出的 ASK16 中, 最后一层即为译码得到的最终比特, 其中包括 16 个第三比特。

针对于一个共色方块, 可以基于共色方块中的两个输入比特位的 LLR 分布, 确定该共色方块中的两个输出比特位的 LLR 分布。仍以图 4 解释, 可以根据  $c_0$ 、 $c_4$  的 LLR 分布, 确定  $d_0$ 、 $d_4$  的 LLR 分布。具体可参加下述关系式:

$$\begin{aligned} f_{d_0}(\text{LLR} = L) &= \int_{L=L_0 \square L_4} f_{c_0}(L_0) \times f_{c_4}(L_4) \\ f_{d_4}(\text{LLR} = L) &= \int_{L=L_0 + L_4} f_{c_0}(L_0) \times f_{c_4}(L_4) \end{aligned}$$

其中,  $f_{c_0}(L)$  和  $f_{c_4}(L)$  分别是  $c_0$ 、 $c_4$  的 LLR 分布,  $f_{d_0}(L)$  和  $f_{d_4}(L)$  分别是  $d_0$ 、 $d_4$  的 LLR 分布。

如此, 可以根据译码过程中的第三层各比特位的 LLR 分布, 得到译码过程中的第四层各比特位的 LLR 分布。进而基于译码过程中的第四层各比特位的 LLR 分布, 确定译码过程中的第五层各比特位的 LLR 分布, 依此类推, 得到译码过程中最后一层各比特位的 LLR 分布(也即各第三比特位的 LLR 分布)。

本申请中, 可以获得  $N_{\max}$  个第三比特位的 LLR 分布。

需要补充的是, 在译码过程中, 根据第二比特位的 LLR 分布确定第三比特位的 LLR 分布, 该译码层数与预设符号数  $S_{\max}$  相关联。也即, 第二比特位译码至第三比特位的译码层数(可称为第二译码层数)可与预设符号数  $S_{\max}$  相关。示例性的, 第二译码层数 =  $\log_2(S_{\max})$ , 比如预设符号数是 4, 第二译码层数是 2; 预设符号数是 8, 第二译码层数是 3。

步骤 606, 根据第三比特位的 LLR 分布, 确定可靠度序列。

可针对于 Nmax 个第三比特位中的每个第三比特位执行: 将第三比特位的 LLR 分布中, LLR>0 的部分做积分, 得到第三比特位译码的正确率。

可选的, 第三比特位译码的正确率可参见关系式  $P_u = \int_{L>0} f_u(L)$  得到, 其中, u 表示第三比特位,  $f_u(L)$  表示第三比特位的 LLR 分布,  $P_u$  表示第三比特位译码的正确率。

在确定出第三比特位的正确率之后, 可以根据第三比特位的正确率确定第三比特位的可靠度。示例性的, 可以将第三比特位的正确率作为第三比特位的可靠度。然后根据 Nmax 个第三比特位的可靠度, 确定可靠度序列。在确定可靠度序列中, 具体可以是根据 Nmax 个第三比特位分别对应的可靠度, 对 Nmax 个第三比特位进行排序, 得到可靠度序列。

结合图 6 示例示出的确定可靠度序列的方法, 本申请可以把比特位对应的联合概率密度函数  $f(y, x)$  转化成一个离散的概率分布, 用概率分布求和的方式来完成实际的操作。为方便说明, 仍结合图 4 示例性示出的 ASK16 举例说明。

第 1 步, 可将接收符号进行离散化处理, 得到离散化取值  $\hat{y}$ , 其中,  $\hat{y}$  有  $2n+1$  项, 表示为  $[\hat{y}_{-n}, \hat{y}_{-(n-1)}, \dots, \hat{y}_{-1}, \hat{y}_0, \hat{y}_1, \dots, \hat{y}_{(n-1)}, \hat{y}_n]$ ,  $n$  为正整数。进一步的,

然后将概率密度函数  $f(y, x)$  转化成一个离散的概率分布  $P(\hat{y}_i, x) = P(x) \times \int_{\hat{y}_a}^{\hat{y}_b} X(x, \sigma^2)$ , 其中,  $x_0, x_1, \dots, x_{\max-1}$  是发送符号的值的取值范围,

$\hat{y}_a = \begin{cases} -\infty, & i = -n \\ z \times (i - 0.5), & \text{其它} \end{cases}$ ,  $\hat{y}_b = \begin{cases} +\infty, & i = n \\ z \times (i + 0.5), & \text{其它} \end{cases}$ ,  $P(x)$  是发送符号等于  $x_0, x_1, \dots, x_{\max-1}$  的先验概率。

第 2 步, 根据接收符号  $\hat{y}$  确定似然概率  $P(\hat{y}|\tilde{x})$ , 根据似然概率  $P(\hat{y}|\tilde{x})$  和先验概率  $P(\tilde{x})$ , 确定接收符号  $\hat{y}$  中第一比特位的 LLR 的表达式。

第 k 个第一比特位的 LLR 可表达为:  $LLR_k(\hat{y}, x) = \log \frac{\sum_{b_k=\tilde{b}_k} P(\hat{y}|\tilde{x}) \times P(\tilde{x})}{\sum_{b_k' \neq \tilde{b}_k} P(\hat{y}|\tilde{x}) \times P(\tilde{x})}$ , 其中, k 取值为 0、1、2、3 中的一个;  $b_k$  为 x 中第 k 个第一比特位的取值;  $\tilde{b}_k$  为  $\tilde{x}$  中第 k 个第一比特位的取值。为方便计算, 可将上述  $LLR_k(\hat{y}, x)$  的表达式简化为:

$$LLR_k(\hat{y}, x) = \max_{b_k=\tilde{b}_k} (P(\hat{y}|\tilde{x}) \times P(\tilde{x})) - \max_{b_k' \neq \tilde{b}_k} (P(\hat{y}|\tilde{x}) \times P(\tilde{x}))$$

其中 max 运算表示取最大值。

相应的, 接收端可以根据 16 个  $(y, x)$  组合, 得到 16 个第一比特位的 LLR 关于  $(y, x)$  的表达式。

第 3 步, 根据接收符号  $\hat{y}$  中第一比特位的 LLR 的表达式, 确定第二比特位的 LLR 的表达式。其中包括:

根据  $a_0, a_1, a_2, a_3$  的 LLR 的表达式, 得到  $c_0, c_1, c_2, c_3$  的 LLR 的表达式为:

$$\begin{aligned} LLR_{c_0}(\hat{y}, x) &= (LLR_{a_0}(\hat{y}, x) \blacksquare LLR_{a_2}(\hat{y}, x)) \blacksquare (LLR_{a_1}(\hat{y}, x) \blacksquare LLR_{a_3}(\hat{y}, x)) \\ LLR_{c_1}(\hat{y}, x) &= (LLR_{a_0}(\hat{y}, x) \blacksquare LLR_{a_2}(\hat{y}, x)) + (LLR_{a_1}(\hat{y}, x) \blacksquare LLR_{a_3}(\hat{y}, x)) \\ LLR_{c_2}(\hat{y}, x) &= (LLR_{a_0}(\hat{y}, x) + LLR_{a_2}(\hat{y}, x)) \blacksquare (LLR_{a_1}(\hat{y}, x) + LLR_{a_3}(\hat{y}, x)) \\ LLR_{c_3}(\hat{y}, x) &= (LLR_{a_0}(\hat{y}, x) + LLR_{a_2}(\hat{y}, x)) + (LLR_{a_1}(\hat{y}, x) + LLR_{a_3}(\hat{y}, x)) \end{aligned}$$

其中,  $\blacksquare$  表示 boxplus 运算, 和高斯近似一致的是, 此时 LLR 表征为译码正确和错误, 因此 G 函数简化为加法。为简化运算, boxplus 也可以由表达式  $a \blacksquare b = (1 - 2^{\text{sign}(a)\text{sign}(b)}) \times \min(|a|, |b|)$  取代, 该表达式中 sign 表示取符号运算, 正数输出 0, 负数输出 1。abs 表示取绝对值运算, min 表示取最小值。

5

第 4 步, 根据第二比特位的 LLR 的表达式, 确定第二比特位的 LLR 分布。

具体的, 对于任一个第二比特位的 LLR 分布, 可表示为  $P_c(\text{LLR} = \hat{L}) = \sum_{\text{LLR}_c(\hat{y}_i, x) = L} P(\hat{y}_i, x)$ ,  $\hat{L}$  是 LLR 的离散化取值,  $\hat{L}$  有  $2m+1$  项, 表示为  $[\hat{L}_{-m}, \hat{L}_{-(m-1)}, \dots, \hat{L}_{-1}, \hat{L}_0, \hat{L}_1, \dots, \hat{L}_{(m-1)}, \hat{L}_m]$ ,  $m$  为正整数。其中,  $\hat{L}_i = i \times z$ ,  $i \in [-m, -(m-1), \dots, -1, 0, 1, \dots, m-1, m]$ 。

10

第 5 步, 根据第二比特位的 LLR 分布, 确定第三比特位的 LLR 分布。

其中, 可对共色方块内的基本做密度进化, 获取到输入  $P_{c_0}(\hat{L})$  和  $P_{c_4}(\hat{L})$  的分布下, 输出  $P_{d_0}(\hat{L})$  和  $P_{d_4}(\hat{L})$  的分布, 表达式为:

$$P_{d_0}(\text{LLR} = \hat{L}) = \sum_{\hat{L} = f(\hat{L}_i, \hat{L}_j)} P_{c_0}(\hat{L}_i) \times P_{c_4}(\hat{L}_j)$$

$$P_{d_4}(\text{LLR} = \hat{L}) = \sum_{\hat{L} = \hat{L}_i + \hat{L}_j} P_{c_0}(\hat{L}_i) \times P_{c_4}(\hat{L}_j)$$

15

其中,  $f(\hat{L}_i, \hat{L}_j) \triangleq (1 - 2^{\text{sign}(\hat{L}_i) \wedge \text{sign}(\hat{L}_j)}) \times \min(|\hat{L}_i|, |\hat{L}_j|)$ 。

第 6 步, 根据第三比特位的 LLR 分布, 确定可靠度序列。

具体的, 可参照关系式  $P_u = \sum P_u(\hat{L} > 0) + 0.5 \times P_u(\hat{L} = 0)$ , 确定各第三比特位的正确率。根据各第三比特位的正确率确定各第三比特位的可靠度。根据各第三比特位的可靠度, 确定可靠度序列。此处, 可靠度序列中可以包括按照可靠度排序的 16 个第三比特位。

20

本申请中, 第三比特位又可称为是极化子信道, 极化子信道用于在 Polar 编码中映射待编码比特, 可以将极化子信道简称为子信道。在一种可能的实现方式中, 子信道的个数可以是  $N_{\max}$  (即  $S_{\max} \times B_{\max}$ ),  $N_{\max}$  个子信道可组成编码序列, 该编码序列中每个子信道按照其所在的位置对应应有各自的序号。示例性的, 预设符号数  $S_{\max}=16$ , 即编码序列中包括 16 个符号, 16 个符号可表示为符号 0 至符号 15。预设调制阶数  $B_{\max}=4$ , 即每个符号对应于 4 个比特位。子信道个数  $N_{\max}$  为  $16 \times 4=64$ , 64 个子信道可表示为子信道 0 至子信道 63。示例性的, 编码序列可参照图 7a, 其中, 子信道 0、子信道 16、子信道 32、子信道 48 可对应于符号 0, 子信道 1、子信道 17、子信道 33、子信道 49 可对应于符号 1 等。

25

又或者, 可以用子信道所在的符号序号和符号内该子信道的序号, 来表征该子信道在编码序列中的位置。比如, 子信道 (0, 0) 表征该子信道是符号 0 中的子信道 0, 即第一个符号中的第一个子信道。再比如, 子信道 (0, 1) 表征该子信道是符号 0 中的子信道 1, 即第一个符号中的第二个子信道。再比如, 子信道 (1, 0) 表征该子信道是符号 1 中的子信道 0, 即第二个符号中的第一个子信道。再比如, 子信道 (1, 1) 表征该子信道是符号

30

35

1 中的子信道 1, 即第二个符号中的第二个子信道, 等等。

如下为方便描述, 均以子信道序号来表征子信道在编码序列中的位置, 来举例说明。

可以根据  $N_{\max}$  个子信道的可靠度, 对  $N_{\max}$  个子信道从高到低排序, 得到可靠度序列。该可靠度序列可以按照能量等级划分为  $B_{\max}$  个子序列, 其中每个子序列对应于一个能量等级。进一步的, 每个子序列中包括  $S_{\max}$  个子信道。

如图 7b 为本申请示例性示出的可靠度序列的示意图, 该可靠度序列与图 7a 示例性示出的编码序列相对应。该可靠度序列中, 由上往下各子信道的可靠度逐渐增高, 由左往右各子信道的可靠度逐渐增高, 比如子信道 62 的可靠度大于子信道 56 的可靠度, 子信道 62 的可靠度大于子信道 61 的可靠度。

进一步的, 可靠度序列中可包括 4 个子序列, 每个子序列对应于一个能量等级。比如 4 个子序列表示为子序列 0、子序列 1、子序列 2、子序列 3, 分别对应于能量等级 0、能量等级 1、能量等级 2 和能量等级 3。能量等级由低到高的排序为能量等级 0、能量等级 1、能量等级 2 和能量等级 3。每个子序列中包括 16 个子信道, 其中, 子序列 0 中可包括图案 1 对应的 16 个子信道, 子序列 1 中可包括图案 2 对应的 16 个子信道, 子序列 2 中可包括图案 3 对应的 16 个子信道, 子序列 3 中可包括图案 4 对应的 16 个子信道。

此处, 需要补充的是, 如图 7b 中, 子序列 0 中包括的 16 个子信道即子信道 0 至子信道 15, 对应于图 7a 中第一行的子信道, 也可以理解, 图 7a 中第一行包括的子信道组成子序列 0。同理, 图 7a 中第二行包括的子信道组成子序列 1, 第三行包括的子信道组成子序列 2, 第四行包括的子信道组成子序列 3。

基于已经构建好的可靠度序列, 在发送端编码中, 发送端可以根据当前编码中的符号数、调制阶数, 结合可靠度序列中子信道的可靠度, 从编码序列确定出信息子信道和冻结比特位, 并根据该信息子信道和冻结比特位对待编码信息进行编码。

为了更好的解释本申请实施例, 先对本申请在编码过程中涉及到的比特序列和子信道解释说明。在本申请中, 发送端在需要向接收端发送  $K$  个信息比特时, 可以根据信息比特数  $K$  和码率  $R$  得到发送长度  $L$ , 其中发送长度  $L$  即发送端实际向接收端发送的比特数。

发送长度  $L$  对应有母码长度  $N$ , 母码长度  $N$  可能小于或等于最大母码长度  $N_{\max}$ , 最大母码长度  $N_{\max}$  可理解为可靠度序列中包括的子信道数。在这种情况下, 母码长度  $N$  与最大母码长度  $N_{\max}$  之间的区域即为不可选区域, 该不可选区域不能用于发送端确定信息子信道。也可以理解, 母码长度  $N$  对应的区域为可选区域, 最大母码长度  $N_{\max}$  对应的区域中除可选区域以外的区域为不可选区域。

进一步的, 母码长度  $N$  可以大于或等于发送长度  $L$ , 发送端可以通过速率匹配的方式将发送长度  $L$  与母码长度  $N$  进行匹配。在待编码侧, 发送端从可选区域中选择信息子信道时, 同时会选择缩短子信道或者打孔子信道, 该缩短子信道或者打孔子信道在待编码侧对应于预冻结子信道, 该缩短子信道或者打孔子信道在编码侧可被发送端删除。进一步的, 在待编码侧, 发送端从可选区域中排除缩短子信道或者打孔子信道之后, 可以得到候选区域, 发送端可从候选区域中选择信息子信道, 候选区域中除信息子信道以外的子信道可设置为冻结子信道, 该冻结子信道可用于放置冻结比特。

图 8 为本申请示例性提供的一种编码和译码的流程示意图:

步骤 801, 发送端获取信息比特数  $K$  和编码比特数  $L$ 。

发送端在需要发送信息比特序列时, 可以根据信息比特序列中包括的信息比特数  $K$  和码率  $R$ , 确定编码比特数  $L$ 。可选的, 编码比特数  $L = \text{信息比特数 } K / \text{码率 } R$ 。其中  $K$  和  $L$  均为正整数,  $R$  小于或等于 1。

5 步骤 802, 发送端根据编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ , 确定符号数  $S$ , 其中, 符号数  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ,  $S1 = L/B$ ,  $S2 = L/2B$ ,  $S1$ 、 $S2$  和  $B$  均为正整数。

本申请实施例可以适用于多种调制方式, 比如 PAM、QAM、ASK、PSK 等。

对于单路调制 (符号仅包括实部), 比如 PAM 或 ASK 来说, 发送端可以根据编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ , 确定符号数  $S1$ , 其中  $S1 = L/B$ 。

10 对于两路调制 (符号包括实部和虚部), 比如 QAM 或 PSK 来说, 发送端可以根据编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ , 确定符号数  $S2$ , 其中  $S2 = L/2B$ 。

步骤 803, 发送端根据符号数  $S$ 、能量等级数  $B$  和可靠度序列, 从编码序列中确定  $K$  个信息子信道。  $K$  个信息子信道即用于放置  $K$  个信息比特的子信道。

在一种可选实现方式中,  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的。具体的,  $K$  个信息子信道可以是按照各候选子信道的可靠度由高至低的排序, 从各候选子信道中选取  $K$  个信息子信道。进一步的, 候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道; 其中,  $i$  可以取遍 0 至  $B-1$  的整数, 也即, 能量等级 0 至能量等级  $B-1$  对应有  $B$  个子序列, 发送端可以从该  $B$  个子序列中的每个子序列中确定出  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道。

20 本申请中, 发送端可以根据符号数  $S$  确定符号母码长度  $S'$ , 以及根据能量等级数  $B$  (即符号内比特数  $B$ ) 确定符号内母码长度  $B'$ 。符号母码长度  $S'$  和符号内母码长度  $B'$  可用于确定出母码长度  $N$ 。可选的, 母码长度  $N$  为符号母码长度  $S'$  和符号内母码长度  $B'$  的乘积。

示例性的, 符号母码长度  $S'$  可以基于公式  $S' = 2^{\lceil \log_2(S) \rceil}$  得到。比如, 符号数  $S=14$ , 符号母码长度  $S' = 2^{\lceil \log_2(14) \rceil} = 16$ 。再比如, 符号数  $S=7$ , 符号母码长度  $S' = 2^{\lceil \log_2(7) \rceil} = 8$ 。  
25 符号内母码长度  $B'$  可以基于公式  $B' = 2^{\lceil \log_2(B) \rceil}$  得到。比如, 符号内比特数  $B=3$ , 符号内母码长度  $B' = 2^{\lceil \log_2(3) \rceil} = 4$ 。比如, 符号内比特数  $B=2$ , 符号内母码长度  $B' = 2^{\lceil \log_2(2) \rceil} = 2$ 。

在符号母码长度  $S'$  小于预设符号数  $S_{\max}$  时, 和/或, 符号内母码长度  $B'$  小于预设能量等级数  $B_{\max}$  时, 发送端可以设置预冻结子信道, 该预冻结子信道可以在编码和译码过程中被当做冻结比特处理。该预冻结子信道又可称为不可选子信道, 可以理解, 该预冻结子信道对应于编码序列中的不可选区域, 编码序列中不可选区域以外的区域即可选区域。

30 发送端确定预冻结子信道的实现方式可参见下述示例 1 至示例 3。

示例 1, 符号母码长度  $S'$  小于预设符号数  $S_{\max}$ , 发送端可以根据符号母码长度  $S'$  和预设符号数  $S_{\max}$ , 确定不可选子信道。参照图 7a 示例性示出的编码序列举例来说, 预设符号数  $S_{\max}=16$ , 假设符号母码长度  $S' = 8$ , 则发送端可以确定符号 8 至符号 15 对应的子信道均为不可选子信道。

示例 2, 符号内母码长度  $B'$  小于预设能量等级数  $B_{\max}$ , 发送端可以根据符号内母码长度  $B'$  和预设能量等级数  $B_{\max}$ , 确定不可选子信道。参照图 7a 示例性示出的编码序列举例来说, 预设能量等级数  $B_{\max}=4$ , 假设符号内母码长度  $B' = 2$ , 则发送端可以确定各符号中第 3 个子信道和第 4 个子信道均为不可选子信道。

40 示例 3, 符号母码长度  $S'$  小于预设符号数  $S_{\max}$ , 且符号内母码长度  $B'$  小于预设能量等

级数  $B_{\max}$ ，发送端可以根据符号母码长度  $S'$  和预设符号数  $S_{\max}$ ，以及根据符号内母码长度  $B'$  和预设能量等级数  $B_{\max}$ ，确定不可选子信道。参照图 7a 示例性示出的编码序列举例来说，预设符号数  $S_{\max}=16$ ，预设能量等级数  $B_{\max}=4$ ，假设符号母码长度  $S'=8$ ，符号内母码长度  $B'=2$ ，则发送端可以确定符号 8 至符号 15 对应的子信道，以及符号 0 至符号 7 中每个符号的第 3 个子信道和第 4 个子信道均为不可选子信道。

当然，在符号母码长度  $S'$  等于预设符号数  $S_{\max}$  时，以及符号内母码长度  $B'$  等于预设能量等级数  $B_{\max}$  的情况下，发送端可以无需执行确定可选区域的步骤（或者说发送端可以无需执行确定不可选区域的步骤）。

在一种可选实现方式中，在符号数  $S$  小于符号母码长度  $S'$ ，和/或，能量等级数  $B$  小于符号内母码长度  $B'$  的情况下，发送端可以根据符号数  $S$  和能量等级数  $B$  从可选区域中确定出预冻结子信道，该预冻结子信道即打孔子信道或者缩短子信道在待编码侧对应的子信道。发送端将该候选区域中的预冻结子信道排除之后，得到候选区域，该候选区域中包括多个候选子信道，发送端可以从多个候选子信道中获取信息子信道。具体采用哪种速率匹配方式不是本申请的保护范畴，因此，为了方便描述，本申请中可以以速率匹配为缩短时的缩短子信道确定方式为例说明，速率匹配为打孔时的打孔子信道确定方式与缩短子信道类似，不再赘述。

发送端确定缩短子信道对应的预冻结子信道的实现方式可参见下述示例 a 至示例 c。

示例 a，符号内比特数  $B$  小于符号内母码长度  $B'$ ，发送端可以根据符号内比特数  $B$  和符号内母码长度  $B'$ ，从可选区域中确定缩短子信道对应的预冻结子信道，该预冻结子信道可用于符号内速率匹配。比如 QAM64 中，一路信号（比如 I 路或 Q 路）中包含 3 个比特，即符号内比特数  $B=3$ ，符号内母码长度  $B'=4$ ，可以确定符号内的缩短子信道对应的预冻结子信道是第 4 个子信道。再比如，QAM1024 中，一路信号（比如 I 路或 Q 路）中包含 5 个比特，符号内比特数  $B=5$ ，符号内母码长度  $B'=8$ ，可以确定符号内的缩短子信道对应的预冻结子信道为第 4 个子信道、第 6 个子信道、第 8 个子信道。

示例 b，符号数  $S$  小于符号母码长度  $S'$ ，发送端可以根据符号数  $S$  和符号母码长度  $S'$ ，从可选区域中确定缩短子信道对应的预冻结子信道，该预冻结子信道可用于符号间速率匹配。比如符号数为 14，符号母码长度  $S'$  为 16，则可确定符号 0 至符号 15 中，符号 14 和符号 15 对应的子信道为缩短子信道对应的预冻结子信道。

示例 c，符号内比特数  $B$  小于符号内母码长度  $B'$ ，且符号数  $S$  小于符号母码长度  $S'$ ，发送端可以根据符号内比特数  $B$  和符号内母码长度  $B'$ ，以及根据符号数  $S$  和符号母码长度  $S'$ ，从可选区域中确定缩短子信道对应的预冻结子信道。举例来说，QAM64 中，符号内比特数  $B=3$ ，符号内母码长度  $B'=4$ ，符号数为 14，符号母码长度  $S'$  为 16，则可以确定符号 0 至符号 15 中，符号 14 和符号 15 对应的子信道，以及符号 0 至符号 13 中各符号中的第 4 个子信道为缩短子信道对应的预冻结子信道。本例子中，用于符号间速率匹配的预冻结子信道可表示为  $P_s=[14, 15]$ ，用于符号内速率匹配的预冻结子信道可表示为  $P_b=[3]$ 。

当然，在符号数  $S$  等于符号母码长度  $S'$  的情况下，以及在符号内比特数  $B$  等于符号内母码长度  $B'$  的情况下，发送端可以无需确定缩短子信道对应的预冻结子信道。

发送端在确定出缩短子信道以及各缩短子信道对应的预冻结子信道之后，可以将这些子信道从可选区域中排除，以得到候选区域。然后在候选区域的多个候选子信道中，基于

可靠度从高至低的排序,依次确定各候选子信道是否为预冻结子信道,若是,则略过,若不是,则确定为信息子信道。

一种可能方式中,发送端若确定某个子信道的序号满足公式 $\frac{x}{s} \in P_b$ ,或者满足公式 $\text{mod}(x, s') \in P_s$ ,则确定该子信道为预冻结子信道。

5 结合图 7b 示例性示出的可靠度序列,假设发送端需要发送的信息比特数  $K=21$ ,码率  $R=0.5$ ,调制阶数  $B=3$ ,符号数  $S=14$ ,则发送端需要根据可靠度序列从编码序列中确定出 21 个信息子信道。在该例子中,符号数  $S=14$ ,则符号 14 和符号 15 对应的子信道为预冻结子信道,而调制阶数  $B=3$ ,则图 7b 中图案 4 对应的子信道(或者说,符号 0 至符号 13 各符号中的第 4 个子信道)为预冻结子信道。示例性的,发送端可以根据可靠度由高至低的排序,确定第 1 个子信道(即子信道 63)至第 9 个子信道(即子信道 54)为预冻结子信道,第 10 个子信道(即子信道 47)为信息子信道,第 11 个子信道(即子信道 53)为预冻结子信道,以此类推,直至确定出 21 个信息子信道。然后将剩余的子信道作为冻结子信道。构造出的信息子信道和冻结子信道的位置可参见图 9 所示,其中,图案一表示缩短子信道对应的预冻结子信道。图案二表示信息子信道,用于承载待编码的比特序列中的 15 21 个比特。图案三表示冻结子信道,示例性的,各冻结子信道的值可设置为 0。

在另一种可能的方式中,发送端可以将上述确定出的预冻结子信道从编码序列中排除之后,得到  $L$  个候选子信道。或者也可以理解,发送端根据符号数  $S$  和能量等级数  $B$ ,从编码序列中确定出  $L$  个候选子信道。当调制方式为单路调制时,该  $L$  个候选子信道即  $S \times B$  个子信道。当调制方式为两路调制时,该  $L$  个候选子信道即  $2 \times S \times B$  个子信道。随后,发送端可以根据每个候选子信道的可靠度,按照可靠度由高至低的排序,从该  $L$  个候选子信道中确定出  $K$  个信息子信道,该  $K$  个信息子信道可用于承载  $K$  个信息比特。该  $L$  个候选子信道中剩余的  $(L-K)$  个子信道可用于承载  $(L-K)$  个冻结比特。进一步的,可将该  $(L-K)$  个子信道以及上述确定出的预冻结子信道作为冻结子信道。

25 结合图 7b 示例性示出的可靠度序列解释说明,假设发送端需要发送的信息比特数  $K=21$ ,码率  $R=0.5$ ,调制阶数  $B=3$ ,符号数  $S=14$ ,编码比特数  $L=\text{信息比特数 } K/\text{码率 } R=42$ 。发送端可以从编码序列中确定子序列 0、子序列 1 和子序列 2,并分别从子序列 0、子序列 1 和子序列 2 中的每个子序列中确定 14 个子信道。示例性的,发送端可以确定子序列 0、子序列 1 和子序列 2 的每个子序列中的子信道 0 至子信道 13 作为候选子信道,从而得到 30 42 个候选子信道,然后按照候选子信道的可靠度从高到低的顺序,从 42 个候选子信道中确定出 21 个信息子信道,该 21 个信息子信道用于承载 21 个信息比特,剩余的 21 个候选子信道可用于承载 21 个冻结比特。

步骤 804,发送端根据  $K$  个信息子信道,对  $K$  个信息比特进行编码并输出。

35 发送端可以将  $K$  个信息比特分别放置于  $K$  个信息子信道中,  $(L-K)$  个冻结子信道以及预冻结子信道均设置为 0,得到长度为  $N$  (符号母码长度  $S' \times$  符号内母码长度  $B'$ ) 的待编码的比特序列。编码过程可参见图 3 的从左往右的过程,或者参见图 4 的从下往上的过程。该编码可以是采用现有 Polar 码的编码方案,不再赘述。

步骤 805, 发送端将输出的比特序列进行速率匹配和调制, 得到 S 个待发送符号。

发送端在输出编码后的比特序列之后, 可以将该输出的编码后的比特序列进行速率匹配, 其中速率匹配可以是不发送缩短子信道对应的比特。以图 9 对应的实施例说明, 图案一对应的子信道均为缩短子信道, 发送端在进行速率匹配时, 可以不发送这些子信道对应的比特。发送端执行速率匹配之后得到的比特序列可称为待调制的比特序列, 发送端可以对待调制的比特序列进行调制, 得到待发送的符号 (可称为待发送符号)。此外, 本申请不排除发送端无需对编码后的比特序列执行速率匹配的情况, 此时, 发送端将编码后的比特序列作为待调制的比特序列, 调制成待发送符号。

本申请中, 待调制的比特序列可以对应于 B 个子序列, 每个子序列中包括的 S 个子信道分别对应于 S 个比特。在待调制的比特序列中, 按照能量等级从低到高的排序, 从每个子序列对应的比特中依次选取一个比特映射至一个待发送符号中, 即映射得到 S 个待发送符号。一种可能的实现方式中, 发送端可以将待调制的比特序列映射成 S 个待发送符号。示例性的, 可以将待调制的比特序列中, 第  $(j_1 \times B + j_2)$  个比特映射至第  $j_1$  个待发送符号中的第  $j_2$  个比特, 其中  $j_1$  为小于 S 的正整数,  $j_2$  为小于 B 的正整数。

参照图 9 举例来说,  $S=14$ ,  $B=3$ , 待调制的比特序列中包括  $14 \times 3=42$  个比特, 发送端可以将该 42 个比特映射至 14 个待发送符号中。具体的, 可以按照能量等级从低到高的排序, 将子信道 0、子信道 16、子信道 32 分别对应的比特 0、比特 16、比特 32 映射至符号 0 中; 将子信道 1、子信道 17、子信道 33 分别对应的比特 1、比特 17、比特 33 映射至符号 1 中, 以此类推, 将待调制的 42 个比特映射至 14 个待发送符号中。

可选的, 在经调制得到 S 个待发送符号之后, 可以将 S 个待发送符号进行符号级的交织处理。比如, 发送端将比特序列调制成 14 个待发送符号 (表示为符号 0 至符号 13), 发送端向接收端发送符号的顺序可以是: 符号 0、符号 7、符号 1、符号 8、符号 2、符号 9、符号 3、符号 10、符号 4、符号 11、符号 5、符号 12、符号 6、符号 13。从而有助于提高待发送符号在发送过程中应对突发连续噪音的抗干扰性。

本申请中, 不仅可以在调制之后, 对 S 个待发送符号进行交织处理, 还可以在调制之前, 对比特序列进行交织处理。为保障具有相关性的比特仍映射至同一个待发送符号中, 在对比特序列进行交织处理时, 可以是每个子序列内部的子信道所对应的比特采用相同的交织序列。比如图 9 中, 子序列 0 中包括子信道 0 至子信道 13, 并分别对应于比特 0 至比特 13; 子序列 1 中包括子信道 16 至子信道 29, 并分别对应于比特 16 至比特 29; 子序列 2 中包括子信道 32 至子信道 45, 并分别对应于比特 32 至比特 45。比如在子序列 0 对应的 14 个比特的交织中, 交织之后的比特的顺序可以是: 比特 0、比特 7、比特 1、比特 8、比特 2、比特 9、比特 3、比特 10、比特 4、比特 11、比特 5、比特 12、比特 6、比特 13。相应的, 子序列 1 和子序列 2 执行相同的交织, 比如在子序列 1 对应的 14 个比特的交织中, 交织之后的比特的顺序可以是: 比特 16、比特 23、比特 17、比特 24、比特 18、比特 25、比特 19、比特 26、比特 20、比特 27、比特 21、比特 28、比特 22、比特 29。

本申请中, 不同子序列对应于不同的能量等级, 在将多个比特映射至同一个符号时, 该同一个符号中的多个比特的能量等级具有高低排序。

以 ASK 为例解释, 在能量等级数为 2 时, 可以将两个比特映射到 ASK4 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0 和能量等级 1; 在能量等级数为 3 时, 可以将三个比特映射到 ASK8 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1 和能量等级 2;

在能量等级数为 4 时, 可以将四个比特映射到 ASK16 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1、能量等级 2 和能量等级 3。

再以 QAM 为例解释, 在能量等级数为 2 时, 可以将两个比特映射到 QAM16 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0 和能量等级 1; 在能量等级数为 3 时, 可以将三个比特映射到 QAM64 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1 和能量等级 2; 在能量等级数为 4 时, 可以将四个比特映射到 QAM256 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1、能量等级 2 和能量等级 3。

其中, 能量等级 0、能量等级 1、能量等级 2 和能量等级 3 对应的能量由低至高。

此外, 在能量等级数为 4 时, 比如在 ASK16 或者 QAM256 中, 可以将能量等级 2 对应的子序列中的比特和能量等级 3 对应的子序列中的比特调换映射顺序。比如将四个比特映射到 ASK16 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1、能量等级 3 和能量等级 2。再比如将四个比特映射到 QAM256 的星座上, 对应的能量等级分别是能量等级 0、能量等级 1、能量等级 3 和能量等级 2。通过该方式, 可有助于提高符号在信道中的传输性能。

步骤 806, 发送端向接收端发送 S 个符号。接收端接收来自发送端的该 S 个符号。

步骤 807, 接收端根据符号数 S、能量等级 B、可靠度序列和编码序列, 对 S 个符号解调和译码得到 L 个比特, L 个比特中包括 K 个信息比特。

本申请中, 接收端和发送端可以预先约定能量等级、可靠度序列和编码序列等, 从而接收端在接收到来自发送端的该 S 个符号之后, 可以根据预先约定的能量等级、可靠度序列和编码序列等, 来解调和译码。具体的, 接收端可以根据符号数 S、能量等级 B, 对 S 个符号进行解调处理, 得到解调之后的 L 个 LLR, L 个 LLR 对应于 L 个待译码比特, 示例性的, 在 LLR 大于 0 时, 该 LLR 对应的待译码比特取值为 1, 在 LLR 小于 0 时, 该 LLR 对应的待译码比特取值为 0。接收端然后根据符号数 S、可靠度序列和编码序列, 确定出 K 个信息子信道, 该 K 个信息子信道在 L 个待译码比特中对应于 K 个信息比特。从而接收端可得到发送端实际向接收端发送的信息。本申请中, 接收端确定 K 个信息子信道的方式, 可参见步骤 803 中发送端确定 K 个信息子信道的方式, 不再赘述。

在接收端解调过程中, 接收端可以将 S 个符号中每个符号包括的 B 个比特, 依次映射至能量等级从低到高排序的 B 个子序列中。比如图 9 中例子, S=14, B=3, 将符号 0 中包括的比特 0、比特 16、比特 32, 分别映射至子序列 0、序列 1、序列 2 的第一个子信道中, 将符号 1 中包括的比特 1、比特 17、比特 33, 分别映射至子序列 0、序列 1、序列 2 的第二个子信道中, 依此类推, 得到序列 0、序列 1、序列 2, 每个序列中包括的 14 个子信道分别对应 14 个比特, 比如序列 0 中包括的 14 个子信道分别对应于比特 0 至比特 13。

需要说明的是, 在能量等级数为 4 时, 比如在 ASK16 或者 QAM256 中, 可能存在发送端在映射时调换了能量等级 2 对应的子序列和能量等级 3 对应的子序列之间的顺序。相应的, 接收端在解调时, 也需要调换符号中两个比特之间的映射顺序, 将符号中第三个比特映射至能量等级 3 对应的子序列中, 以及将符号中第四个比特映射至能量等级 2 对应的子序列中, 从而接收端可以解调出正确的比特序列。

还需要说明的是, 若发送端是对 S 个符号进行交织, 则接收端可以在接收到该 S 个符号之后, 先对该 S 个符号执行解交织, 然后再对 S 个符号进行解调和译码。若发送端是对

符号中的比特进行交织, 则接收端可以在对 S 个符号解调之后, 对符号中的比特进行解交织, 然后再执行译码。

5 如图 10 为本申请示例性提供的一种发送端发送符号的流程示意图: 发送端确定符号数和调制阶数; 发送端根据符号数、调制阶数, 从编码序列中确定预冻结子信道; 然后发送端从编码序列中排除掉预冻结子信道, 根据可靠度序列从剩余的子信道中确定信息子信道和冻结子信道。发送端根据确定出的信息子信道和冻结子信道, 以及待发送的信息比特, 进行码构造得到待编码的比特序列。发送端将待编码的比特序列进行 Polar 码编码, 得到编码后的比特序列。发送端随后根据预冻结子信道, 对编码后的比特序列执行速率匹配。  
10 发送端根据映射图样, 确定速率匹配之后的比特序列中各比特与符号之间的映射关系。发送端根据各比特与符号之间的映射关系, 将比特序列高阶调制至多个待发送符号中。发送端对多个待发送符号执行符号交织, 然后经信道向接收端发送交织之后的多个符号。

15 本申请实施例中, 发送端可以根据待发送信息的信息比特数、信息比特数对应的编码比特数和可靠度序列, 从编码序列中确定出信息子信道和冻结子信道, 根据信息子信道和冻结子信道, 对信息比特进行编码。该方式中, 可靠度序列是基于同一个符号中比特的相关性构造的, 而且在构造过程中还考虑了同一个符号中不同比特之间的能量等级不同, 根据该可靠度序列确定的信息子信道对信息比特进行编码, 可以得到与高阶调制较为匹配的比特序列。相应的, 接收端接收到符号之后, 也可以根据该可靠度序列确定信息子信道, 译码出较为准确的信息比特。无需改变编码器和译码器的设计, 有助于节约成本。  
20

进一步的, 可靠度序列可以是双重嵌套结构, 即由预设符号数和预设能量等级数共同对应的子信道所组成的序列。该可靠度序列可适用于不同的符号数或者不同的能量等级, 发送端可以根据待发送的信息比特对应的符号数和能量等级, 以及可靠度序列, 确定出候选子信道, 然后从候选子信道中确定出信息子信道和冻结子信道。示例性的, 不同能量等级对应的调制, 比如 ASK4、ASK8 和 ASK16 均可以对应于同一个可靠度序列, 而无需为每个能量等级数对应的调制设置不同的可靠度序列, 有助于节约成本。  
25

本申请提供一种新的构造信息子信道的方法, 可以称为是基于比特相关性的 Polar 码构造方法, 英文可表示为 correlation aware Polar, 英文简称可表示为 CAP。

30 本申请针对不同调制阶数以及不同的比特序列长度, 对比 CAP 与现有构造方式的性能可知, CAP 在不改变编码器和译码器的情况下, 可获得 1dB~1.5dB 的增益。

如下示例性提供多个性能评估中内的对比图:

性能评估一: 在 QAM16、N=1024 的情况下, CAP 与 BICM 的对比可参照图 11a 所示。在 QAM16、N=4096 的情况下, CAP 与 BICM 的对比可参照图 11b 所示。

35 性能评估二: 在 QAM256、N=1024 的情况下, CAP 与 BICM 的对比可参照图 12a 所示。在 QAM256、N=4096 的情况下, CAP 与 BICM 的对比可参照图 12b 所示。

性能评估三: 在 QAM256、N=1024 的情况下, CAP 与多级编码调制 (multilevel coded modulation, MLC) 的对比可参照图 13 所示。

40 基于上述内容和相同构思, 图 14 和图 15 为本申请提供的可能的通信装置的结构示意图。这些通信装置可以用于实现上述方法实施例中发送端或接收端的功能, 因此也能实现

上述方法实施例所具备的有益效果。在本申请中，该通信装置可以是如图 1 所示的发送端 101，也可以是如图 1 所示的接收端 102。

在通信装置为发送端时，包括：输入输出单元 1401 和处理单元 1402。

在一种可能的实现方式中，输入输出单元 1401，用于获取信息比特数  $K$  和编码比特数  $L$ ；处理单元 1402，用于根据所述编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ ，确定符号数  $S$ ， $S$  为  $S1$  或  $S2$ ， $S1=L/B$ ， $S2=L/2B$ ；所述处理单元 1402，还用于根据所述符号数  $S$ 、所述能量等级数  $B$  和可靠度序列，从编码序列中确定  $K$  个信息子信道；所述处理单元 1402，还用于根据所述  $K$  个信息子信道，对  $K$  个信息比特进行编码并输出比特序列；其中，所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列，所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应；所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的，所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道； $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数， $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ， $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ， $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

在一种可能的实现方式中，所述  $K$  个信息子信道为：所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

在一种可能的实现方式中，所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内码长度确定的。

在一种可能的实现方式中，所述处理单元 1402 在根据所述  $K$  个信息子信道，对  $K$  个信息比特进行编码并输出之后，还用于：将输出的所述比特序列进行速率匹配和调制，得到  $S$  个待发送符号；对所述  $S$  个待发送符号进行交织处理。

在一种可能的实现方式中，所述处理单元 1402 具体用于：按照能量等级从低到高的排序，在所述  $B$  个子序列的每个子序列中，依次选取一个比特映射至一个待发送符号中。

在一种可能的实现方式中，对于 QAM256，所述处理单元 1402 还用于：对能量等级从低到高的排序中的、第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特交换映射次序。

在一种可能的实现方式中，所述编码为极化 Polar 码编码。

在通信装置为接收端时，包括：输入输出单元 1401 和处理单元 1402。

在一种可能的实现方式中，输入输出单元 1401，用于接收  $S$  个符号，其中符号数  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ；处理单元 1402，用于根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列，对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特，所述  $L$  个比特中包括  $K$  个信息比特， $L=S1 \times B$ ，或  $L=2 \times S2 \times B$ ；其中，所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列，所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应；所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的，所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道； $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数， $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ， $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ， $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。

在一种可能的实现方式中，所述  $K$  个信息子信道为：所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

在一种可能的实现方式中,所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数 B 和所述能量等级数 B 对应的符号内母码长度确定的。

在一种可能的实现方式中,所述处理单元 1402 根据所述符号数 S、能量等级 B、可靠度序列和编码序列,对所述 S 个符号解调和译码得到 L 个比特之前,还用于:对所述 S 个符号进行解交织处理。

在一种可能的实现方式中,所述处理单元 1402 具体用于:将所述 S 个符号中的每个符号包括的 B 个比特,依次映射至能量等级从低到高排序的 B 个子序列中。

在一种可能的实现方式中,对于 QAM256,所述处理单元 1402 还用于:对所述 S 个符号中的每个符号包括的第三个比特和第四个比特交换映射次序。

在一种可能的实现方式中,所述编码为极化 Polar 码译码。

此外,如图 15 所示,为本申请还提供的一种通信装置 1500。示例性地,通信装置 1500 可以是芯片或芯片系统。可选的,在本申请实施例中芯片系统可以由芯片构成,也可以包含芯片和其他分立器件。

通信装置 1500 可以包括至少一个处理器 1510,通信装置 1500 还可以包括至少一个存储器 1520,用于存储计算机程序、程序指令和/或数据。存储器 1520 和处理器 1510 耦合。本申请实施例中的耦合是装置、单元或模块之间的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其它的形式,用于装置、单元或模块之间的信息交互。处理器 1510 可能和存储器 1520 协同操作。处理器 1510 可能执行存储器 1520 中存储的计算机程序。可选的,所述至少一个存储器 1520 也可与处理器 1510 集成在一起。

通信装置 1500 中还可以包括收发器 1530,通信装置 1500 可以通过收发器 1530 和其它设备进行信息交互。收发器 1530 可以是电路、总线、收发器或者其它任意可以用于进行信互的装置。

在一种可能的实施方式中,该通信装置 1500 可以是前述的发送端或者接收端。存储器 1520 保存实施上述任一实施例中的功能的必要计算机程序、程序指令和/或数据。所述处理器 1510 可执行所述存储器 1520 存储的计算机程序,完成上述任一实施例中的方法。

本申请实施例中不限定上述收发器 1530、处理器 1510 以及存储器 1520 之间的具体连接介质。本申请实施例在图 15 中以存储器 1520、处理器 1510 以及收发器 1530 之间通过总线连接,总线在图 15 中以粗线表示,其它部件之间的连接方式,仅是进行示意性说明,并不引以为限。所述总线可以分为地址总线、数据总线、控制总线等。为便于表示,图 15 中仅用一条粗线表示,但并不表示仅有一根总线或一种类型的总线。在本申请实施例中,处理器可以是通用处理器、数字信号处理器、专用集成电路、现场可编程门阵列或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件,可以实施或者执行本申请实施例中的公开的各方法、步骤及逻辑框图。通用处理器可以是微处理器或者任何常规的处理器等。结合本申请实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件处理器执行完成,或者用处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。

在本申请实施例中,存储器可以是非易失性存储器,比如硬盘(hard disk drive, HDD)或固态硬盘(solid-state drive, SSD)等,还可以是易失性存储器(volatile memory),例如随机存取存储器(random-access memory, RAM)。存储器还可以是能够用于携带或存储具有指令或数据结构形式的期望的程序代码并能够由计算机存取的任何其他介质,但不限于

此。本申请实施例中的存储器还可以是电路或者其它任意能够实施存储功能的装置，用于存储计算机程序、程序指令和/或数据。

5 基于以上实施例，参见图 16，本申请实施例还提供另一种通信装置 1600，包括：接口电路 1610 和逻辑电路 1620；接口电路 1610，可以理解为输入输出接口，可用于执行与上述图 14 示意的输入输出单元 1401 或如图 15 示意的收发器 1530 同样的操作步骤，本申请在此不再赘述。逻辑电路 1620 可用于运行所述代码指令以执行上述任一实施例中的方法，可以理解成上述图 14 中的处理单元 1402 或图 15 中的处理器 1510，可以实现处理单元或处理器同样的功能，本申请在此不再赘述。

10 基于以上实施例，本申请实施例还提供一种可读存储介质，该可读存储介质存储有指令，当所述指令被执行时，使上述任一实施例中安全检测方法执行的方法被实施。该可读存储介质可以包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器、随机存取存储器、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

15 本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

20 本申请是参照根据本申请的方法、装置（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理装置的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理装置的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

25 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理装置以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

30 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理装置上，使得在计算机或其他可编程装置上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程装置上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

## 权 利 要 求

- 1.一种编码方法,其特征在于,包括:  
获取信息比特数  $K$  和编码比特数  $L$ ;  
根据所述编码比特数  $L$  和能量等级数  $B$ , 确定符号数  $S$ ,  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ,  $S1=L/B$ ,  $S2=L/2B$ ;  
5 根据所述符号数  $S$ 、所述能量等级数  $B$  和可靠度序列, 从编码序列中确定  $K$  个信息子信道;  
根据所述  $K$  个信息子信道, 对  $K$  个信息比特进行编码并输出比特序列;  
其中, 所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列, 所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应; 所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道; 所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序;  
10 所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的, 所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道;  
 $K$ 、 $L$ 、 $B$ 、 $S$ 、 $S1$ 、 $S2$ 、 $B_{\max}$ 、 $S_{\max}$  均为正整数,  $S_{\max}$  大于或等于  $S$ ,  $B_{\max}$  大于或等于  $B$ ,  $i$  大于或等于 0 且小于  $B$ 。
- 15 2.如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述  $K$  个信息子信道为:  
所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中, 按照可靠度从高到低的排序选取的。
- 3.如权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数  $B$  和所述能量等级数  $B$  对应的符号内母码长度确定的。
- 20 4.如权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述根据所述  $K$  个信息子信道, 对  $K$  个信息比特进行编码并输出之后, 还包括:  
将输出的所述比特序列进行速率匹配和调制, 得到  $S$  个待发送符号;  
对所述  $S$  个待发送符号进行交织处理。
- 5.如权利要求 4 所述的方法, 其特征在于, 所述调制包括: 按照能量等级从低到高的排序, 在所述  $B$  个子序列的每个子序列中, 依次选取一个比特映射至一个待发送符号中。
- 25 6.如权利要求 5 所述的方法, 其特征在于, 对于正交振幅调制 QAM256, 所述调制还包括: 对能量等级从低到高的排序中的、第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特交换映射次序。
- 7.如权利要求 1 至 6 任一项所述的方法, 其特征在于, 所述编码为极化 Polar 码编码。
- 30 8.一种译码方法, 其特征在于, 包括:  
接收  $S$  个符号, 其中符号数  $S$  为  $S1$  或  $S2$ ;  
根据所述符号数  $S$ 、能量等级  $B$ 、可靠度序列和编码序列, 对所述  $S$  个符号解调和译码得到  $L$  个比特, 所述  $L$  个比特中包括  $K$  个信息比特,  $L=S1 \times B$ , 或  $L=2 \times S2 \times B$ ;  
35 其中, 所述编码序列中包括  $B_{\max}$  个子序列, 所述  $B_{\max}$  个子序列分别与  $B_{\max}$  个能量等级对应; 所述  $B_{\max}$  个子序列中每个子序列包括  $S_{\max}$  个子信道; 所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序;  
所述  $K$  个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的, 所述候选子信道是能量等级为  $i$  的子序列中的  $S1$  个子信道或  $2 \times S2$  个子信道;

K、L、B、S、S1、S2、Bmax、Smax 均为正整数，Smax 大于或等于 S，Bmax 大于或等于 B，i 大于或等于 0 且小于 B。

9.如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述 K 个信息子信道为：

5 所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

10.如权利要求 9 所述的方法，其特征在于，所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数 B 和所述能量等级数 B 对应的符号内母码长度确定的。

11.如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述根据所述符号数 S、能量等级 B、可靠度序列和编码序列，对所述 S 个符号解调和译码得到 L 个比特之前，还包括：  
10 对所述 S 个符号进行解交织处理。

12.如权利要求 11 所述的方法，其特征在于，所述解调包括：将所述 S 个符号中的每个符号包括的 B 个比特，依次映射至能量等级从低到高排序的 B 个子序列中。

13.如权利要求 12 所述的方法，其特征在于，对于正交振幅调制 QAM256，所述解调还包括：对所述 S 个符号中的每个符号包括的第三个比特和第四个比特交换映射次序。

15 14.如权利要求 8 至 13 任一项所述的方法，其特征在于，所述编码为极化 Polar 码译码。

15.一种通信装置，其特征在于，包括：

输入输出单元，用于获取信息比特数 K 和编码比特数 L；

20 处理单元，用于根据所述编码比特数 L 和能量等级数 B，确定符号数 S，S 为 S1 或 S2， $S1=L/B$ ， $S2=L/2B$ ；

所述处理单元，还用于根据所述符号数 S、所述能量等级数 B 和可靠度序列，从编码序列中确定 K 个信息子信道；

所述处理单元，还用于根据所述 K 个信息子信道，对 K 个信息比特进行编码并输出比特序列；

25 其中，所述编码序列中包括 Bmax 个子序列，所述 Bmax 个子序列分别与 Bmax 个能量等级对应；所述 Bmax 个子序列中每个子序列包括 Smax 个子信道；所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序；

所述 K 个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的，所述候选子信道是能量等级为 i 的子序列中的 S1 个子信道或  $2 \times S2$  个子信道；

30 K、L、B、S、S1、S2、Bmax、Smax 均为正整数，Smax 大于或等于 S，Bmax 大于或等于 B，i 大于或等于 0 且小于 B。

16.如权利要求 15 所述的装置，其特征在于，所述 K 个信息子信道为：

所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中，按照可靠度从高到低的排序选取的。

35 17.如权利要求 16 所述的装置，其特征在于，所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数 B 和所述能量等级数 B 对应的符号内母码长度确定的。

18.如权利要求 15 所述的装置，其特征在于，所述处理单元在根据所述 K 个信息子信道，对 K 个信息比特进行编码并输出之后，还用于：

将输出的所述比特序列进行速率匹配和调制，得到 S 个待发送符号；

40 对所述 S 个待发送符号进行交织处理。

19.如权利要求 18 所述的装置,其特征在于,所述处理单元具体用于:

按照能量等级从低到高的排序,在所述 B 个子序列的每个子序列中,依次选取一个比特映射至一个待发送符号中。

20.如权利要求 19 所述的装置,其特征在于,对于正交振幅调制 QAM256,所述处理单元还用于:对能量等级从低到高的排序中的、第三个能量等级对应的子序列中选取的比特和第四个能量等级对应的子序列中选取的比特交换映射次序。

21.如权利要求 15 至 20 任一项所述的装置,其特征在于,所述编码为极化 Polar 码编码。

22.一种通信装置,其特征在于,包括:

输入输出单元,用于接收 S 个符号,其中符号数 S 为 S1 或 S2;

处理单元,用于根据所述符号数 S、能量等级 B、可靠度序列和编码序列,对所述 S 个符号解调和译码得到 L 个比特,所述 L 个比特中包括 K 个信息比特, $L = S1 \times B$ ,或  $L = 2 \times S2 \times B$ ;

其中,所述编码序列中包括 Bmax 个子序列,所述 Bmax 个子序列分别与 Bmax 个能量等级对应;所述 Bmax 个子序列中每个子序列包括 Smax 个子信道;所述可靠度序列用于指示所述编码序列中各子信道的可靠度的高低排序;

所述 K 个信息子信道是根据各候选子信道的可靠度的高低排序从候选子信道中选取的,所述候选子信道是能量等级为 i 的子序列中的 S1 个子信道或  $2 \times S2$  个子信道;

K、L、B、S、S1、S2、Bmax、Smax 均为正整数,Smax 大于或等于 S,Bmax 大于或等于 B,i 大于或等于 0 且小于 B。

23.如权利要求 22 所述的装置,其特征在于,所述 K 个信息子信道为:

所述候选子信道中除打孔子信道、缩短子信道、预冻结子信道以外的子信道中,按照可靠度从高到低的排序选取的。

24.如权利要求 23 所述的装置,其特征在于,所述打孔子信道或缩短子信道是根据所述能量等级数 B 和所述能量等级数 B 对应的符号内母码长度确定的。

25.如权利要求 22 所述的装置,其特征在于,所述处理单元根据所述符号数 S、能量等级 B、可靠度序列和编码序列,对所述 S 个符号解调和译码得到 L 个比特之前,还用于:对所述 S 个符号进行解交织处理。

26.如权利要求 25 所述的装置,其特征在于,所述处理单元具体用于:将所述 S 个符号中的每个符号包括的 B 个比特,依次映射至能量等级从低到高排序的 B 个子序列中。

27.如权利要求 26 所述的装置,其特征在于,对于正交振幅调制 QAM256,所述处理单元还用于:对所述 S 个符号中的每个符号包括的第三个比特和第四个比特交换映射次序。

28.如权利要求 22 至 27 任一项所述的装置,其特征在于,所述编码为极化 Polar 码译码。

29.一种通信装置,其特征在于,包括:至少一个处理器和存储器;

所述存储器,用于存储计算机程序或指令;

所述至少一个处理器,用于执行所述存储器中存储的计算机程序,以使得所述通信装置执行如权利要求 1 至 7 任一项所述的方法或如权利要求 8 至 14 中任一项所述的方法。

30.一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有指令，当所述指令被执行时，以使得计算机执行如权利要求 1 至 7 任一项所述的方法或如权利要求 8 至 14 中任一项所述的方法。

5 31.一种计算机程序产品，其特征在于，所述计算机程序产品包括计算机程序或指令，当所述计算机程序或指令被通信装置执行时，实现如权利要求 1 至 7 任一项所述的方法或如权利要求 8 至 14 中任一项所述的方法。

32.一种通信系统，其特征在于，包括如权利要求 15 至 21 任一项的通信装置，以及权利要求 22 至 28 任一项的通信装置。

10