



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112994704 B

(45) 授权公告日 2023.06.16

(21) 申请号 202110152057.3

(56) 对比文件

(22) 申请日 2021.02.03

CN 111327332 A, 2020.06.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 赫天骄

申请公布号 CN 112994704 A

(43) 申请公布日 2021.06.18

(73) 专利权人 OPPO广东移动通信有限公司

地址 523860 广东省东莞市长安镇乌沙海
滨路18号

(72) 发明人 匡肃奉

(74) 专利代理机构 北京知帆远景知识产权代理

有限公司 11890

专利代理师 崔建锋

(51) Int. Cl.

H03M 13/11 (2006.01)

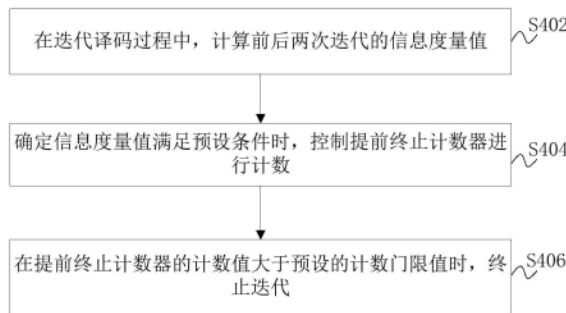
权利要求书1页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

译码提前终止方法、存储介质、电子设备

(57) 摘要

本申请涉及一种译码提前终止方法、存储介质、电子设备,方法,包括:在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值;确定所述信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数;在所述提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。由此,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延。



1. 一种译码提前终止方法,其特征在于,包括:
在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值;
确定所述信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数;
在所述提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代;
计算前后两次迭代的信息度量值,包括:
计算前后两次迭代时译码比特序列的翻转比例,作为所述信息度量值,其中,所述译码比特序列为对发送比特序列的后验概率进行硬判决得到的;
在所述翻转比例大于预设门限阈值时,确定所述信息度量值满足预设条件;
计算前后两次迭代时译码比特序列的翻转比例,包括:
对前后两次迭代的译码比特序列进行模2加法运算,并根据模2加法运算结果计算所述翻转比例。
2. 如权利要求1所述的译码提前终止方法,其特征在于,计算前后两次迭代的信息度量值,包括:
计算前后两次迭代时校验节点传递给变量节点的消息的增量信息量,并计算所述增量信息量的绝对值的平均值,作为所述信息度量值。
3. 如权利要求1所述的译码提前终止方法,其特征在于,所述译码比特序列根据以下步骤获得:
在变量节点更新过程中,计算每个发送比特的后验概率,并对所述后验概率进行硬判决,获得所述译码比特序列。
4. 如权利要求2所述的译码提前终止方法,其特征在于,在所述增量信息量的绝对值的平均值远小于信道软信息绝对值的平均值时,确定所述信息度量值满足预设条件。
5. 如权利要求1所述的译码提前终止方法,其特征在于,还包括:
获取迭代次数;
在所述提前终止计数器的计数值小于等于预设的计数门限值时,如果所述迭代次数达到预设的最大迭代次数,则终止迭代。
6. 一种计算机可读存储介质,其特征在于,其上存储有译码提前终止程序,该译码提前终止程序被处理器执行时实现如权利要求1-5中任一项所述的译码提前终止方法。
7. 一种电子设备,其特征在于,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的译码提前终止程序,所述处理器执行所述译码提前终止程序时,实现如权利要求1-5中任一项所述的译码提前终止方法。

译码提前终止方法、存储介质、电子设备

技术领域

[0001] 本申请涉及译码技术领域,特别是涉及一种译码提前终止方法、存储介质、电子设备。

背景技术

[0002] 低密度奇偶校验(Low Density Parity Check,LDPC)码作为一种性能趋近于香农极限的线性分组码,被广泛应用于现代数字通信系统中。置信传播(Belief Propagation,BP)译码算法由于其具有可大规模并行处理的特性,被广泛应用于低密度奇偶校验码的译码中。置信传播译码的基本思想是在变量节点与校验节点之间互相交换消息,具体实现是变量节点(校验节点)接收到所有与之相连的校验节点(变量节点)的消息后,更新传递给校验节点(变量节点)的消息,将更新后的消息传递给与之相连的校验节点(变量节点),如此迭代地进行消息传递。

[0003] 相关技术中,迭代终止的判断条件主要有最大迭代次数、校验矩阵对发送比特的译码结果的校验结果、校错码对译码序列的校错结果或三者的相互组合。但是,对于信噪比(Signal-to-Noise Ratio,SNR)较低的场景(即译码成功概率极低的场景),相关技术中的第二种和第三种方式将失效,此时译码总是迭代至最大迭代次数才会终止,但这些迭代无任何意义且导致译码延时。

发明内容

[0004] 基于此,有必要针对上述技术问题,提供一种能够有效降低译码时延的译码提前终止方法及装置、存储介质、电子设备、译码器。

[0005] 一种译码提前终止方法,包括:

[0006] 在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值;

[0007] 确定所述信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数;

[0008] 在所述提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。

[0009] 一种计算机可读存储介质,其上存储有译码提前终止程序,该译码提前终止程序被处理器执行时实现如前述的译码提前终止方法。

[0010] 一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的译码提前终止程序,所述处理器执行所述译码提前终止程序时,实现前述的译码提前终止方法。

[0011] 一种译码器,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的译码提前终止程序,所述处理器执行所述译码提前终止程序时,实现前述的译码提前终止方法。

[0012] 一种译码提前终止装置,包括:

[0013] 计算模块,用于在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值;

[0014] 确定模块,用于确定所述信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数;

[0015] 终止模块,用于在所述提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。

[0016] 一种译码器,包括前述的译码提前终止装置。

[0017] 上述译码提前终止方法及装置、存储介质、电子设备、译码器,通过在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值,并确定信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数,以及在提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。由此,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延。

附图说明

[0018] 图1为现代数字通信系统的基本结构示意图;

[0019] 图2为相关技术中低密度奇偶校验码的Tanner示意图;

[0020] 图3为相关技术中译码迭代的流程图;

[0021] 图4为根据本发明一个实施例的译码提前终止方法的流程图;

[0022] 图5为相关技术中译码迭代终止方法与采用本申请的基于软信息的信息度量值的译码提前终止方法的性能以及平均迭代次数的对比图;

[0023] 图6为相关技术中译码迭代终止方法与采用本申请的基于硬信息的信息度量值的译码提前终止方法的性能以及平均迭代次数的对比图;

[0024] 图7为根据本发明一个实施例的电子设备的结构框图;

[0025] 图8为根据本发明一个实施例的译码器的结构框图;

[0026] 图9为根据本发明一个实施例的译码提前终止装置的结构框图。

具体实施方式

[0027] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本申请进行进一步详细说明。应当理解,此处描述的具体实施例仅仅用以解释本申请,并不用于限定本申请。

[0028] 需要说明的是,参考图1所示,现代数字通信系统可包括信源、信道编码器、调制器、信道、解调器、信道译码器和信宿。

[0029] 信源是信息的发布者,用于产生待传输信息的二进制比特流。

[0030] 信道编码器用于对二进制比特流进行编码,以提高接收端识别差错的能力,从而降低误码率以改善恢复信息的质量。具体来说,数字信号在信道的传输过程中,由于实际信道的数字传输特性不理想以及存在加性噪声,在接收端可能产生误码,为了控制差错,通常将自动请求重发(Automatic Request,ARQ)检错技术和前向纠错(Forward Error Correction,FEC)编码技术应用于信道编码器,以提高信息传输的可靠性,进而降低误码率以改善恢复信息的质量。目前最常用的前向纠错编码技术有:卷积码、TURBO码、低密度奇偶校验码、极化码等。

[0031] 调制器用于将编码后的二进制比特流映射到(承载于)载波上,以提高频谱效率。通常调制器采用IQ调制(具体是指将数据分为两路,分别进行载波调制,且两路载波相互正交)技术,相应的常用调制方式包括二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying,BPSK)、

正交相移键控(Quadrature Phase Shift Keying,QPSK)、正交幅度调制(Quadrature Amplitude Modulation,QAM)等。

[0032] 信道是信息传递的通道,即电磁波传播的媒介,在无线通信系统中,信道即自由空间。在通过信道进行信息传递时,噪声源会对传输的信息产生损伤,噪声源按其来源一般可以分为外部噪声和内部噪声两大类,其中外部噪声包括自然界存在的各种电磁波干扰,内部噪声指电子器件本身产生的各种噪声。

[0033] 解调器用于根据发送端调制器的调制方式,利用一定的准则,检测出发送端所发送的二进制比特。目前主要采用软解调,从而得到发送比特对应的软比特,即发送比特的对数似然比(Log Likelihood Ratio,LLR),其定义如下:

$$[0034] \quad LLR(v_n) = \ln \left(\frac{p_r(y_n | v_n = 0)}{p_r(y_n | v_n = 1)} \right) \quad (1)$$

[0035] 其中,LLR(v_n)表示发送比特 v_n 对应的软比特, $p_r(y_n | v_n = a)$ 表示发送比特 $v_n = a$ 时接收到符号 y_n 的条件概率, $a \in \{0, 1\}$; $\ln(\cdot)$ 表示取对数运算。

[0036] 信道译码器用于根据发送端信道编码器所采用的前向纠错编码技术,采用一定的译码准则,利用解调得到的软比特信息进行译码,得到发送端发送的二进制比特信息。常见的译码算法包括最大似然(Maximum Likelihood,ML)译码、最大后验概率(Maximum A Priori Probability,MAP)译码、置信传播(Belief Propagation,BP)译码等。

[0037] 信宿是信息的接收者,用于接收译码获得的二进制比特信息,并对二进制比特信息进行转换获得信源发送的消息。

[0038] 低密度奇偶校验码作为一种性能趋近于香农极限的线性分组码,被广泛应用于现代数字通信系统中,例如:欧洲数字视频广播系统DVB-S2、WI-FI系统、全球定位系统(Global Positioning System,GPS)/北斗卫星导航系统和第五代(Fifth Generation,5G)移动通信系统中的数据信道编码方案。

[0039] 分组码是将输入的信息序列以每 k 个码元分组,信道编码器将每个信息组按照一定的规律产生 r 个多余的码元(称为校验元),从而形成一个长为 $n = k + r$ 的码字,分组码通常用 (n, k) 来表示。当分组码的信息码元与检验元之间的关系为线性时,该分组码称为线性分组码。线性分组码有两个重要的矩阵:生成矩阵 G 和校验矩阵 H ,对于任何一个输入信息序列 $u = (u_0, u_1, \dots, u_{k-1})$,其对应的长度为 N 的码字为 $v = u \cdot G$ 且 $H \cdot v^T = 0$,其中 v^T 表示对向量 v 取转置。

[0040] 低密度奇偶校验码定义为满足如下特性的校验矩阵 H 的零空间:1)每行有 ρ 个非0元素;2)每列有 λ 个非0元素;3)与码长 N 和校验矩阵 H 的行数相比, ρ 和 λ 均小得多,即校验矩阵 H 具有稀疏特性。

[0041] 低密度奇偶校验码可以用Tanner图来表示,以下述校验矩阵 H 为例,其Tanner图如图2所示。

$$[0042] \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0043] 在图2中, $\{x_0, x_1, \dots, x_7\}$ 为变量节点, 即码字 $v = (v_0, v_1, \dots, v_7)$ 对应的发送符号, 根据第三代合作伙伴计划(the 3rd Generation Partner Project, 3GPP)标准中定义的映射规则 $x_n = 1 - 2v_n$, 即: 比特0映射成符号1; 比特1映射成符号-1; $\{s_0, s_1, s_2, s_3\}$ 为校验节点, 其分别对应四个校验方程 $H \cdot v^T = 0$, 即:

$$[0044] \quad \begin{cases} s_0 : v_0 \oplus v_2 \oplus v_4 \oplus v_6 = 0 \\ s_1 : v_0 \oplus v_3 \oplus v_5 \oplus v_7 = 0 \\ s_2 : v_1 \oplus v_2 \oplus v_5 \oplus v_6 = 0 \\ s_3 : v_1 \oplus v_3 \oplus v_4 \oplus v_7 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

[0045] 其中, \oplus 表示模2加法运算。当 $H(m, n) = 1$ 时, 则表示校验节点 s_m 与变量节点 x_n 相连, 即 s_m 所对应的校验方程式中一定包含 x_n 对应的比特 v_n 。

[0046] 置信传播译码算法由于其具有可大规模并行处理的特性, 被广泛应用于低密度奇偶校验码的译码中。置信传播译码的基本思想是: 在变量节点与校验节点之间互相交换软信息(或称为置信度), 交换的软信息称为消息。具体实现是: 变量节点(校验节点)接收到所有与之相连的校验节点(变量节点)的消息后, 更新传递给校验节点(变量节点)的消息, 将更新后的消息传递给与之相连的校验节点(变量节点), 如此迭代地进行消息传递, 具体如3所示。

[0047] 下面详细介绍下图3中每个流程的具体计算过程:

[0048] 步骤1: 初始化。

[0049] 置信传播译码的输入是每个发送比特 v_n 的信道软信息, 即发送比特 v_n 的对数似然比, 记为 $L_r(v_n)$, 其定义如下:

$$[0050] \quad L_r(v_n) \stackrel{\text{def}}{=} \ln \left(\frac{p_r(y_n | v_n = 0)}{p_r(y_n | v_n = 1)} \right) = \ln \left(\frac{p_r(y_n | x_n = 1)}{p_r(y_n | x_n = -1)} \right) \quad (4)$$

[0051] 其中, y_n 表示发送符号 x_n 对应的接收符号, $p_r(\cdot)$ 表示概率值, $\ln(\cdot)$ 表示取对数运算。

[0052] 图3中 VN2CN-msg 表示变量节点 x_n 传递给校验节点 s_m 的消息, 将变量节点 x_n 传递给与之相连的校验节点 s_m 的消息记为 $q_{n \rightarrow m}^{(i)}(v_n)$, 其定义与计算公式如下:

$$[0053] \quad \begin{aligned} q_{n \rightarrow m}^{(i)}(v_n) &= \ln \left(\frac{p_r(v_n = 0 | (S_n \setminus s_m, y_0^{N-1}))}{p_r(v_n = 1 | (S_n \setminus s_m, y_0^{N-1}))} \right) \\ &= Lr(v_n) + \sum_{s_{m'} \in S_n \setminus s_m} r_{m' \rightarrow n}^{(i)}(s_{m'}) \end{aligned} \quad (5)$$

[0054] 其中, S_n 表示表示与变量节点 x_n 相连的校验节点集合, $S_n \setminus s_m$ 表示集合 S_n 去除元素 s_m 后的剩余元素集合, y_0^{N-1} 表示接收符号向量 $(y_0, y_1, \dots, y_{N-1})$, N 表示变量节点总数, $r_{m' \rightarrow n}^{(i)}(s_{m'})$ 表示第 i 次迭代校验节点 $s_{m'}$ 传递给变量节点 x_n 的消息, 其定义与计算公式见校验节点更新流程。初始化过程中, 对 $q_{n \rightarrow m}^{(i)}(v_n)$ 进行初始化:

$$[0055] \quad q_{n \rightarrow m}^{(-1)}(v_n) = L_r(v_n), n = 0, 1, \dots, N-1, s_m \in S_n \quad (6)$$

[0056] 步骤2): 校验节点更新。

[0057] 校验节点 s_m 接收到来自与之相连的变量节点 x_n 的消息后,按照下式更新传递给每一个与之相连的变量节点消息:

$$\begin{aligned}
 r_{m \rightarrow n}^{(i)}(s_m) &\stackrel{\text{def}}{=} \ln \left(\frac{p_r(s_m | (v_n = 0, y_0^{N-1}))}{p_r(s_m | (v_n = 1, y_0^{N-1}))} \right) \\
 [0058] \quad &= 2 \tanh^{-1} \left(\prod_{x_{n'} \in X_m \setminus x_n} \tanh \left(\frac{q_{n' \rightarrow m}^{(i-1)}(v_{n'})}{2} \right) \right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

[0059] 其中, $\tanh^{-1}(x) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+x}{1-x} \right)$, $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$, X_m 表示与校验节点 s_m 相连的变量节点集合, $X_m \setminus x_n$ 表示集合 X_m 去除元素 x_n 后的剩余元素集合。

[0060] 步骤3):变量节点更新。

[0061] 变量节点 x_n 接收到来自与之相连的校验节点的消息后,按照 $q_{n \rightarrow m}^{(i)}(v_n)$ 更新公式更新传递给每一个与之相连的校验节点消息:

$$q_{n \rightarrow m}^{(i)}(v_n) = L_r(v_n) + \sum_{s_{m'} \in S_n \setminus s_m} r_{m' \rightarrow n}^{(i)}(s_{m'}) \tag{8}$$

[0063] 同时,变量节点计算其发送比特 v_n 的后验概率 $L_m^{(i)}(v_n)$,其定义与计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 L_m^{(i)}(v_n) &\stackrel{\text{def}}{=} \ln \left(\frac{p_r(v_n = 0 | (S_n, y_0^{N-1}))}{p_r(v_n = 1 | (S_n, y_0^{N-1}))} \right) \\
 [0064] \quad &= L_r(v_n) + \sum_{s_{m'} \in S_n} r_{m' \rightarrow n}^{(i)}(s_{m'})
 \end{aligned} \tag{9}$$

[0065] 步骤4):迭代终止条件判断。

[0066] 相关技术中,迭代终止判断有如下几种方法或其组合:

[0067] 第一种方式:设定最大的迭代次数 I_{\max} ,仅当达到所设定的最大迭代次数 I_{\max} 时,迭代终止。

[0068] 第二种方式:利用变量节点更新过程中计算得到的每个发送比特的后验概率 $L_m^{(i)}(v_n)$ 进行硬判决,得到发送比特序列的译码结果,硬判决按如下公式进行:

$$\hat{v}_n = \begin{cases} 0, & L_m^{(i)}(v_n) \geq 0 \\ 1, & L_m^{(i)}(v_n) < 0 \end{cases} \tag{10}$$

[0070] 而后,利用校验矩阵进行校验,即计算 $\mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{v}}^T$,若 $\mathbf{H} \cdot \hat{\mathbf{v}}^T = \mathbf{0}$,则迭代终止;否则,继续迭代。

[0071] 第三种方式:若低密度奇偶校验码与检错码结合,如循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)码,则可利用检错码对译码序列 $\hat{\mathbf{v}}$ 进行检错,若没有错误,则迭代终止;否则,继续迭代。

[0072] 上述迭代终止判断方法存在如下缺点:对于信噪比较低的场景(即译码成功概率极低的场景),第二种和第三种方式将失效,此时译码总是迭代至最大迭代次数 I_{\max} 才会终止,但这些迭代无任何意义且导致译码延时。

[0073] 为了解决上述技术问题,本申请的发明构思是:利用前后两次迭代的信息度量值

更新提前终止计数器,从而提前终止迭代。

[0074] 在一个实施例中,提供了一种译码提前终止方法,该方法可以应用于图1所示的信道译码器中,参考图4所示,该译码提前终止方法包括以下步骤:

[0075] 步骤402,在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值。

[0076] 举例来说,参考图3所示,在迭代译码过程中,一次迭代是指:校验节点和变量节点均完成一次更新,具体是指:校验节点接收到来自与之相连的变量节点的消息后,按照上述公式(7)更新传递给每一个与之相连的变量节点的消息,并发送给与之相连的变量节点,变量节点接收到来自与之相连的校验节点的消息后,按照上述公式(8)更新传递给每一个与之相连的校验节点的消息。

[0077] 在每完成一次迭代后,计算前后两次迭代的信息度量值,该信息度量值用于表征信息之间的差别。在本申请中,根据使用的信息类型,信息度量值可包括两种,分别为基于软信息的信息度量值和基于硬信息的信息度量值。

[0078] 以基于软信息的信息度量值为例。可选的,计算前后两次迭代的信息度量值,包括:计算前后两次迭代时校验节点传递给变量节点的消息的增量信息量,并计算增量信息量的绝对值的平均值,作为信息度量值。

[0079] 具体来说,在每完成一次迭代后,获取本次迭代时每个校验节点传递给与之相连的每个变量节点的消息 $r_{m \rightarrow n}^{(i)}(s_m)$,以及前次迭代时每个校验节点传递给与之相连的每个变量节点的消息 $r_{m \rightarrow n}^{(i-1)}(s_m)$,具体如上述公式(7)所示,而后,计算前后两次迭代时每个校验节点传递给与之相连的每个变量节点的消息的增量信息量,即消息的差值 $r_{m \rightarrow n}^{(i)}(s_m) - r_{m \rightarrow n}^{(i-1)}(s_m)$,最后计算前后两次迭代时所有校验节点传递给与之相连的所有变量节点的消息的增量信息量的绝对值的平均值,并将该平均值作为前后两次迭代的信息度量值,具体可通过下述公式进行表达:

$$[0080] \quad \eta_{soft} = \frac{1}{M \cdot \sum_{m=0}^{M-1} N_m} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N_m-1} |r_{m \rightarrow n}^{(i)}(s_m) - r_{m \rightarrow n}^{(i-1)}(s_m)| \quad (11)$$

[0081] 其中,M表示校验节点总数, N_m 表示与校验节点 s_m 相连的变量节点总数,即上述公式(7)中集合 X_m 的元素个数。

[0082] 以基于硬信息的信息度量值为例。可选的,计算前后两次迭代的信息度量值,包括:计算前后两次迭代时译码比特序列的翻转比例,作为信息度量值。

[0083] 译码比特序列即发送比特序列的译码结果。可选的,译码比特序列根据以下步骤获得:在变量节点更新过程中,计算每个发送比特的后验概率,并对后验概率进行硬判决,获得译码比特序列。进一步地,计算前后两次迭代时译码比特序列的翻转比例,包括:对前后两次迭代的译码比特序列进行模2加法运算,并根据模2加法运算结果计算翻转比例。

[0084] 具体来说,在每完成一次迭代后,获取本次迭代时每个发送比特的后验概率 $L_m^{(i)}(v_n)$,以及前次迭代时每个发送比特的后验概率 $L_m^{(i-1)}(v_n)$,具体如上述公式(9)所示,并对后验概率 $L_m^{(i)}(v_n)$ 和 $L_m^{(i-1)}(v_n)$ 进行硬判决,获得译码比特序列,其中硬判决按照如下述公式进行:

$$[0085] \quad \hat{v}_n^{(i)} = \begin{cases} 0, L_m^{(i)}(v_n) \geq 0 \\ 1, L_m^{(i)}(v_n) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

[0086] 而后,对前后两次迭代的译码比特序列 $\hat{v}_n^{(i)}$ 和 $\hat{v}_n^{(i-1)}$ 进行模2加法运算,并根据模2加法运算结果计算翻转比例,该翻转比例即为前后两次迭代的信息度量值,具体如下述公式所示:

$$[0087] \quad \eta_{hard} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (\hat{v}_n^{(i)} \oplus \hat{v}_n^{(i-1)}) \quad (13)$$

[0088] 由此,针对不同类型的信息,给出了相应的计算度量方式来提前终止迭代。

[0089] 其中,从上述公式(11)和(13)可以看出,基于软信息的计算度量,即使用前后两次软信息的差值的绝对平均值作为判断提前终止的计算度量,相较于基于硬信息的计算度量复杂度会高一些,但是由于软信息反映了比特判决的置信度,相较于硬信息,包含了更多的信息,同时更新的软信息更能反映迭代情况,因此采用软信息来提前终止迭代更为有效准确、性能更好。

[0090] 基于硬信息的计算度量,即使用前后两次迭代的比特翻转数目作为计算度量,虽然该计算度量是与硬信息相关的计算度量,但是该度量无需进行矩阵乘法计算,因此相较于基于校正子这一硬信息相关的计算度量,能够有效降低算法的复杂度。具体来说,校正子是指校正矩阵和解码比特向量之积,正确译码时,校正子应当为零,采用基于校正子这一硬信息相关的计算度量是指采用校正子的非零权重值作为提前终止的计算度量,若非零权重值过高,说明译码错误较大,提前终止迭代。虽然两者都是基于硬信息相关的计算度量,但是本申请的基于硬信息相关的计算度量,无需计算校正矩阵和解码比特向量之积,即不进行乘法计算,因此大大降低了计算的复杂度。

[0091] 步骤404,确定信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数。

[0092] 在每完成一次迭代,并通过前述方式计算获得前后两次迭代的信息度量值后,判断该信息度量值是否满足预设条件,如果满足预设条件,表明迭代无增益,此时控制提前终止计数器进行计数,如控制提前终止计数器加1;如果不满足预设条件,则将提前终止计数器清零。

[0093] 以基于软信息的信息度量值为例。可选的,在增量信息量的绝对值的平均值远小于信道软信息绝对值的平均值时,确定信息度量值满足预设条件。

[0094] 具体来说,信道软信息即发送比特的对数似然比,记为 $L_r(v_n)$,信道软信息绝对值的平均值是指前后两次迭代时所有发送比特的对数似然比绝对值的平均值,如下述公式所示:

$$[0095] \quad \overline{|L_r|} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |L_r(v_n)| \quad (14)$$

[0096] 进一步地,在通过前述方式获得基于软信息的信息度量值 η_{soft} 时,判断该信息度量值 η_{soft} 即增量信息量的绝对值的平均值,是否远小于信道软信息绝对值的平均值 $\overline{|L_r|}$,如果是,则确定信息度量值满足预设条件,表明迭代无增益,此时控制提前终止计数器 δ 进行计数;否则,信息度量值不满足预设条件,此时提前终止计数器 δ 清零,具体可通过下述公式

进行表达：

$$[0097] \quad \delta = \begin{cases} \delta + 1, \eta_{soft} < \alpha_{soft} \cdot \overline{|L_r|} \\ 0, \text{其它} \end{cases} \quad (15)$$

[0098] 其中, α_{soft} 表示基于软信息的信息度量值所设定的门限值, 可通过仿真获得。

[0099] 以基于硬信息的信息度量值为例。可选的, 在翻转比例大于预设门限阈值时, 确定信息度量值满足预设条件。

[0100] 具体来说, 在通过前述方式获得基于硬信息的信息度量值 η_{hard} 时, 判断该信息度量值 η_{hard} 即翻转比例, 是否很大, 如果是, 则确定信息度量值满足预设条件, 表明迭代无增益, 此时控制提前终止计数器 δ 进行计数; 否则, 信息度量值不满足预设条件, 此时提前终止计数器 δ 清零, 具体可通过下述公式进行表达:

$$[0101] \quad \delta = \begin{cases} \delta + 1, \eta_{hard} > \alpha_{hard} \\ 0, \text{其它} \end{cases} \quad (16)$$

[0102] 其中, α_{hard} 表示基于硬信息的信息度量值所设定的门限值, 可通过仿真获得。

[0103] 由此, 基于前后两次迭代的信息度量值来更新提前终止计数器, 从而可提前终止迭代, 有利于降低迭代次数, 减少迭代时延和功耗。

[0104] 步骤406, 在提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时, 终止迭代。

[0105] 具体来说, 若 $\delta > \delta_{th}$, 则终止迭代, 译码结束, 其中 δ_{th} 为设置的计数门限值, 可通过仿真获得; 否则, 继续迭代。

[0106] 由此, 基于前后两次迭代的信息度量值来更新提前终止计数器, 从而可提前终止迭代, 有利于降低迭代次数, 减少迭代时延和功耗。

[0107] 可选的, 上述的译码提前终止方法还包括: 获取迭代次数; 在提前终止计数器的计数值小于等于预设的计数门限值时, 如果迭代次数达到预设的最大迭代次数, 则终止迭代。

[0108] 也就是说, 当 $\delta > \delta_{th}$ 或者迭代次数达到预设的最大迭代次数 I_{max} 时, 终止迭代, 译码结束; 否则, 继续迭代译码, 以避免迭代无法终止。

[0109] 下面参考图5-图6来说明本申请提供的译码提前终止方法所具有的效果。

[0110] 图5为相关技术中译码迭代终止方法(上述第一种方式和第三种方式相结合的方法, 第二种方式由于需要做矩阵乘法运算, 计算量大, 因此通常不采用该方式)与采用本申请的基于软信息的信息度量值的译码提前终止方法的性能以及平均迭代次数的对比图。图6为相关技术中译码迭代终止方法(上述第一种方式和第三种方式相结合的方法, 第二种方式由于需要做矩阵乘法运算, 计算量大, 因此通常不采用该方式)与采用本申请的基于硬信息的信息度量值的译码提前终止方法的性能以及平均迭代次数的对比图。其中, 仿真参数设置如下: 码块大小 $k=8448$, 码率为 $1/3$, $\alpha_{soft}=0.16$, $\alpha_{hard}=0.2$, $\delta_{th}=3$, $I_{max}=16$ 。从图5和图6可以看出, 在信噪比较低时, 采用本申请的译码提前终止方法相较于采用相关技术中的译码迭代终止方法, 平均迭代次数明显减少, 而误块率基本相同, 因此, 在信噪比较低时, 在性能损失极小的情况下, 本申请提供的译码提前终止方法可以极大地减小迭代次数, 从而减小译码时延和功耗。

[0111] 综上所述, 根据本发明实施例的译码提前终止方法, 通过在迭代译码过程中, 计算前后两次迭代的信息度量值, 并确定信息度量值满足预设条件时, 控制提前终止计数器进

行计数,以及在提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。由此,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0112] 在一个实施例中,提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有译码提前终止程序,该译码提前终止程序被处理器执行时实现前述的译码提前终止方法。

[0113] 根据本发明实施例的计算机可读存储介质,通过前述的译码提前终止方法,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0114] 在一个实施例中,如图7所示,提供了一种电子设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的译码提前终止程序,处理器执行译码提前终止程序时,实现前述的译码提前终止方法。

[0115] 具体地,存储器可包括非易失性存储介质和内存存储器,该非易失性存储介质可存储有操作系统、计算机程序和数据库等,内存存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机程序的运行提供环境。处理器用于提供计算和控制能力,其执行计算机程序时以实现前述的译码提前终止方法。本领域技术人员可以理解,图7中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的电子设备的限定,具体的电子设备可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0116] 根据本发明实施例的电子设备,通过前述的译码提前终止方法,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0117] 在一个实施例中,如图8所示,提供了一种译码器,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的译码提前终止程序,处理器执行译码提前终止程序时,实现前述的译码提前终止方法。

[0118] 具体地,存储器可包括非易失性存储介质和内存存储器,该非易失性存储介质可存储有计算机程序和数据库等,内存存储器为非易失性存储介质中的计算机程序的运行提供环境。处理器用于提供计算和控制能力,其执行计算机程序时以实现前述的译码提前终止方法。本领域技术人员可以理解,图8中示出的结构,仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图,并不构成对本申请方案所应用于其上的译码器的限定,具体的译码器可以包括比图中所示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者具有不同的部件布置。

[0119] 根据本发明实施例的译码器,通过前述的译码提前终止方法,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0120] 在一个实施例中,提供了一种译码提前终止装置,参考图9所示,该译码提前终止装置包括:计算模块10、确定模块20和终止模块30。

[0121] 其中,计算模块10用于在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值;确定模块20用于确定信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数;终止模块30用于在提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。

[0122] 在一个实施例中,计算模块10还用于,计算前后两次迭代时校验节点传递给变量节点的消息的增量信息量,并计算增量信息量的绝对值的平均值,作为信息度量值。

[0123] 在一个实施例中,计算模块10还用于,计算前后两次迭代时译码比特序列的翻转

比例,作为信息度量值。

[0124] 在一个实施例中,计算模块10还用于,对前后两次迭代的译码比特序列进行模2加法运算,并根据模2加法运算结果计算翻转比例。

[0125] 在一个实施例中,计算模块10还用于,在变量节点更新过程中,计算每个发送比特的后验概率,并对后验概率进行硬判决,获得译码比特序列。

[0126] 在一个实施例中,确定模块20还用于,在增量信息量的绝对值的平均值远小于信道软信息绝对值的平均值时,确定信息度量值满足预设条件。

[0127] 在一个实施例中,确定模块20还用于,在翻转比例大于预设门限阈值时,确定信息度量值满足预设条件。

[0128] 在一个实施例中,上述的译码提前终止装置,还包括获取模块(图中未示出),用于获取迭代次数;终止模块30还用于,在提前终止计数器的计数值小于等于预设的计数门限值时,如果迭代次数达到预设的最大迭代次数,则终止迭代。

[0129] 关于译码提前终止装置的具体限定可以参见上文中对于译码提前终止方法的限定,在此不再赘述。上述译码提前终止装置中的各个模块可全部或部分通过软件、硬件及其组合来实现。上述各模块可以硬件形式内嵌于或独立于计算机设备中的处理器中,也可以以软件形式存储于计算机设备中的存储器中,以便于处理器调用执行以上各个模块对应的操作。

[0130] 根据本发明实施例的译码提前终止装置,通过在迭代译码过程中,计算前后两次迭代的信息度量值,并确定信息度量值满足预设条件时,控制提前终止计数器进行计数,以及在提前终止计数器的计数值大于预设的计数门限值时,终止迭代。由此,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0131] 在一个实施例中,提供了一种译码器,包括前述的译码提前终止装置。

[0132] 根据本发明实施例的译码器,通过前述的译码提前终止装置,在信噪比较低时,在性能损失较小的情况下,可以大大减小迭代次数,从而减小译码时延和功耗。

[0133] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,是可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一非易失性计算机可读存储介质中,该计算机程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,本申请所提供的各实施例中所使用的对存储器、存储、数据库或其它介质的任何引用,均可包括非易失性和/或易失性存储器。非易失性存储器可包括只读存储器(ROM)、可编程ROM(PROM)、电可编程ROM(EPROM)、电可擦除可编程ROM(EEPROM)或闪存。易失性存储器可包括随机存取存储器(RAM)或者外部高速缓冲存储器。作为说明而非局限,RAM以多种形式可得,诸如静态RAM(SRAM)、动态RAM(DRAM)、同步DRAM(SDRAM)、双数据率SDRAM(DDRSDRAM)、增强型SDRAM(ESDRAM)、同步链路(Synchlink)DRAM(SLDRAM)、存储器总线(Rambus)直接RAM(RDRAM)、直接存储器总线动态RAM(DRDRAM)、以及存储器总线动态RAM(RDRAM)等。

[0134] 以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0135] 以上所述实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来

说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请专利的保护范围应以所附权利要求为准。

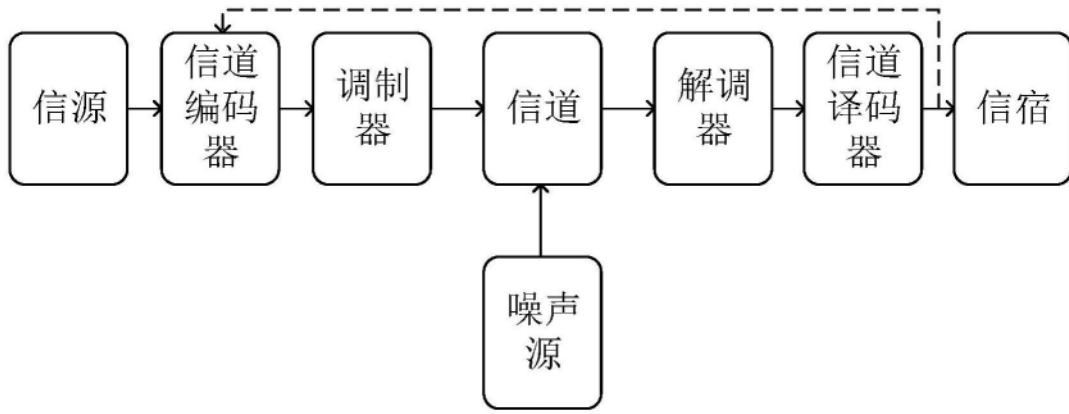


图1

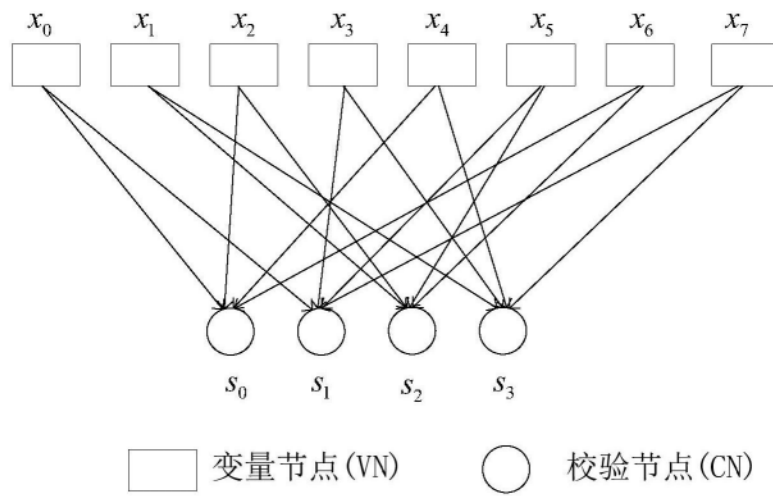


图2

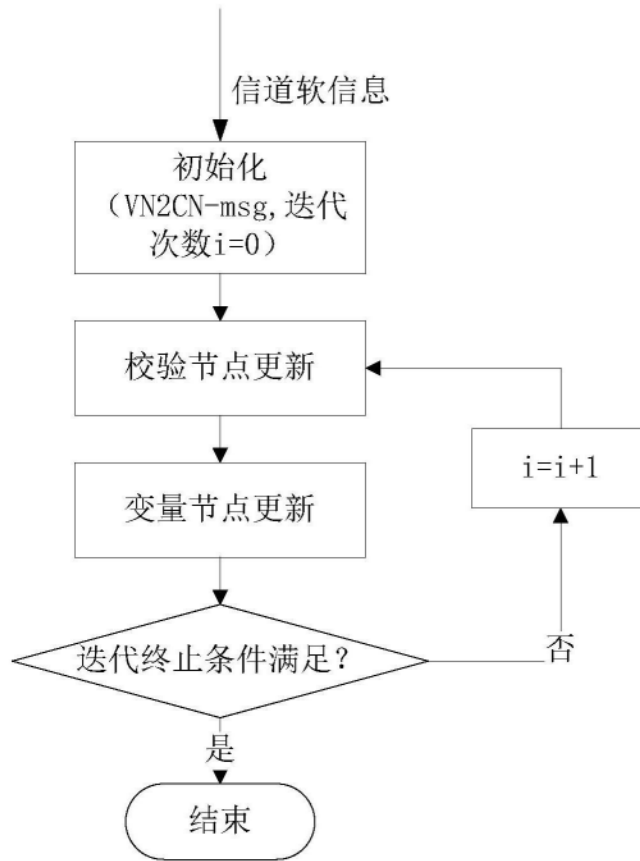


图3

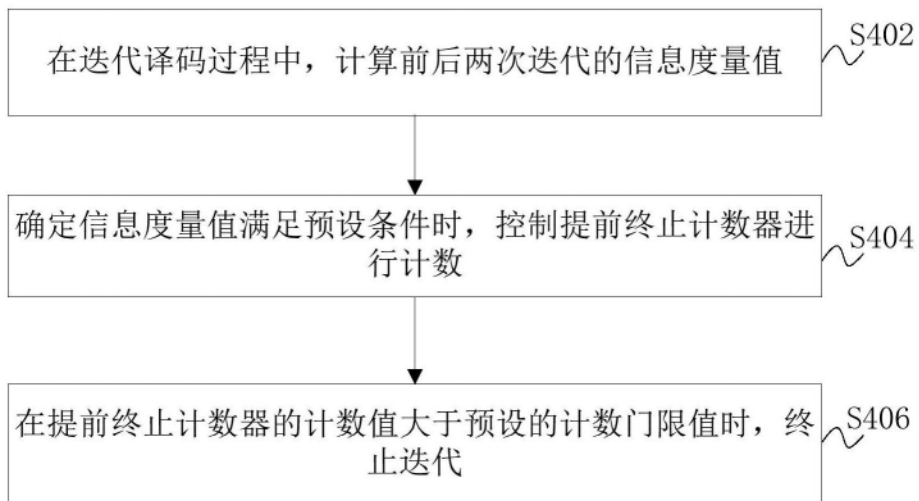


图4

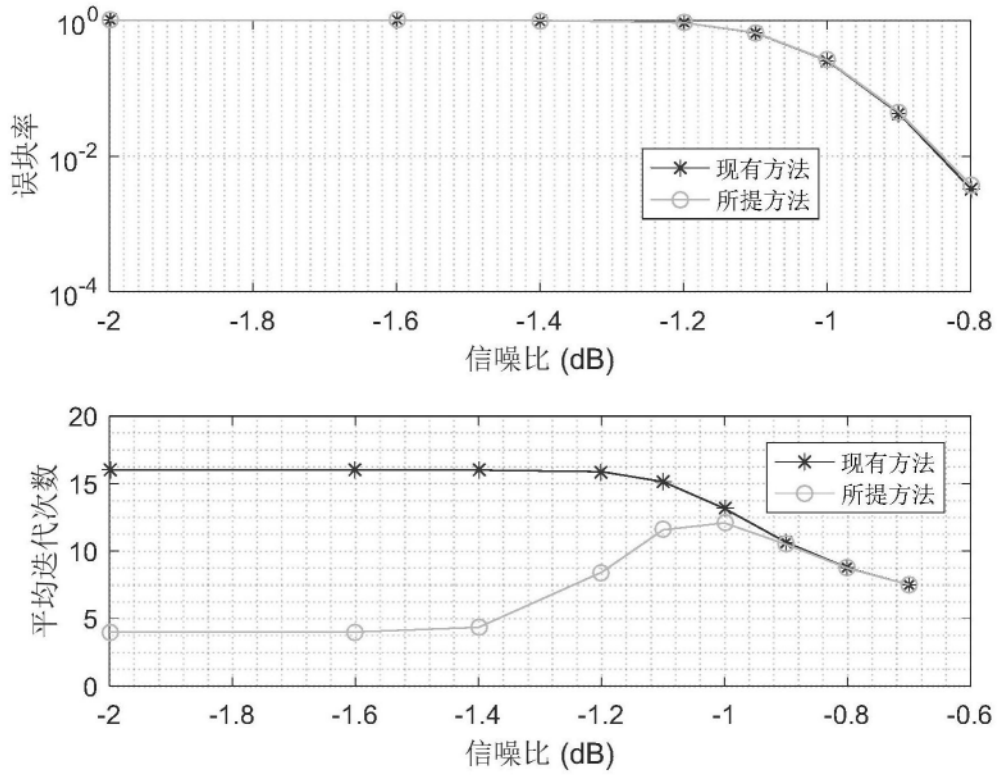


图5

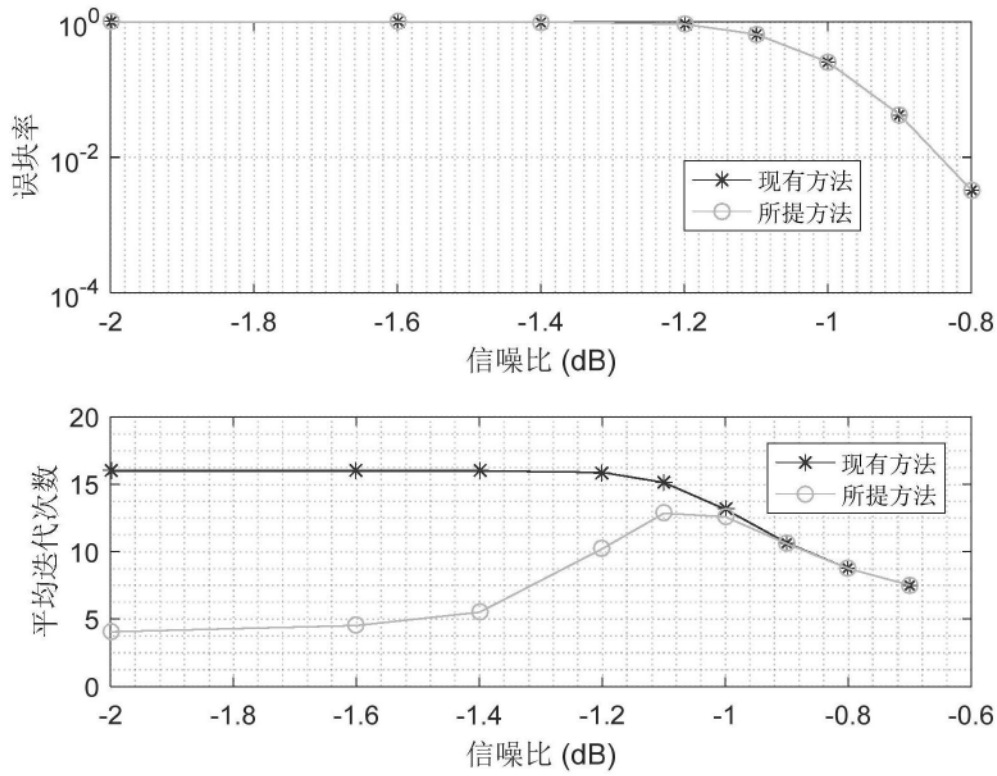


图6

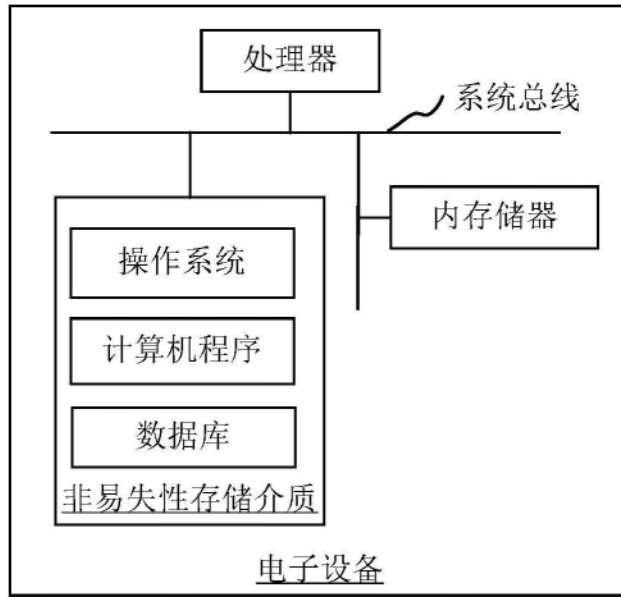


图7

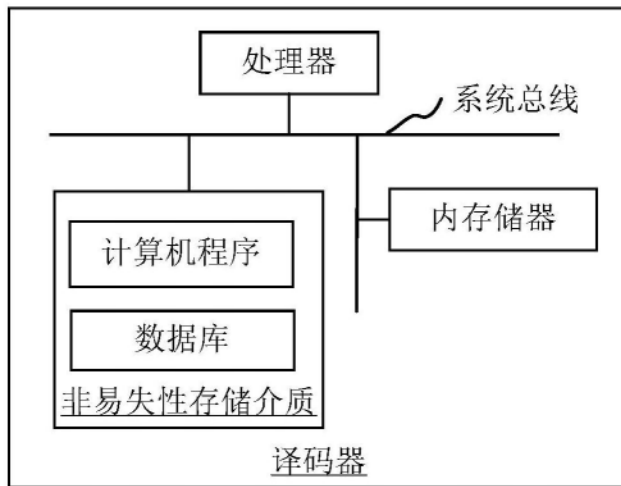


图8

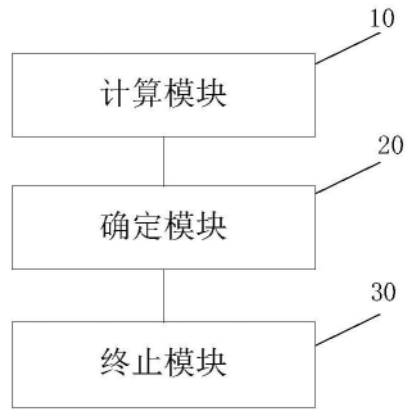


图9