



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110995282 A
(43)申请公布日 2020.04.10

(21)申请号 201911361261.5

(22)申请日 2019.12.25

(71)申请人 天津师范大学

地址 300387 天津市西青区宾水西道393号

(72)发明人 柳元 何亚硕 赵晓楠

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代
理事务所 12201

代理人 李林娟

(51)Int.Cl.

H03M 13/11(2006.01)

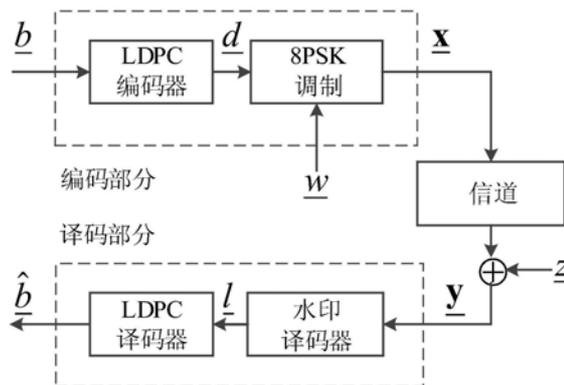
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54)发明名称

一种路径完全重叠的前向/后向译码方法

(57)摘要

本发明公开了一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,包括:1)信息序列 b 经LDPC编码器生成编码序列 d ;2)插入水印序列 w ,并采用八进制相移键控调制,映射规则为 μ ,输出已调信号 x ;3)已调信号 x 经过插入/删节-加性高斯白噪声信道产生接收序列 y ;4)水印译码器接收序列 y ,纠正插入/删节错误,输出似然序列 l ;5)LDPC译码器接收 l ,利用对数域置信度传播译码进行译码,输出信息序列的估计 \hat{b} 。本发明进一步减少前向/后向算法所需的存储量和计算量,并且不降低其性能。



1. 一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

- 1) 信息序列 \underline{b} 经LDPC编码器生成编码序列 \underline{d} ;
- 2) 插入水印序列 \underline{w} ,并采用八进制相移键控调制,映射规则为 μ ,输出已调信号 \underline{x} ;
- 3) 已调信号 \underline{x} 经过插入/删节-加性高斯白噪声信道产生接收序列 \underline{y} ;
- 4) 水印译码器接收序列 \underline{y} ,纠正插入/删节错误,输出似然序列 \underline{l} ;

5) LDPC译码器接收 \underline{l} ,利用对数域置信度传播译码进行译码,输出信息序列的估计 $\hat{\underline{b}}$;其中,上述步骤4)包括:

(4.1) 计算后向度量;

(4.2) 计算第 i 时刻的前向度量,利用后向度量和前向度量的非零状态对网格图进行删剪,确定状态重叠区域;

(4.3) 计算似然概率 \underline{l} 。

2. 根据权利要求1所述的一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,其特征在于,所述计算后向度量具体为:

$$B_i(b) = \sum_{c \in \{b-1, \dots, b+1\} \cap \Gamma'_{i+1}} P_{bc} Q_{bc}^i(\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}) B_{i+1}(c)$$

其中, Γ'_{i+1} 包含第 $i+1$ 时刻后向度量的非零状态; P_{bc} 为前一时刻状态为 b ,当前时刻状态为 c 时的转移概率; Q_{bc}^i 为第 i 时刻状态为 b ,第 $i+1$ 时刻状态为 c 时的输出概率; $\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}$ 为已知第 $i+1$ 时刻状态为 c 且第 i 时刻状态为 b 时对应的子接收序列; $B_{i+1}(c)$ 为第 $i+1$ 时刻状态 c 的后向度量值; $0 \leq i < N$;取 $B_i(b)$ 最大的前 β 项,并将对应的 β 个状态存入 Γ'_{i+1} 。

3. 根据权利要求1所述的一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,其特征在于,所述第 i 时刻的前向度量具体为:

$$F_i(a) = \sum_{c \in \{a-1, \dots, a+1\} \cap \Gamma_{i-1}} F_{i-1}(c) P_{ca} Q_{ca}^{i-1}(\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a})$$

其中, $-t_{\max} \leq a \leq t_{\max}$, t_{\max} 为最大状态值, a 为状态, $0 \leq i < N$, Γ_{i-1} 包含第 $i-1$ 时刻前向度量的非零状态, $F_{i-1}(c)$ 为第 $i-1$ 时刻状态 c 的前向度量值, P_{ca} 为前一时刻状态为 c ,当前时刻状态为 a 时的转移概率; Q_{ca}^{i-1} 为第 $i-1$ 时刻状态为 c ,第 i 时刻状态为 a 时的输出概率; $\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a}$ 为已知第 $i-1$ 时刻状态为 c ,第 i 时刻状态为 a 时对应的子接收序列; Γ_{i-1} 为第 $i-1$ 时刻对应的前向度量值非零的状态集合;取 $F_i(a)$ 最大的前 β 项,并将对应的 β 个状态存入 Γ_i 。

4. 根据权利要求1所述的一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,其特征在于,所述方法包括:

用后向度量值去调整前向度量值,如果 $a \notin \Gamma'_i$, $F_i(a) = 0$;

进一步,用前向度量值调整后向度量值,如果 $b \notin \Gamma_i$, $B_i(b) = 0$ 。

一种路径完全重叠的前向/后向译码方法

技术领域

[0001] 本发明涉及数字通信差错控制编码领域,尤其涉及一种路径完全重叠的前向/后向译码方法。

背景技术

[0002] 在通信系统中,传输序列将会受到插入和删节的影响,这是由于采样时钟速率不稳定引起的。即使单个插入/删节也会造成灾难性的替代错误,导致系统发生失同步,降低系统的性能。如何设计插入/删节纠错码的编译码算法是一个具有挑战性的问题。

[0003] 早期的纠正插入/删节的编码方案属于代数构造码,仅限于纠正单个插入/删节错误或噪声受限错误。随后,Yazdani设计了一种级联码,该码将内部水印与外部低密度奇偶校验(LDPC)码相结合,能够纠正多个随机插入、删节和加性高斯白噪声(AWGN)错误。该级联码的内译码器采用基于概率域的前向/后向译码器估计每个符号发生插入/删节的概率,并为外LDPC译码器提供对数似然信息(LLR);外译码器利用LLR估计信源的发送信息。这种级联码的编译码方案的性能优越,受到了学者们的广泛研究。

[0004] 然而,在传统级联码中,用于纠正插入/删节的水印译码器所基于的译码网格图中每个时刻对应的状态数相等,网格图包含大量的冗余状态。当信道条件恶劣,即插入/删节概率较高时,为保证译码器定位错误的能力,每一时刻对应的状态数增多;并且,随着级联码码长的增加,译码网格图的尺寸变得巨大。基于该译码网格图所设计的前向/后向译码算法的计算量过高,译码时延较大。

发明内容

[0005] 本发明提供了一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,本发明进一步减少前向/后向算法所需的存储量和计算量,并且不降低其性能,详见下文描述:

[0006] 一种路径完全重叠的前向/后向译码方法,所述方法包括以下步骤:

[0007] 1) 信息序列 \underline{b} 经LDPC编码器生成编码序列 \underline{d} ;

[0008] 2) 插入水印序列 \underline{w} ,并采用八进制相移键控调制,映射规则为 μ ,输出已调信号 \underline{x} ;

[0009] 3) 已调信号 \underline{x} 经过插入/删节-加性高斯白噪声信道产生接收序列 \underline{y} ;

[0010] 4) 水印译码器接收序列 \underline{y} ,纠正插入/删节错误,输出似然序列 \underline{l} ;

[0011] 5) LDPC译码器接收 \underline{l} ,利用对数域置信度传播译码进行译码,输出信息序列的估计 $\hat{\underline{b}}$ 。

[0012] 其中,上述步骤4)包括:

[0013] (4.1) 计算后向度量;

[0014] (4.2) 计算第 i 时刻的前向度量,利用后向度量和前向度量的非零状态对网格图进行删剪,确定状态重叠区域;

[0015] (4.3) 计算似然概率 \underline{l} 。

[0016] 所述计算后向度量具体为:

$$[0017] \quad B_i(b) = \sum_{c \in \{b-1, \dots, b+l\} \cap \Gamma'_{i+1}} P_{bc} Q_{bc}^i(\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}) B_{i+1}(c)$$

[0018] 其中, Γ'_{i+1} 包含 $i+1$ 时刻后向度量的非零状态; P_{bc} 为前一时刻状态为 b , 当前时刻状态为 c 时的转移概率; Q_{bc}^i 为第 i 时刻状态为 b , 第 $i+1$ 时刻状态为 c 时的输出概率; $\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}$ 为已知第 i 时刻状态为 b 且第 $i+1$ 时刻状态为 c 时对应的子接收序列; $B_{i+1}(c)$ 为第 $i+1$ 时刻状态 c 的后向度量值; 取 $B_i(b)$ 最大的前 β 项, 并将对应的 β 个状态存入 Γ'_i 。

[0019] 所述第 i 时刻的前向度量具体为:

$$[0020] \quad F_i(a) = \sum_{c \in \{a-1, \dots, a+1\} \cap \Gamma_{i-1}} F_{i-1}(c) P_{ca} Q_{ca}^{i-1}(\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a}),$$

[0021] 其中, $-t_{\max} \leq a \leq t_{\max}$, t_{\max} 为最大状态值, a 为状态, $0 \leq i < N$, Γ_{i-1} 包含第 $i-1$ 时刻前向度量的非零状态, $F_{i-1}(c)$ 为第 $i-1$ 时刻状态 c 的前向度量值, P_{ca} 为前一时刻状态为 c , 当前时刻状态为 a 时的转移概率; Q_{ca}^{i-1} 为第 $i-1$ 时刻状态为 c , 第 i 时刻状态为 a 时的输出概率; $\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a}$ 为已知第 $i-1$ 时刻状态为 c , 第 i 时刻状态为 a 时对应的子接收序列; Γ_{i-1} 为第 $i-1$ 时刻对应的前向度量值非零的状态集合; 取 $F_i(a)$ 最大的前 β 项, 并将对应的 β 个状态存入 Γ_i 。

[0022] 所述方法包括: 用后向度量值去调整前向度量值, 如果 $a \notin \Gamma'_i$, $F_i(a) = 0$;

[0023] 再用前向度量值调整后向度量值, 如果 $b \notin \Gamma_i$, $B_i(b) = 0$ 。

[0024] 本发明提供的技术方案的有益效果是:

[0025] 1、本发明基于对传统的自适应译码网格图上前向/后向度量值的观察, 设计了一种路径完全重叠的前向/后向译码策略, 针对一些状态对应的前向度量或后向度量等于零的情况, 该策略对这些状态进行合理删剪, 并将前向传递和后向传递的路径限制在一个相互重叠的不规则的窄带网格图内;

[0026] 2、水印译码过程中, 这些被删剪的状态不参与前向/后向度量以及似然概率的计算, 因此能够降低水印译码器的存储量和计算量, 提升水印译码器定位插入/删节错误以及恢复序列长度的速度;

[0027] 3、进一步, 在减少了整个译码器的存储量和译码复杂度的情况下, 没有造成明显的性能损失。

附图说明

[0028] 图1是路径完全重叠的前向/后向译码策略的系统框图;

[0029] 图2是映射 μ 的星座图;

[0030] 图3是计算前向度量的流程图;

[0031] 图4是路径完全重叠的前向/后向译码策略的自适应删剪状态图;

[0032] 图5是所提算法与传统算法在不同网格宽度下的误帧率。

具体实施方式

[0033] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚, 下面对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0034] 为了解决背景技术中存在的问题,本发明提出了一种路径完全重叠的前向/后向译码方法。该方法对低于阈值的前向/后向状态进行删剪,进一步保证后向度量的传递路径和前向度量一致。由于译码网格图中的状态数变少,前向/后向译码所需的存储量也相应地降低。

[0035] 为了进一步减少传统前向/后向译码所需的计算量,本发明引入了一种路径完全重叠的前向/后向译码网格图,并在该网格图的基础上设计了译码算法。本发明中,前向传递的路径不仅受状态度量值的限制,而且还受非零后向度量值的限制。与传统方案不同的是,在所提出的前向/后向译码中,当网格图的后向状态值为零时,对应的前向状态会被进一步删剪,这一特点将扩大非零前向/后向状态的重叠区域。与传统方案相比,使用所提出的译码方案,可以降低译码算法的存储量,而不影响其性能。

[0036] 本发明在自适应删剪网格图的基础上提供了一种路径完全重叠的前向/后向译码策略。以下首先给出一些符号的定义:

[0037] 信息序列 \underline{b} 经外编码器生成编码序列 \underline{d} ,其中 \underline{b} 长度为 K_L 个比特, \underline{d} 长度为 N_L 。将长度为 N 的水印序列 \underline{w} 均匀嵌入 \underline{d} 中,并依据映射 μ 进行调制。已调信号 \underline{x} 经过信道产生接收序列 \underline{y} 。水印译码器将 \underline{y} 与已知符号集中的元素对比,推断是否发生插入/删节并计算比特似然信息 \underline{l} 。 δ_{\max} 是LDPC码的最大译码迭代次数, $F_i(a)$ 为第 i 时刻的前向度量向量, $B_i(b)$ 为第 i 时刻的后向度量向量, $0 \leq i < N$, $t \in T$ 为漂移量,也即网格图的状态, $T = 2t_{\max} + 1$ 为每个时刻的状态数, x_i 为第 i 个发送符号, N 为发送序列 \underline{x} 的符号长度, I 为最大插入量。之后,LDPC译码器利用 \underline{l} 完成迭代译码,输出信息序列的估计 $\hat{\underline{b}}$ 。其中,外码为二进制LDPC码,水印码为伪随机序列, \underline{z} 中的元素 $z_i \sim N(0, \sigma^2)$, σ 为噪声的标准差。

[0038] 本发明基于自适应删剪网格图,提出一种路径完全重叠的前向/后向译码策略,能降低译码损失度,且没有明显的性能损失。

[0039] 下面结合附图对本发明的一种路径完全重叠的前向/后向译码策略做出详细说明。

[0040] 如图1所示,本发明包括以下五个步骤:

[0041] 1) 将信息序列 \underline{b} 经外LDPC编码器生成编码序列 \underline{d} ;

[0042] 2) 插入水印序列 \underline{w} ,并采用八进制相移键控调制,映射规则为 μ ,输出已调信号 \underline{x} ;

[0043] 3) 已调信号 \underline{x} 经过插入/删节-加性高斯白噪声(ID-AWGN)信道产生接收序列 \underline{y} ;

[0044] 4) 内部水印译码器接收序列 \underline{y} ,采用一种路径完全重叠的前向/后向译码策略纠正插入/删节错误,输出似然序列 \underline{l} ;

[0045] (4.1) 计算后向度量;

[0046] (4.2) 计算前向度量;

[0047] (4.3) 计算似然概率 \underline{l} 。

[0048] 5) LDPC译码器接收 \underline{l} ,利用对数域置信度传播(BP)译码算法进行译码,输出信息序列的估计 $\hat{\underline{b}}$ 。

[0049] 以下分别介绍上述五个步骤的具体实施步骤。

[0050] 步骤2)中插入水印序列,并采用八进制相移键控调制的步骤包括:

[0051] (2.1) 将码字 \underline{d} 划分为 N 份,每份包含 m 个比特;

[0052] (2.2) 每隔m个比特插入一个水印比特,水印码的长度 $N=N_L/m$;

[0053] (2.3) 水印比特与信息比特组成的m+1个比特映射为星座图中的一个符号 x_i ;

[0054] (2.4) N个 x_i 组成发送序列 \underline{x} 。

[0055] 步骤3)中已调信号 \underline{x} 经过信道产生接收序列 \underline{y} 的步骤包括:

[0056] (3.1) 发送符号 x_i 通过ID信道;

[0057] (3.2) ID信道的输出被送入AWGN信道,得到 \underline{y} 。

[0058] 步骤(4.1)中计算后向度量具体为:

[0059] (4.1.1) 初始化第 $i=N+5t_{\max}$ 时刻的后向度量值:

$$[0060] \quad B_{N+5x_{\max}}(t) = 1/T, t \in T,$$

[0061] (4.1.2) 判断 $i < N$,若判断条件成立,计算后向度量值:

$$[0062] \quad B_i(b) = \sum_{c \in \{b-1, \dots, b+1\} \cap \Gamma'_{i+1}} P_{bc} Q_{bc}^i(\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}) B_{i+1}(c)。$$

[0063] 其中, Γ'_{i+1} 包含第i+1时刻后向度量的非零状态; P_{bc} 为前一时刻状态为b,当前时刻状态为c时的转移概率; Q_{bc}^i 为第i时刻状态为b,第i+1时刻状态为c时的输出概率, $\mathbf{y}_{i+b}, \dots, \mathbf{y}_{i+c}$ 为已知第i时刻状态为b且第i+1时刻状态为c时对应的子接收序列; $B_{i+1}(c)$ 为第i+1时刻状态c的后向度量值;取 $B_i(b)$ 最大的前 β 项,并将对应的 β 个状态存入 Γ'_i ,其它状态对应的后向度量值设为零;若判断条件不成立,跳至步骤(4.2)。

[0064] 其中,上述转移概率 P_{bc} 与输出概率 Q_{bc}^i 的计算均为本领域技术人员所公知,本发明实施例对此不做赘述。

[0065] 步骤(4.2)计算第i时刻的前向度量,利用后向度量和前向度量的非零状态对网格图进行删剪,确定状态重叠区域可细分为以下几个步骤:

[0066] (4.2.1) 初始化第0时刻的前向度量值:

$$[0067] \quad F_0(t) = \begin{cases} 1, & t = 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, t \in T;$$

[0068] (4.2.2) 计算第i时刻的前向度量:

$$[0069] \quad F_i(a) = \sum_{c \in \{a-1, \dots, a+1\} \cap \Gamma_{i-1}} F_{i-1}(c) P_{ca} Q_{ca}^{i-1}(\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a}),$$

[0070] 其中, $-t_{\max} \leq a \leq t_{\max}$, t_{\max} 为最大状态值,a为状态, $0 \leq i < N$, Γ_{i-1} 包含第i-1时刻前向度量的非零状态, $F_{i-1}(c)$ 为第i-1时刻状态c的前向度量值; P_{ca} 为前一时刻状态为c,当前时刻状态为a时的转移概率; Q_{ca}^{i-1} 为第i-1时刻状态为c且第i时刻状态为a时的输出概率; $\mathbf{y}_{i-1+c}, \dots, \mathbf{y}_{i-1+a}$ 为已知第i-1时刻状态为c且第i时刻状态为a时对应的子接收序列, Γ_{i-1} 为第i-1时刻对应的前向度量值非零的状态集合;取 $F_i(a)$ 最大的前 β 项,并将对应的 β 个状态存入 Γ_i ,其它状态对应的前向度量设为零。

[0071] (4.2.3) 用后向度量值调整前向度量值,如果 $a \notin \Gamma'_i$, $F_i(a) = 0$;

[0072] (4.2.4) 用前向度量值调整后向度量值,如果 $b \notin \Gamma_i$, $B_i(b) = 0$;

[0073] (4.2.5) 判断 $i < N$,若判断条件成立,重复执行步骤(4.2.2)至(4.2.4),若判断条件不成立,跳至步骤(4.3)。

[0074] 其中,步骤(4.3)计算似然序列 $\underline{1}$ 的步骤包括:

[0075] (4.3.1)计算条件概率:

$$[0076] \quad P(\underline{y} | \mathbf{x}_i, \underline{w}) = \sum_{a,b} F_i(a) \dot{Q}_{ab}^i(\tilde{\mathbf{y}} | \mathbf{x}_i) B_{i+1}(b),$$

[0077] 其中,

$$[0078] \quad \dot{Q}_{a,b}^i(\tilde{\mathbf{y}} | \mathbf{x}_i) = (\alpha_I P_i^{b-a+1} P_d \prod_{k=i+a}^{i+b} \gamma_k + \alpha_I P_i^{b-a} P_i \beta'_{i+b} \prod_{k=i+a}^{i+b-1} \gamma_k) / P_{ab},$$

$$[0079] \quad \gamma_k = \frac{1}{2M} \sum_{\mathbf{t} \in \mathcal{X}} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|\tilde{\mathbf{y}} - \mathbf{t}|^2}{2\sigma^2}\right),$$

$$[0080] \quad \beta'_{i+b} = \frac{1}{M} \sum_{\mathbf{t} \in \mathcal{X}^{w_i}} \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{|\tilde{\mathbf{y}} - \mathbf{t}|^2}{2\sigma^2}\right),$$

[0081] 其中, α_I 等于 $1/(1-(P_i)^I)$, $M=2^m$, $\tilde{\mathbf{y}}$ 为在*i*时刻状态为*a*及*i+1*时刻状态为*b*的条件下的子接收序列。

[0082] (4.3.2)计算比特似然概率:

$$[0083] \quad l_{i,j} = \log \frac{P(d_{mi+j}=0 | \underline{y}, \underline{w})}{P(d_{mi+j}=1 | \underline{y}, \underline{w})} = \log \frac{P(\underline{y} | d_{mi+j}=0, \underline{w})}{P(\underline{y} | d_{mi+j}=1, \underline{w})} = \log \frac{\sum_{x_i \in \mathcal{X}^{w_i} (d_{mi+j}=0)} P(\underline{y} | \mathbf{x}_i, \underline{w})}{\sum_{x_i \in \mathcal{X}^{w_i} (d_{mi+j}=1)} P(\underline{y} | \mathbf{x}_i, \underline{w})},$$

[0084] 其中, $\mathcal{X}^{w_i} (d_{mi+j}=1)$ 表示已知 w_i 且 $d_{mi+j}=1$ 时对应的星座点集合; $P(\underline{y} | d_{mi+j}=0, \underline{w})$ 表示在已知 w 及 $d_{mi+j}=0$ 的条件下,接收到序列 \underline{y} 的概率; $P(\underline{y} | d_{mi+j}=1, \underline{w})$ 表示在已知 w 及 $d_{mi+j}=1$ 的条件下,接收到序列 \underline{y} 的概率; $P(d_{mi+j}=0 | \underline{y}, \underline{w})$ 表示在已知 w 及接收序列 \underline{y} 的条件下, $d_{mi+j}=0$ 的概率; $P(d_{mi+j}=1 | \underline{y}, \underline{w})$ 表示在已知 w 及接收序列 \underline{y} 的条件下, $d_{mi+j}=1$ 的概率。

[0085] 步骤5)LDPC译码器利用 $\underline{1}$ 完成迭代译码,输出信息序列的估计 $\hat{\underline{b}}$ 的步骤包括,将 $\underline{1}$ 送入LDPC译码器;采用二进制LDPC码的对数域BP译码算法进行译码;重复上述译码步骤,直至达到预设的最大迭代次数 δ_{\max} 。

[0086] 具体实施例

[0087] 本发明以码长 N_L 为4000,码率为1/2的二进制规则LDPC码为一个特例,介绍本发明提供的一种路径完全重叠的前向/后向译码方法。

[0088] 仿真中采用伪随机序列作为内部水印码,采用二进制LDPC码作为外码,调制方式为八进制相移键控调制。传输符号被划分*N*份, $N=2000$,每份包含的比特数 $m=2$,

$t_{\max} = 5\sqrt{NP_d / (1-P_d)}$,LDPC码的译码器采用置信度传播译码算法,最大迭代次数 δ_{\max} 为20次,信噪比SNR为20dB,信道中最大插入数目*I*为5, $P_i = P_d$, P_i 为信道的插入概率, P_d 为信道的删节概率。

[0089] 图4记录了每个时刻前向/后向度量值不为零的状态,并与传统的状态图进行对比。图中,a图为传统的前向/后向度量不为零的状态分布图,b图为路径重叠的前向/后向状态分布图。a图中,前向度量不为零的状态区域与后向度量不为零的状态区域之间存在重叠区域,但不完全覆盖。b图中,前向度量不为零的状态区域与后向度量不为零的状态区域完

全重叠。由于前向/后向译码算法删去了对纠错能力贡献不大的状态,且利用后向度量修正了前向度量的传递路径,进而限制了网格图中前向度量和后向度量的路径宽度;因此能够降低前向/后向译码算法的存储量,提高水印译码器的译码速度。

[0090] 图5给出了所提算法与传统算法的性能比较,其中FER代表误帧率。令 α 为所提出算法的状态区域的宽度。如图所示, $\alpha_1 \approx 45$ 对应 $\beta = 50$,与 $\alpha_2 \approx 26$ 对应 $\beta = 30$ 这两组参数下,在存储量减少的情况下所提出的算法没有造成性能损失,几乎完全拟合传统算法的误帧率;特别地,当 $\beta = 20$, $\alpha_3 \approx 17$ 时,所提算法的误帧率甚至低于传统算法,性能优于传统算法。仿真结果表明,本发明提出的方法以较小的存储量获得了译码增益。本发明所需的存储量为传统方案的 α/β 。

[0091] 本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图,上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0092] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

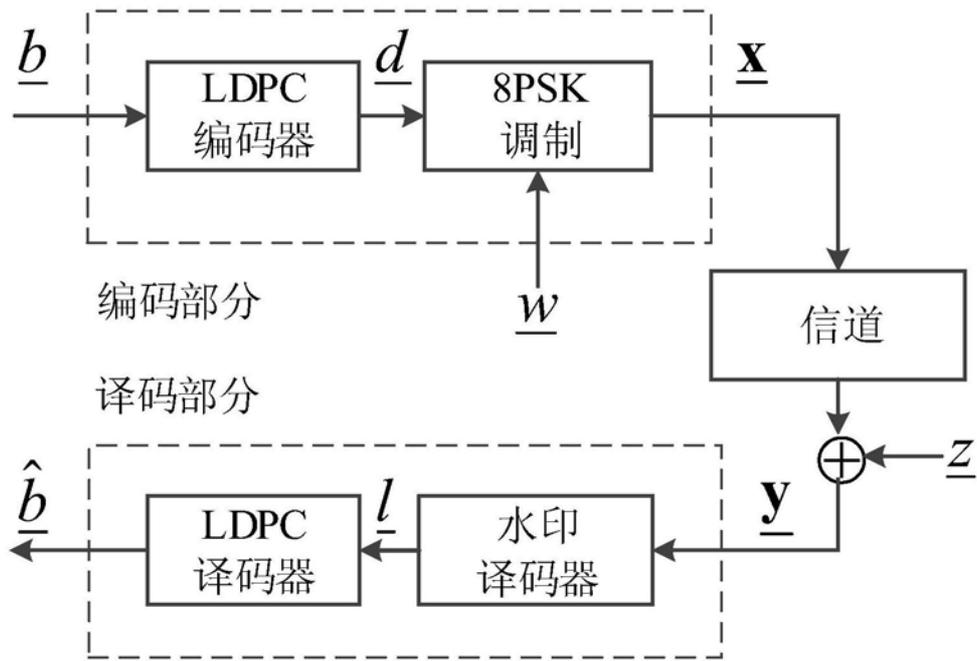


图1

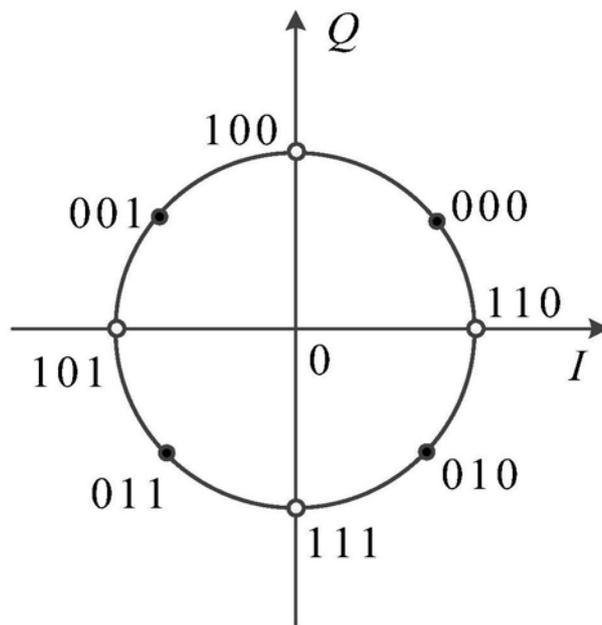


图2

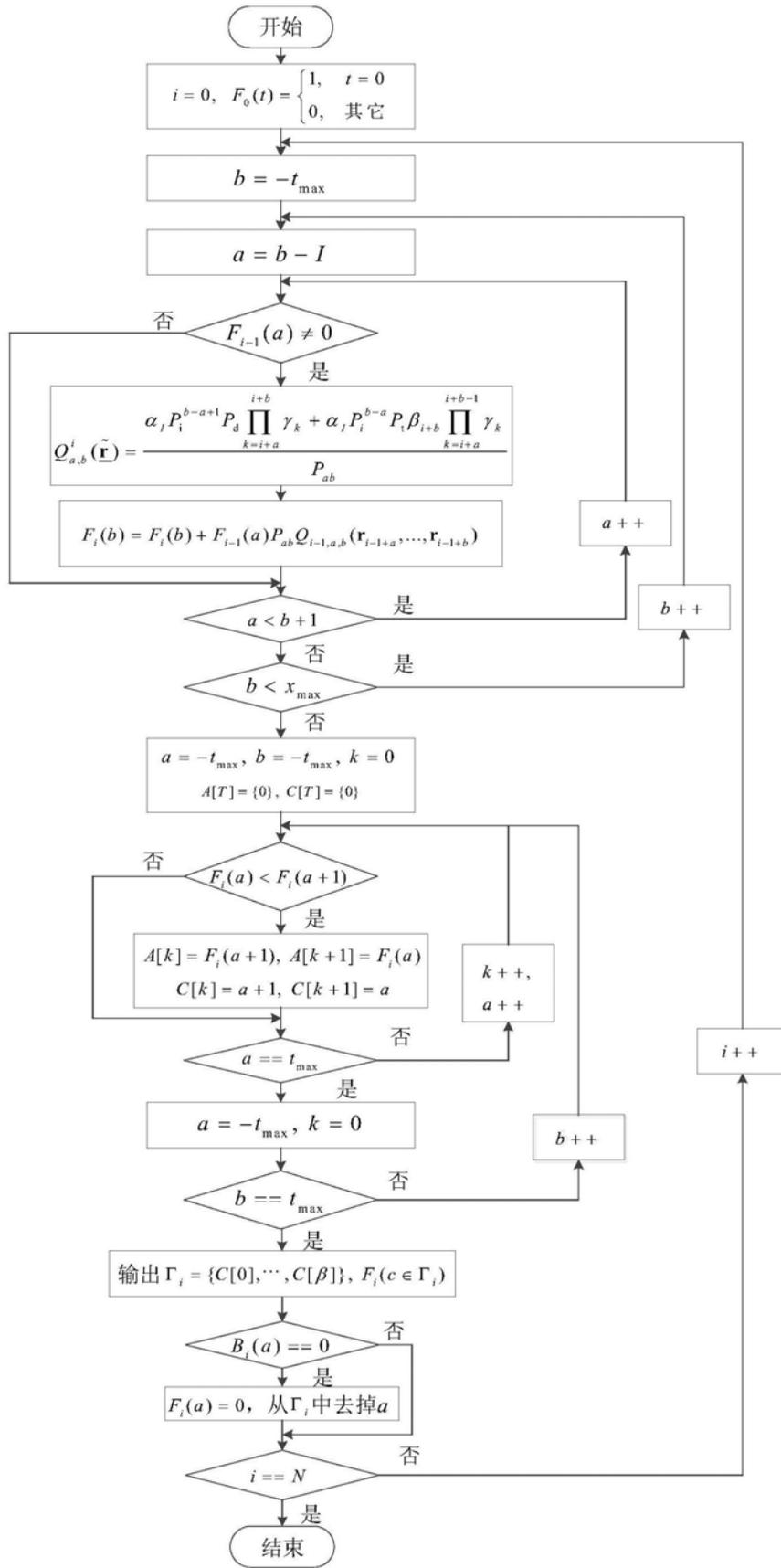
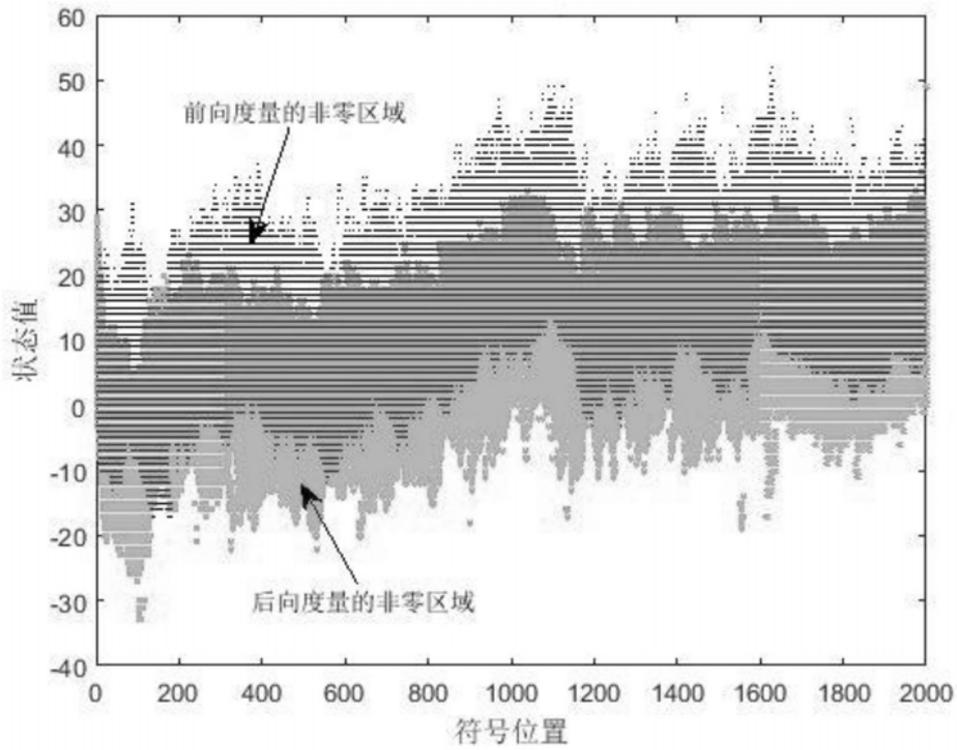
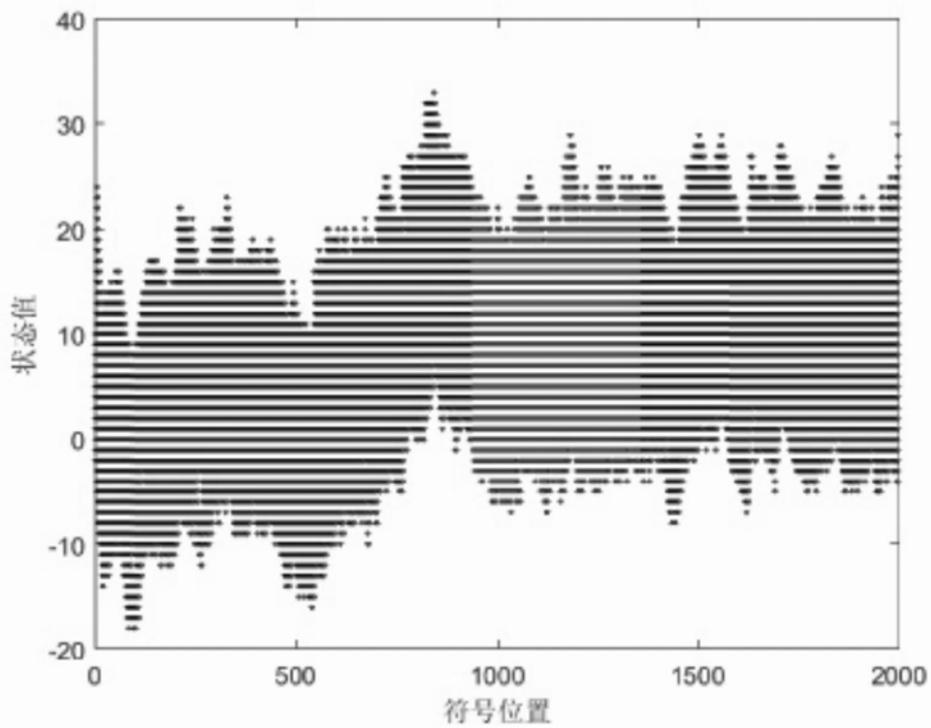


图3



(a)



(b)

图4

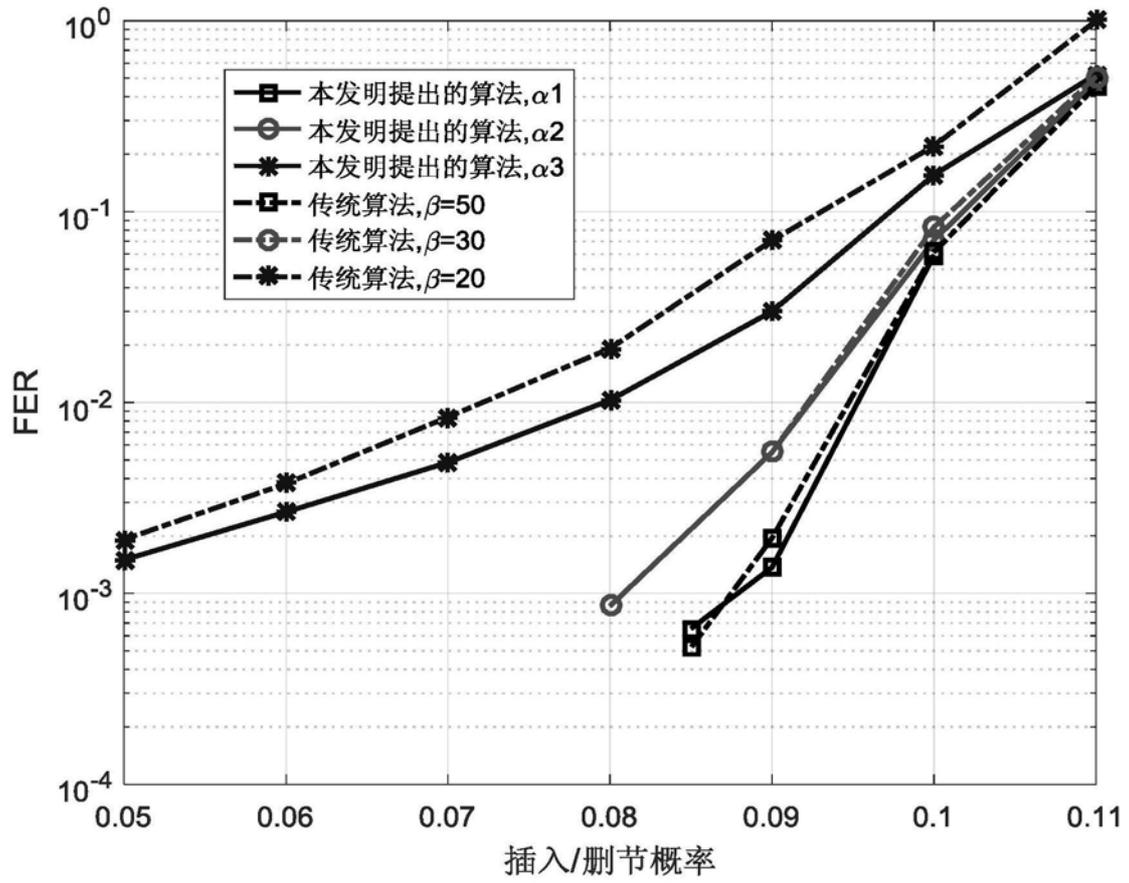


图5