



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114362764 B

(45) 授权公告日 2024.05.28

(21) 申请号 202210013758.3

(22) 申请日 2022.01.06

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 114362764 A

(43) 申请公布日 2022.04.15

(73) 专利权人 清华大学  
地址 100084 北京市海淀区清华园

(72) 发明人 陈钊 孙臻 殷柳国

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227  
专利代理师 牛亭亭

(51) Int. Cl.  
H03M 13/11 (2006.01)  
H04L 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 102025441 A, 2011.04.20
- CN 104579576 A, 2015.04.29
- CN 105262493 A, 2016.01.20
- CN 108471340 A, 2018.08.31
- CN 111313909 A, 2020.06.19
- CN 113141185 A, 2021.07.20
- WO 2017214851 A1, 2017.12.21
- WO 2021180217 A1, 2021.09.16

审查员 南楠

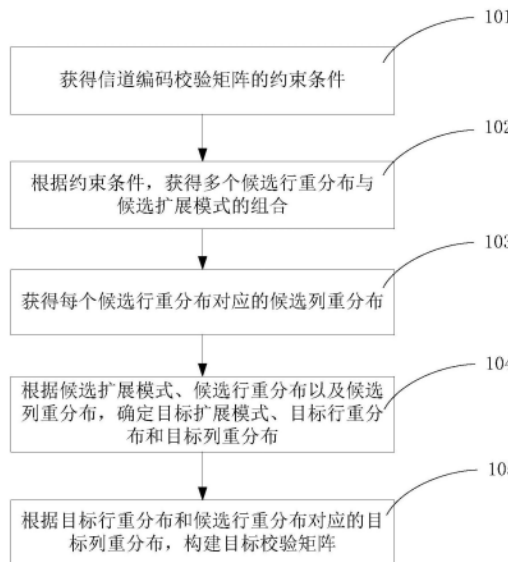
权利要求书3页 说明书13页 附图5页

(54) 发明名称

URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法及装置

(57) 摘要

URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法及装置。本申请公开了一种URLLC场景下信道编码码字构造方法及装置,其中,该方法包括:基于目标码字的码长码率要求,获得总码率误差、总码率范围和母码码率范围等约束条件;根据约束条件,获得多个候选行重分布及扩展模式,再针对每个候选行重分布,筛选出满足列重范围及最小方差条件的候选列重分布;基于此,筛选出满足译码门限最低条件的目标行重分布、目标列重分布以及目标扩展模式;根据目标行重分布和目标列重分布生成目标校验矩阵,再根据目标校验矩阵及目标扩展模式进行编码得到目标传输码字。通过本发明提供的构造方法及装置,生成的目标传输码字具有低码率短码结构,不仅能够保证较低的时延,还可以提高码字传输的可靠性。



1. 一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法,其特征在于,包括:

获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;

其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;

根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围;

获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;

根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布;

根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

使用所述目标校验矩阵对信道中的信息比特进行编码,以得到LDPC码字,所述LDPC码字的比特长度与所述变量节点的数量相对应;

根据所述目标扩展模式所表征的校验节点的扩展比例,对所述LDPC码字进行处理,以得到所述被扩展的校验节点对应的代数码码字,所述代数码码字的比特长度与所述校验节点所在行的行重值相关;

根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字,包括:

将所述代数码码字按照其对应的校验节点之间的次序,添加到所述LDPC码字之后,以得到目标传输码字。

4. 根据权利要求2或3所述的方法,其特征在于,在根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字之后,所述方法还包括:

对所述目标传输码字进行凿孔处理,以使得所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,对所述目标传输码字进行凿孔处理,包括:

按照所述目标校验矩阵中对应的行重值从高到低的顺序,依次对所述目标传输码字中对应于相应行重值的代数码码字进行凿孔处理,直到所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。

6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述目标传输码字的所述代数码码字中被

凿孔处理的码字在所述代数码码字中的比例小于或等于预设比例值。

7. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在於,所述候选列重分布对应的列重值的方差满足方差最小条件。

8. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在於,根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布,包括:

在所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布中,选择满足译码门限最低条件的目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

9. 一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建装置,其特征在於,包括:

约束获得单元,用于获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;

其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;

候选行重获得单元,用于根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围;

候选列重获得单元,用于获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;

目标分布获得单元,用于根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布;

矩阵构建单元,用于根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

10. 一种通信设备,其特征在於,包括:

存储器,用于存储计算机程序以及所述计算机程序运行所产生的数据;

处理器,用于执行所述计算机程序,以实现:获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所

述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围；获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布，所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量；根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布，确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布；根据所述目标行重分布和所述目标列重分布，构建目标校验矩阵，所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配，且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配，所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码，以得到目标传输码字。

## URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法及装置

### 技术领域

[0001] 本申请涉及通信技术领域,尤其涉及一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法及装置。

### 背景技术

[0002] 高可靠低延时通信(Ultra Reliable Low Latency Communications,URLLC)是5G的三大应用场景之一,包括自动驾驶、智能电网、工业自动化、远程患者监测和远程医疗等。URLCC场景下的应用要求端到端误帧率低至 $10^{-6}$ ,时延1~10毫秒。高可靠性的实现需要低的编码码率,短时延的实现要求信道编码的码字长度较短。

[0003] 但是,高性能的低码率编码方法构造难度大,缩短码长通常会产生编码增益的损失、进一步恶化译码性能。因此,需要为URLLC场景提供高性能的低码率短码长的信道编码方案。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本申请提供一种URLLC场景下编译码校验矩阵的构建方法及装置,用以解决现有技术中无法实现短码长低码率信道编译码的技术问题,如下:

[0005] 一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法,包括:

[0006] 获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;

[0007] 其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;

[0008] 根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围;

[0009] 获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;

[0010] 根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和所述目标列重分布;

[0011] 根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得

到目标传输码字。

[0012] 上述方法,优选的,所述方法还包括:

[0013] 使用所述目标校验矩阵对信道中的信息比特进行编码,以得到LDPC码字,所述LDPC码字的比特长度与所述变量节点的数量相对应;

[0014] 根据所述目标扩展模式所表征的校验节点的扩展比例,对所述LDPC码字进行处理,以得到所述被扩展的校验节点对应的代数码码字,所述代数码码字的比特长度与所述校验节点所在行的行重值相关;

[0015] 根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字。

[0016] 上述方法,优选的,根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字,包括:

[0017] 将所述代数码码字按照其对应的校验节点之间的次序,添加到所述LDPC码字之后,以得到目标传输码字。

[0018] 上述方法,优选的,在根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字之后,所述方法还包括:

[0019] 对所述目标传输码字进行凿孔处理,以使得所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。

[0020] 上述方法,优选的,对所述目标传输码字进行凿孔处理,包括:

[0021] 按照所述目标校验矩阵中对应的行重值从高到低的顺序,依次对所述目标传输码字中对应于相应行重值的代数码码字进行凿孔处理,直到所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。

[0022] 上述方法,优选的,所述目标传输码字的所述代数码码字中被凿孔处理的码字在所述代数码码字中的比例小于或等于预设比例值。

[0023] 上述方法,优选的,所述候选列重分布对应的列重值的方差满足方差最小条件。

[0024] 上述方法,优选的,根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布,包括:

[0025] 在所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布中,选择满足译码门限最低条件的目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

[0026] 一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建装置,包括:

[0027] 约束获得单元,用于获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;

[0028] 其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;

[0029] 候选行重获得单元,用于根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所

述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码率范围；

[0030] 候选列重获得单元,用于获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量；

[0031] 目标分布获得单元,用于根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和所述目标列重分布；

[0032] 矩阵构建单元,用于根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

[0033] 一种通信设备,包括:

[0034] 存储器,用于存储计算机程序以及所述计算机程序运行所产生的数据；

[0035] 处理器,用于执行所述计算机程序,以实现获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码率范围、行重范围、列重范围;其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码率范围;获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和所述目标列重分布;根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

[0036] 由上述方案可知,本申请提供的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法及装置中,在获得校验矩阵的约束条件如行重范围和列重范围等之后,获得多个候选行重分布及候选扩展模式的组合,其中的候选行重分布与候选扩展模式的组合满足总码率误差、总码率范围和母码率范围,之后,再针对每个候选行重分布,筛选出候选列重分布,之后,再通过筛选出目标行重分布和目标列重分布构建目标校验矩阵,而所构建的目标校验矩阵就可以结合目标扩展模式对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。可见,本申请中在进行编码时,通过构建针对校验节点进行扩展的校验矩阵,并对实现编码所使用的校验矩阵进行优化,因此,使用优化后的校验矩阵能够在URLLC场景下实现低码率短码长的码字构造,不仅能够保证较低的时延,还可以提高传输的可靠性。

## 附图说明

[0037] 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0038] 图1为本申请实施例公开的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法的流程图;

[0039] 图2为适用于URLLC场景下的校验矩阵的tanner图;

[0040] 图3及图4分别为使用本申请实施例构建的目标校验矩阵进行编码的流程图;

[0041] 图5-图6分别为采用本申请中构建的目标校验矩阵的示意图;

[0042] 图7为本申请实施例公开的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建装置的结构示意图;

[0043] 图8为本申请实施例公开的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建装置的另一结构示意图;

[0044] 图9为本申请实施例公开的一种通信设备的结构示意图。

## 具体实施方式

[0045] 在URLLC场景中,短时延要求信道编码的码字长度较短,而高可靠性的实现通常需要低的编码码率。一方面,缩短码长通常会产生编码增益的损失。另一方面,高性能的低码率短码长的编码方法构造难度大。

[0046] 本申请的发明人在对URLLC场景中进行信道编译码研究时发现:已有许多短码长的码字在URLLC场景下被评估:低密度奇偶校验LDPC(low-density parity-check, ldpc)和Polar码已分别被选为5G增强移动宽带(enhanced Mobile Broad Band, eMBB)场景下的数据信道和控制信道的编码方案。它们也已经在URLLC场景下被评估。但是,由于短LDPC码校验矩阵中存在较多短环,使得其迭代译码性能恶化。而Polar码在短码长下性能也有待进一步提升,并且其串行的译码方法使得译码延时较大。

[0047] 基于以上缺陷,本申请的发明人对其他场景下的信道编码译码方案进行研究发现:代数码是一种具有结构化校验关系的分组码,具有优异的纠错能力优秀;但是代数码的码长码率不灵活,且软判决译码的复杂度随码长的增长迅速增加,使得它难以在URLLC场景中直接应用。广义稀疏码(generalized sparse codes, GS码)将LDPC码的单奇偶校验(single parity-check, SPC)校验节点扩展为代数约束,并将扩展生成的额外代数码校验序列作为冗余在信道上传输。这类码字可以采用多种代数码进行拓展,比如Hadamard码、RS码等代数编码,并且纠错性能更强、码率更低。GS码的译码过程类似于LDPC的BP算法,利用外信息在LDPC变量节点和代数校验节点之间迭代地计算传递而实现。长码长的GS码已经在许多场景里被证明具有优秀的性能。但是适用于URLLC的短码长低码率的GS码仍然缺少有效的构造方法。

[0048] 为了克服URLLC场景下信道编译码中存在的不足,本申请的发明人提出一种适用于URLLC场景的短码长低码率的GS码字构造方法,该方法在较短的码长下仍能保证传输的可靠性,可以有效支持URLLC场景的应用。



[0049] 具体的,本申请的发明人提出的码字构造方法主要包括:首先给出GS码的LDPC码字的行列度数序列(亦即校验节点和变量节点度数序列,也可以称为行重分布和列重分布)以及校验节点扩展模式所需满足的约束条件,然后找出所有可能的校验节点度数序列和扩展模式,接着对于每一种校验节点度数序列和扩展模式找出相应的方差最小的变量节点度数序列,并将使得译码门限最小的行列度数序列和校验节点扩展模式作为码字构造参数,再使用PEG-ACE算法由求得的度数序列生成LDPC母码校验矩阵,最后结合扩展模式执行GS编码。

[0050] 可见,本申请所提出的码字编译码的优化方案的有益效果如下:

[0051] 1、短码的构造上:本申请的GS码可以对LDPC母码选择使用任意的代数码进行扩展,并且对于不同度的校验节点可采用不同的部分扩展比例,使得GS码相对于LDPC码相比能够更好地适配信道,保证传输可靠性。

[0052] 2、短码构造上:传统长码的码字构造方法只关注译码门限,这在短码长下并不适用。本申请在优化行列度分度以及扩展模式来最小化译码门限的前提下,通过选择方差最小的变量节点度数序列,从而寻找到最均匀的变量节点分布。基于此,本申请构造的GS码在短码长情况下仍具备较低误码率,实现很低的误帧率,满足URLLC的应用要求。

[0053] 3、码率适配上:短码GS码的拓展模式中有效考虑了代数码种类和拓展因子的选择,提高了在目标码率下的搜索范围,可以实现更好的码率适配。同时在码字构造的最后通过凿孔来达到最终的目标码率。

[0054] 下面将结合本申请实施例中的附图,对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0055] 参考图1所示,为本申请实施例公开的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法的实现流程图,该方法可以适用于通信设备中,如手机或基站等。本实施例中的技术方案主要用于通过构建实现信道编码的校验矩阵,进而对信道中所传输的码字进行码字构造的实现方式进行优化,以实现低时延高可靠性的信道传输。

[0056] 具体的,本实施例中的方法可以包含以下步骤:

[0057] 步骤101:获得信道编码校验矩阵的约束条件。

[0058] 校验矩阵以行为校验节点,并以列为变量节点。如图2中所示,在GS码的tanner图中,GS码的LDPC母码校验矩阵记为 $H^{M \times N}$ ,母码码率记为 $R_L$ ,其中共有M个校验节点,N个变量节点,其中的方框表示校验节点,实线圆圈表示度为j的LDPC变量节点,虚线圆圈表示度为1的代数码变量节点。

[0059] 本实施例中,可以基于目标码字的码长码率的要求信息,获得各项约束条件。校验矩阵的约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围。其中的总码率为:输入序列的比特长度与输出码字的比特长度的比值,母码码率为:输入序列的比特长度与输出码字的比特长度的比值。输入序列的比特长度以K表示,K为M-N。其中的输出码字包含LDPC码字和代数码码字,代数码可以为Hadamard码、RS码等,LDPC码字是通过校验矩阵针对变量节点进行编码所输出的码字比特,代数码码字为经过对校验矩阵的校验节点进行扩展所输出的码字比特。

[0060] 具体的,总码率误差可以用E表示,可以为预设值,如0.001等;总码率范围可以用R表示,是在目标码率 $R_G$ 的基础上进行E的浮动所得到的范围,即 $R \in [R_G(1-E), R_G]$ ;母码码率范围可以用 $R_L$ 表示, $R_L$ 对应应有最大值 $R_{L,max}$ 和最小值 $R_{L,min}$ ,即 $R_L \in [R_{L,min}, R_{L,max}]$ 。

[0061] 校验矩阵的行重可以理解为:校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,也可以称为校验节点度数。校验矩阵的列重可以理解为:校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,也可以称为变量节点度数。

[0062] 例如,在母码校验矩阵中包含多种不同的行重(即校验节点度数),记母码中最小和最大行重分别为 $i_{min}$ 和 $i_{max}$ ,则行重分布(即校验节点度分布)表示为 $N_c = \{n_{c,i_{min}}, n_{c,i_{min}+1}, \dots, n_{c,i_{max}}\}$ ,其中 $i$ 为 $i_{min}$ 和 $i_{max}$ 之间的数, $n_{c,i}$ 表示重量为 $i$ 的行数量(即度为 $i$ 的校验节点数量);同理,在母码校验矩阵中包含多种不同的列重(即变量节点度数),记母码中最小和最大列重为 $j_{min}$ 和 $j_{max}$ ,则列重分布(即变量节点度分布)表示为 $N_v = \{n_{v,j_{min}}, n_{v,j_{min}+1}, \dots, n_{v,j_{max}}\}$ ,其中 $j$ 为 $j_{min}$ 和 $j_{max}$ 之间的数, $n_{v,j}$ 表示重量为 $j$ 的列数量(即度为 $j$ 的变量节点数量)。

[0063] 对于LDPC母码中所有度为 $i$ 的校验节点,服从参数为 $(i, i-1)$ 的单奇偶校验码约束,可以选取合适的代数码进行扩展,得到 $(n_i, i-1)$ 的代数码校验约束,其中 $n_i$ 的值取决于选择的代数码和该校验节点的度数 $i$ 。

[0064] 校验矩阵的扩展模式包含在每个行重值 $i$ 上对相应的校验节点进行扩展的比例 $\gamma_i$ 。特别地,可以按照扩展比例 $\gamma_i$ 进行有选择的部分代数码拓展;所有校验节点度扩展比例可表示成扩展模式 $\mathcal{Y} = \{\gamma_i\}_{i=i_{min}}^{i_{max}}$ 。

[0065] 综上,校验矩阵中的行重分布、列重分布和扩展模式可以用码字参数 $(N_c, N_v, \gamma)$ 中的向量表示,相应的约束条件如公式(1)中所示:

$$[0066] \quad \begin{cases} \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} n_{c,i} = M \\ \sum_{j=j_{min}}^{j_{max}} n_{v,j} = N \\ \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} i * n_{c,i} = \sum_{j=j_{min}}^{j_{max}} j * n_{v,j} \\ R_L \in [R_{L,min}, R_{L,max}] \\ R \in [R_G(1-E), R_G] \\ R = \frac{K}{R_L + \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} \gamma_i n_{c,i} (n_i - i)}, \gamma_i \in \mathcal{Y} \end{cases} \quad (1)$$

[0067] 具体的,本实施例中通过接收需求数据,在需求数据中提取出用户所给定的码字构造设计参数,进而获得到约束条件中的相应数据,如:输入信息的比特长度 $K$ 、目标码率 $R_G$ 、总码率误差 $E$ 、母码码率范围最小值 $R_{L,min}$ 、母码码率范围最大值 $R_{L,max}$ 、最大行重 $i_{max}$ 、最小行重 $i_{min}$ 、最大列重 $j_{max}$ 和最小列重 $j_{min}$ 等。

[0068] 步骤102:根据约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合。

[0069] 其中,候选行重分布包含在行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,候选扩展模式包含在行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足总码率误差、总码率范围和母码码率范围。

[0070] 具体的,本实施例中按照约束条件中的行重范围,在 $M$ 行 $N$ 列对应的所有可能的矩

阵所在的矩阵集合中,找到所有至少行重值满足约束条件中行重范围的候选行重分布。

[0071] 其中的矩阵集合中的每个矩阵之间关于行重分布、列重分布和扩展模式不同,以不同的行重分布、列重分布和扩展模式,形成覆盖所有M行N列的所有矩阵实例。例如,在矩阵集合中的矩阵覆盖所有可能的行重分布,每个可能的行重分布对应所有可能的列重分布和所有可能的扩展模式。本实施例中在这些矩阵中,找到行重分布满足约束条件中的行重范围的候选行重分布,这些候选行重分布对应多个可能的列重分布和多个可能的扩展模式。

[0072] 进一步的,本实施例中在获得候选行重分布时,除了需要满足约束条件中的行重范围,还需要考虑其他与行重分布相关的约束内容。具体的,本实施例中获得的候选行重分布对应候选扩展模式,候选行重分布对应的候选扩展模式包含在每个行重值上对相应的校验节点进行扩展的比例。基于此,本实施例中在获得候选行重分布与扩展模式组合时,需要在使用所获得的候选行重分布与候选扩展模式进行码字扩展之后得到的扩展码字满足总码率误差、总码率范围和母码码率范围。

[0073] 例如,本实施例中找出所有满足约束条件(1)的校验节点度数序列即候选行重分布和候选扩展模式组合,由此构成集合 $\mathcal{N}_{c,r}$ 。

[0074] 步骤103:获得每个候选行重分布对应的候选列重分布。

[0075] 这里的候选列重分布包含在列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量,候选列重分布对应的列重值满足列重范围,且候选列重分布对应的列重值的方差满足方差最小条件。

[0076] 在一种优选的实现方式中,本实施例中在每个候选行重分布对应的多个可能的列重分布中,按照约束条件中的列重范围,先筛选出列重值不超出列重范围的列重分布,再从筛选出的列重分布中进一步筛选,即:在其中挑选出列重分布方差最小的列重分布,即可得到每个候选行重分布对应的候选列重分布,基于此,每个候选行重分布可能对应多个列重值的方差满足方差最小条件的候选列重分布。

[0077] 需要说明的是,每个候选行重分布对应的候选列重分布由于列重值的方差最小,因此,在候选列重分布对应的校验矩阵中,数值为1的矩阵元素的数量即变量节点度数均匀分布。而均匀分布的变量节点度数可以使得进行译码的性能达到最高。

[0078] 例如,对于集合 $\mathcal{N}_{c,r}$ 里的每一个元素,求出满足约束条件(1)且方差最小的变量节点度数序列即候选列重分布,以此得到新的集合 $\mathcal{N}_{c,v,r}^*$ ,该集合包含所有候选行重分布、候选扩展模式、候选列重分布的组合。

[0079] 步骤104:根据候选扩展模式、候选行重分布以及候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

[0080] 其中,本实施例中可以在候选扩展模式、候选行重分布以及候选列重分布中,选择满足译码门限最低条件的目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

[0081] 具体的,本实施例中针对每个候选行重分布以及其对应的候选列重分布和扩展模式形成的可能矩阵,根据行重值和列重值的分布,结合候选扩展模式,获得相应的译码门限值,选择最小的译码门限值对应的候选行重分布、候选列重分布和候选扩展模式,由此,得到满足译码门限最低条件的目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

[0082] 例如,对于集合 $\mathcal{N}_{c,v,r}^*$ 中的每个元素,利用外信息转移函数(EXIT)图分析不同参数组合下的GS码的译码门限,以 $\text{Th}(N_c, N_v, \gamma)$ 表示,由此得到使得译码门限最低的参数组合,即 $(N_c^*, N_v^*, \gamma^*) = \arg \min_{(N_c, N_v, \gamma) \in \mathcal{N}_{c,v,r}^*} \text{Th}(N_c, N_v, \gamma)$ 。

[0083] 步骤105:根据目标行重分布和候选行重分布对应的目标列重分布,构建目标校验矩阵。

[0084] 其中,本实施例中构建的目标校验矩阵的行重与目标行重分布相匹配,且目标校验矩阵的列重与目标列重分布相匹配。基于此,在使用目标校验矩阵和目标扩展模式对信道中的码字进行编码时,能够使得所生成的目标传输码字为低码率的短码结构,不仅可以保证较低的时延,还可以提高码字传输的可靠性。

[0085] 例如,采用近似外部消息度的逐步边增长算法(PEG-ACE算法),生成符合度分布为 $N_c^*, N_v^*$ 的LDPC母码校验矩阵为 $H^{M \times N}$ 。

[0086] 基于此,所生成的目标校验矩阵能够结合目标扩展模式对信道中的码字进行编码,得到具有低码率的短码结构的目标传输码字。

[0087] 由上述方案可知,本申请实施例提供的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建方法中,通过构建针对校验节点进行扩展的校验矩阵,并对实现编码所使用的校验矩阵进行优化,因此,使用优化后的校验矩阵能够在URLLC场景下实现低码率短码长的码字构造,不仅能够保证较低的时延,还可以提高传输的可靠性。

[0088] 在一种实现方式中,本实施例中的方法还可以包括如下步骤,如图3中所示:

[0089] 步骤301:使用目标校验矩阵,对信道中的信息比特进行编码,以得到LDPC码字。

[0090] 其中,LDPC码字即为目标校验矩阵输出的LDPC母码,LDPC码字的比特长度与变量节点的数量相对应。

[0091] 例如,使用校验矩阵 $H^{M \times N}$ 进行LDPC编码,得到码字 $C_L = [c_1, c_2, \dots, c_N]$ ,对应于N个LDPC变量节点。

[0092] 步骤302:根据目标扩展模式所表征的校验节点的扩展比例,对LDPC码字进行处理,以得到被扩展的校验节点对应的代数码码字。

[0093] 每个被扩展的校验节点对应的代数码码字中可以有一个比特或多个比特,具体的,代数码码字的比特长度与对应的被扩展的校验节点所在行的行重值相关。

[0094] 例如,对于度为i的LDPC校验节点,随机选择 $\gamma_{i, n_{c,i}}$ 个做代数约束扩展。

[0095] 扩展方法如下:

[0096] 对于其中某一个校验节点m对应的LDPC码字为 $C_L^m = [c_{m,1}, c_{m,2}, \dots, c_{m,i}]$ ,即 $C_L^m$ 中所有比特位于第m个校验节点中,其代数约束扩展由相应的代数编码完成,如下:

$$[0097] \quad [c_{m,1}, c_{m,2}, \dots, c_{m,i-1}]G_i = [c_{m,1}, c_{m,2}, \dots, c_{m,i-1}, b_{m,1}, b_{m,2}, \dots, c_{m,i}, \dots, b_{m,n_i-1}]$$

[0098] 其中 $G_i$ 是一个包含全1列的系统代数码的生成矩阵,可以选择Hadamard码、RS码等,则生成的代数码码字为 $C_{G,m} = [b_{m,1}, b_{m,2}, \dots, b_{m,n_i-1}]$ 。

[0099] 步骤303:根据LDPC码字和代数码码字,获得目标传输码字。

[0100] 具体的,本实施例中可以将每个被扩展的校验节点对应的代数码码字,按照其对应的校验节点之间的次序,依次添加到LDPC码字之后,由此,得到目标传输码字。

[0101] 例如,将得到的所有代数码码字依次添加至LDPC码字 $C_L$ 后,即可得到GS码字 $C=[C_L, C_G]$ ,其中 $C_G=[c_{G,1}, \dots, c_{G,m}, \dots, c_{G,M}]$ , $c_{G,m}$ 为LDPC母码第 $m$ 个校验节点的代数码码字,如该节点不进行拓展,则其为零比特。

[0102] 进一步的,在步骤303之后,本实施例中的方法还可以包含如下步骤,如图4中所示:

[0103] 步骤304:对目标传输码字进行凿孔处理,以使得目标传输码字的总码率与总码率范围相对应。

[0104] 其中,由上述的构造方式所得到的GS码的实际码率 $R_t$ 同目标码率 $R_G$ 存在一定的误差,如有 $R_t \leq R_G$ ,因此,本实施例中可以通过对目标传输码字进行凿孔,以增加实际码率,直到与目标码率相匹配。而凿孔的总比特数可以用 $Z$ 表示,其中, $Z = \frac{K}{R_t} - \frac{K}{R_G}$ 。

[0105] 具体的,本实施例中可以按照目标校验矩阵中对应的行重值从高到低的顺序,依次对目标传输码字中对应于相应行重值的代数码码字进行凿孔处理,直到目标传输码字的总码率与总码率范围相对应,即凿孔的实际比特数到达凿孔的总比特数 $z$ 。

[0106] 其中,目标传输码字的代数码码字中被凿孔处理的码字在代数码码字中的比例小于或等于预设比例值。例如,对于度为 $i$ 的所有扩展的代数码码字进行凿孔,而凿孔的码字与代数码码字的比例不得超过比例 $p_i$ 。

[0107] 基于以上实现方案,以下给出具体的实例,对本申请的技术方案的效果进行说明:

[0108] (1) 基于BCH码的GS码设计:

[0109] 首先,设计参数 $K=104$ , $R_G = \frac{1}{12}$ , $E=0.001$ 。 $R_{L,max} = \frac{1}{3}$ , $R_{L,min} = \frac{3}{5}$ , $i_{min}=5$ , $i_{max}=7$ , $j_{min}=3$ 和 $j_{max}=4$ ;

[0110] 设计结果:LDPC码字的码长为210,基于点的度分布为:

$$[0111] \quad \begin{cases} \lambda(x) = 0.9476x^2 + 0.0524x^3 \\ \rho(x) = 0.0094x^4 + 0.9340x^5 + 0.0566x^6 \end{cases}$$

[0112] 即LDPC码字中有199个度为3的变量节点,11个为4的变量节点,1个度为5的校验节点,99个度为6的校验节点,6个度为7的校验节点。校验矩阵如图5所示,其中方块表示比特1。扩展度分别为5、6、7的校验节点所使用的BCH生成矩阵分别为:

$$[0113] \quad G_{p,5}^{BCH} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$[0114] \quad G_{p,6}^{BCH} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$



[0129] 具体的,本实施例中的装置可以包含以下功能单元:

[0130] 约束获得单元701,用于获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;

[0131] 其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;

[0132] 候选行重获得单元702,用于根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围;

[0133] 候选列重获得单元703,用于获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;

[0134] 目标分布获得单元704,用于根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和所述目标列重分布;

[0135] 矩阵构建单元705,用于根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

[0136] 由上述方案可知,本申请实施例提供的一种URLLC场景下信道编码校验矩阵的构建装置中,通过构建针对校验节点进行扩展的校验矩阵,并对实现编码所使用的校验矩阵进行优化,因此,使用优化后的校验矩阵能够在URLLC场景下实现低码率短码长的码字构造,不仅能够保证较低的时延,还可以提高传输的可靠性。

[0137] 基于以上实现,本实施例中的装置还包含有如下单元,如图8中所示:

[0138] 编码单元706,用于使用所述目标校验矩阵对信道中的信息比特进行编码,以得到LDPC码字,所述LDPC码字的比特长度与所述变量节点的数量相对应;根据所述目标扩展模式所表征的校验节点的扩展比例,对所述LDPC码字进行处理,以得到所述被扩展的校验节点对应的代数码码字,所述代数码码字的比特长度与所述校验节点所在行的行重值相关;根据所述LDPC码字和所述代数码码字,获得目标传输码字。

[0139] 可选的,编码单元706可以将所述代数码码字按照其对应的校验节点之间的次序,添加到所述LDPC码字之后,以得到目标传输码字。

[0140] 另外,编码单元706还用于对所述目标传输码字进行凿孔处理,以使得所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。具体为:按照所述目标校验矩阵中对应的行重值从高到低的顺序,依次对所述目标传输码字中对应于相应行重值的代数码码字进行凿孔处理,直到所述目标传输码字的总码率与所述总码率范围相对应。其中,所述目标传输码字的所述代数码码字中被凿孔处理的码字在所述代数码码字中的比例小于或等于预设比例

值。

[0141] 在一种实现方式中,候选列重获得单元703所获得的候选列重分布对应的列重值的方差满足方差最小条件。

[0142] 在一种实现方式中,目标分布获得单元704具体用于:在所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布中,选择满足译码门限最低条件的目标扩展模式、目标行重分布和目标列重分布。

[0143] 需要说明的是,本实施例中各单元的具体实现可以参考前文中的相应内容,此处不再详述。

[0144] 参考图9,为本申请实施例公开的一种通信设备的结构示意图,该通信设备可以为信道传输中的终端设备,如手机或基站等。本实施例中的技术方案主要用于通过构建实现信道编码的校验矩阵,进而对信道中所传输的码字进行码字构造的实现方式进行优化,以实现低时延高可靠性的信道传输。

[0145] 具体的,本实施例中的通信设备可以包含如下结构:

[0146] 存储器901,用于存储计算机程序以及所述计算机程序运行所产生的数据;

[0147] 处理器902,用于执行所述计算机程序,以实现:获得信道编码校验矩阵的约束条件,所述校验矩阵以行为校验节点并以列为变量节点,所述约束条件至少包含:总码率误差、总码率范围、母码码率范围、行重范围、列重范围;其中,所述行重为:所述校验矩阵的行内所包含的数值为1的矩阵元素的数量,所述列重为:所述校验矩阵的列内所包含的数值为1的矩阵元素的数量;所述总码率为:输入码字的比特长度与输出码字的比特长度的比值,所述母码码率为:输入码字的比特长度与所述输出码字中LDPC码字的比特长度的比值,所述输出码字包含所述LDPC码字和代数码码字;根据所述约束条件,获得多个候选行重分布与候选扩展模式的组合,所述候选行重分布包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的数量,所述候选扩展模式包含在所述行重范围内每个行重值对应的校验节点的扩展比例,所述候选行重分布与候选扩展模式的组合满足所述总码率误差、所述总码率范围和所述母码码率范围;获得每个所述候选行重分布对应的候选列重分布,所述候选列重分布包含在所述列重范围内每个列重值对应的变量节点的数量;根据所述候选扩展模式、所述候选行重分布以及所述候选列重分布,确定目标扩展模式、目标行重分布和所述目标列重分布;根据所述目标行重分布和所述目标列重分布,构建目标校验矩阵,所述目标校验矩阵的行重与所述目标行重分布相匹配,且所述目标校验矩阵的列重与所述目标列重分布相匹配,所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式用于对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

[0148] 另外,通信设备中还包含编码器903,用于使用所述目标校验矩阵和所述目标扩展模式对信道中的信息比特进行编码,以得到目标传输码字。

[0149] 由上述方案可知,本申请实施例提供的一种通信设备中,通过构建针对校验节点进行扩展的校验矩阵,并对实现编码所使用的校验矩阵进行优化,因此,使用优化后的校验矩阵能够在URLLC场景下实现低码率短码长的码字构造,不仅能够保证较低的时延,还可以提高传输的可靠性。

[0150] 当然,通信设备中还可以包含其他部件,如天线、显示屏以及各类传感器等。

[0151] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他



实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0152] 专业人员还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0153] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0154] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

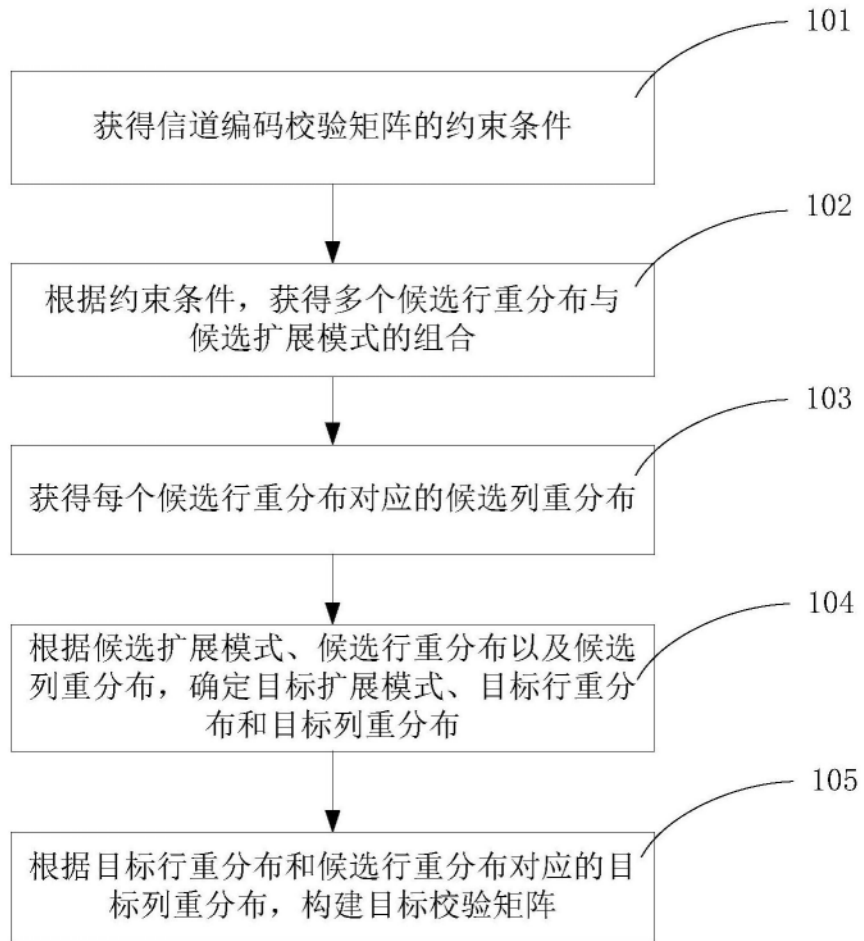


图1

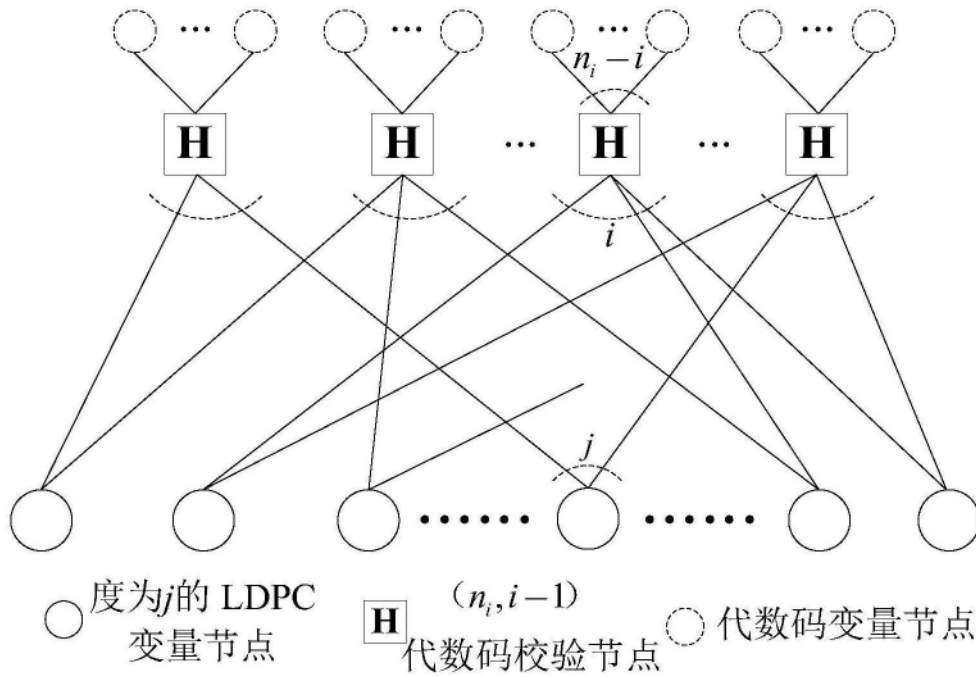


图2

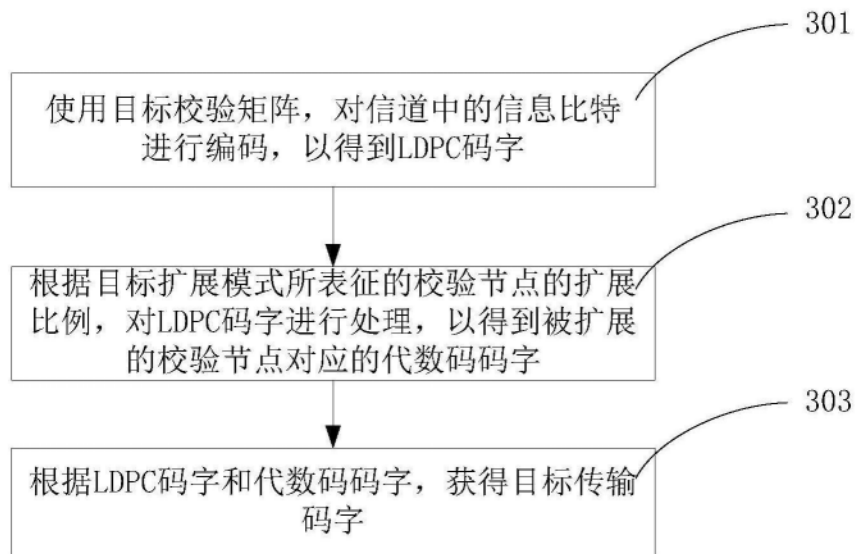


图3

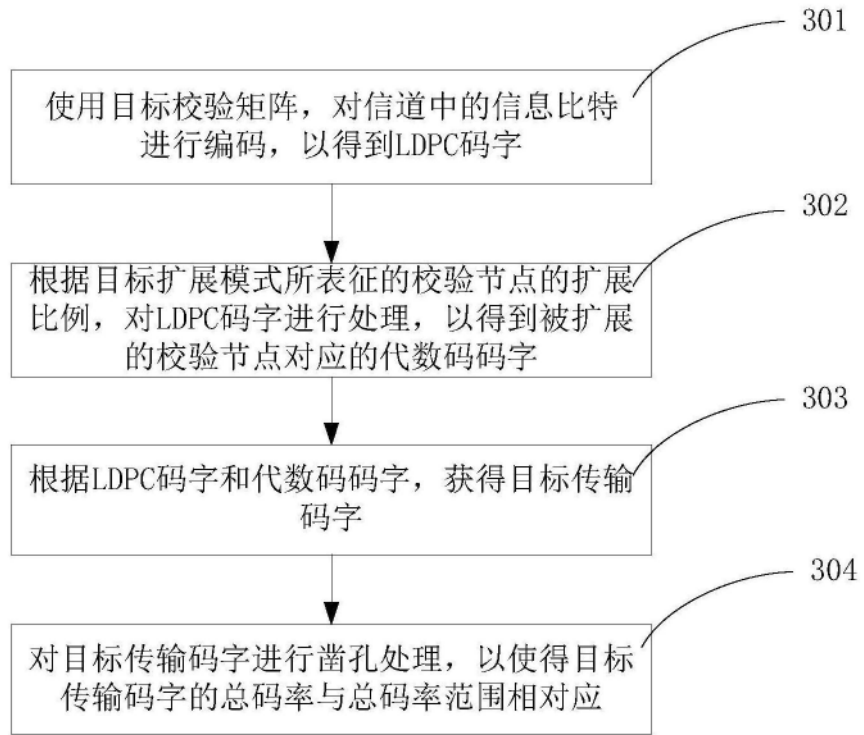


图4

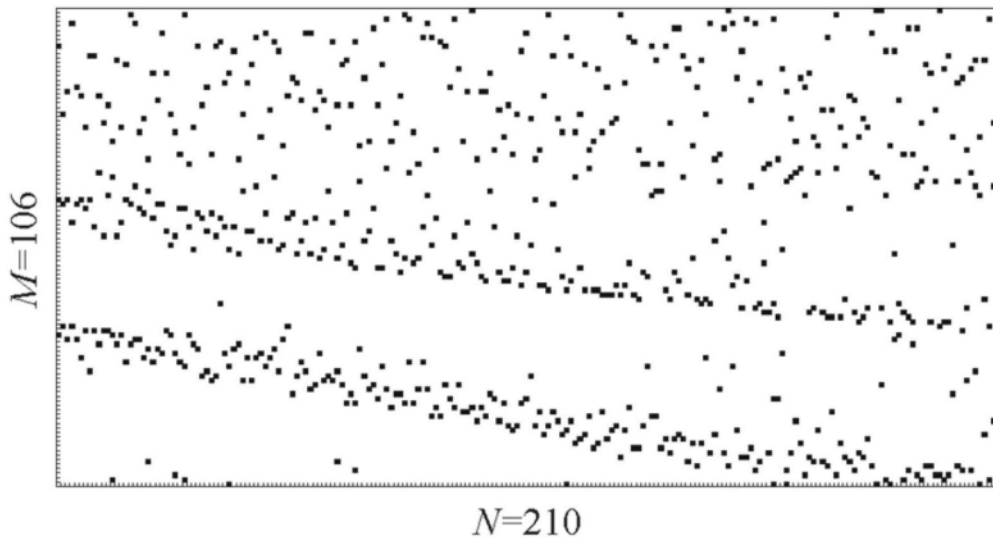


图5

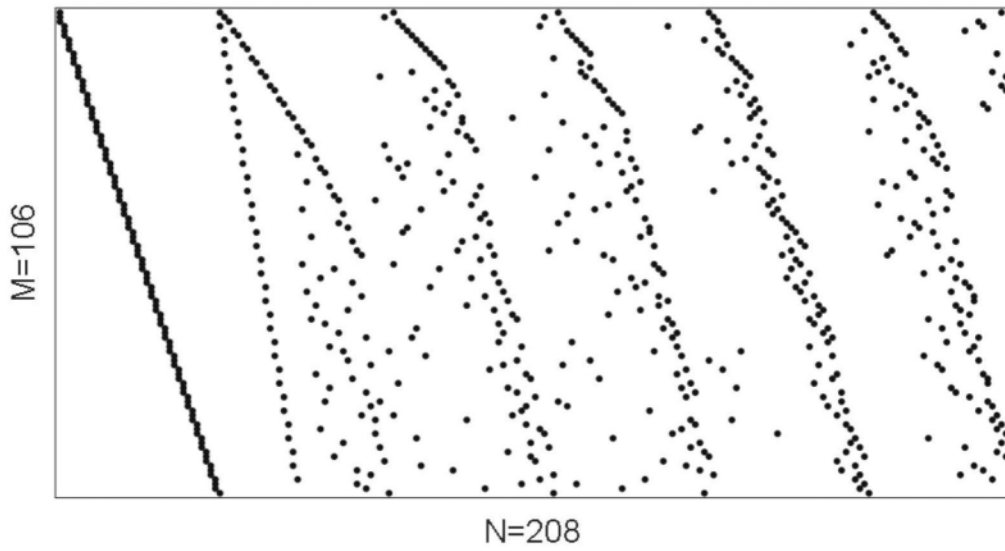


图6

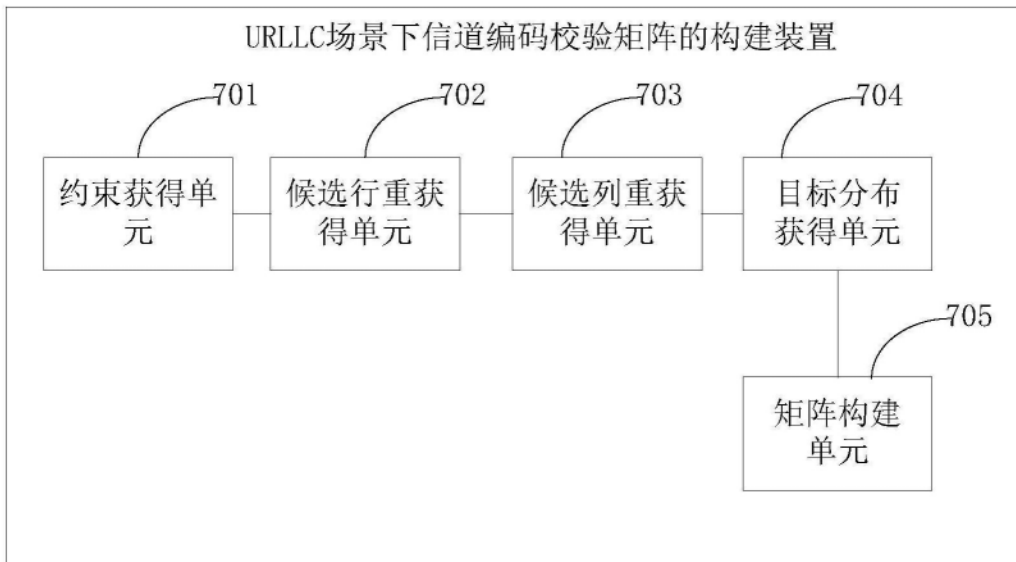


图7

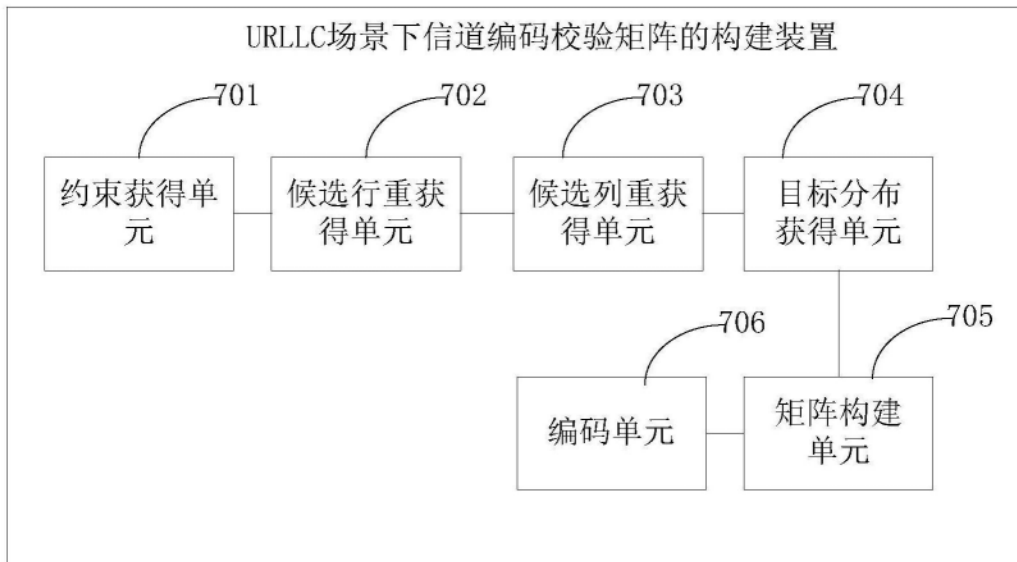


图8

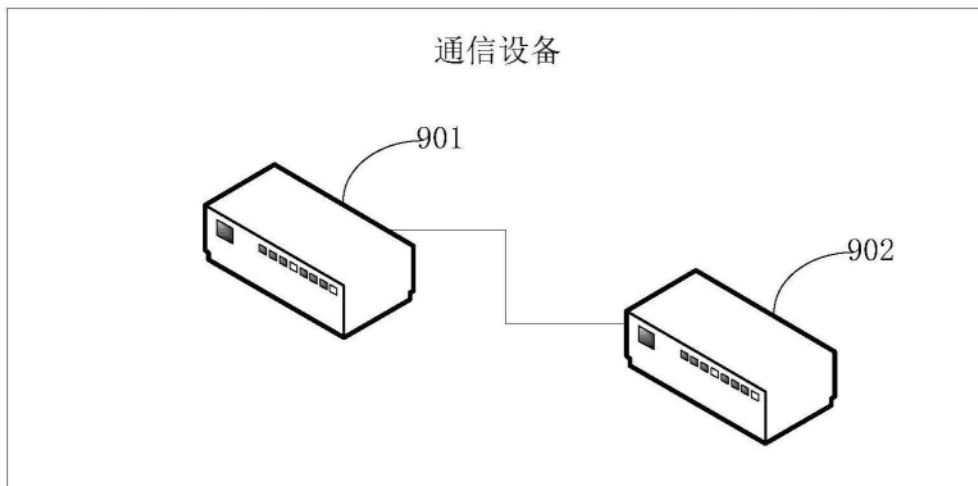


图9