



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101883063 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 10

(21) 申请号 200910138256. 8

(22) 申请日 2009. 05. 08

(71) 申请人 中兴通讯股份有限公司
地址 518057 广东省深圳市南山区科技南路
55 号

(72) 发明人 包国平 吴岩巍 徐俊 袁志锋
孙芝利

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限
责任公司 11240
代理人 余刚 吴孟秋

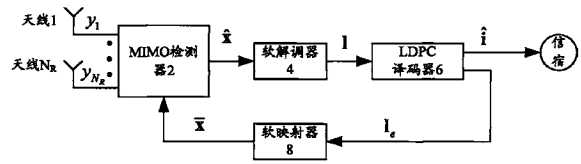
(51) Int. Cl.
H04L 27/26 (2006. 01)

权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 5 页

(54) 发明名称
迭代检测方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了迭代检测方法和迭代检测装置, 在其中的一种迭代检测方法中, 包括如下处理: 步骤 1, 获取发射调制符号估计值; 步骤 2, 采用 M-QAM 软解调处理, 计算发射调制符号估计值的比特对数似然比; 当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$; 当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_2 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$, 其中, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数; 步骤 3, 对比特对数似然比进行译码, 并迭代检测译码是否成功; 步骤 4, 根据译码是否成功, 进行后续处理。



1. 一种迭代检测方法,其特征在于,包括:

步骤 1,获取发射调制符号估计值;

步骤 2,采用 M-QAM 软解调处理,计算所述发射调制符号估计值的比特对数似然比;

当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$;

当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$,

当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$,
 $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$,

其中, \hat{x}_k 为所述发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数;

步骤 3,对所述比特对数似然比进行译码,并迭代检测译码是否成功;

步骤 4,根据译码是否成功,进行后续处理。

根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,当 $M = 16$ 时, $C_1 = \frac{2}{\sqrt{10}}$;

当 $M = 64$ 时, $C_1 = \frac{4}{\sqrt{42}}$; $C_2 = \frac{2}{\sqrt{42}}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,如果译码失败,则所述后续处理包括:

步骤 4-1,获取译码输出的码字比特序列的外信息,并通过软映射处理,将所述发送码字比特的的外信息映射为第一发射调制符号估计值,返回到所述步骤 1。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,根据如下公式确定所述第一发射调制符号估计值 \hat{x}_k :

当 $M = 4$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right)$;

当 $M = 16$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right)$;

当 $M = 64$ 时,

$\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3)$; 其中,

$P_{i,k}^c = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}$, $l_e(c_{k,i})$ 为所述发送码字比特的的外信息;当码字比特为 0 时, C^i 为 1,

当码字比特为 1 时, C^i 为 -1。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数,且为大于 1 的整数; $k = 1, 2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复传号。

5. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在于,所述获取发射调制符号估计值包括:

对接收机各天线接收到的数据信号进行 MIMO 检测,得到所述发射调制符号估计值;或者

对接收机各天线接收到的数据信号和所述第一发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,得到所述发射调制符号估计值。

6. 根据权利要求 3 所述的方法,其特征在於,

在迭代检测译码是否成功后,所述方法还包括:通过将当前迭代检测次数加 1 进行更新,并判断更新后的迭代检测次数是否小于预设阈值;

在所述步骤 4 中,如果译码失败,且更新后的迭代检测次数小于预设阈值,则进行到所述步骤 4-1;如果译码失败,且更新后的迭代检测次数不小于预设阈值,则进行到步骤 4-2;输出译码码字,结束检测。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在於,如果译码成功,则所述后续处理包括:向后续信息接收单元输出译码码字,结束检测。

8. 一种迭代检测方法,其特征在於,包括:

步骤 1,获取发射调制符号估计值;

步骤 2,采用 M-QAM 软解调处理,计算所述发射调制符号估计值的比特对数似然比;

步骤 3,对所述比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并迭代检测译码是否成功;

步骤 4,如果译码失败,则通过软映射处理,将所述发送码字比特的的外信息映射为发射调制符号估计值,返回到所述步骤 1,其中:

$$\text{当 } M = 4 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right);$$

$$\text{当 } M = 16 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right);$$

当 $M = 64$ 时,

$$\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3); \quad \text{其中,}$$

$$P_{i,k}^c = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为所述发送码字比特的的外信息;当码字比特为 } 0 \text{ 时, } C^i \text{ 为 } 1,$$

当码字比特为 1 时, C^i 为 -1 。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数,且为大于 1 的整数; $k = 1, 2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复信号。

9. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在於,所述方法还包括:

步骤 5,如果译码成功,则向后续信息接收单元输出译码码字,结束检测。

10. 一种迭代检测装置,其特征在於,包括:

发射调制符号估计值获取单元,用于获取调制符号估计值;

软解调器,用于获取所述发射调制符号估计值获取单元输出的所述调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算所述发射调制符号估计值的比特对数似然比,其中,当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$; 当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$, 其中, \hat{x}_k 为所述发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数;

译码器,用于对所述软解调器输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并对译码结果进行迭代检测。

11. 根据权利要求 10 所述的装置,其特征在于,所述装置还包括:软映射器,用于获取所述译码器输出的关于发送码字比特的的外信息,并通过软映射处理,将所述码字比特序列的外信息映射为第一发射调制符号估计值,并输出至所述发射调制符号估计值获取单元。

12. 根据权利要求 10 所述的装置,其特征在于,所述发射调制符号估计值获取单元包括以下至少之一:

第一输入端口,与接收机的接收天线连接,用于接收来自接收天线的的数据信号;

第二输入端口,与所述软映射器连接,用于来自所述软映射器的所述第一发射调制符号估计值;

MIMO 检测单元,用于对所述数据信号和/或所述第一发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,获取所述发射调制符号估计值。

13. 一种迭代检测装置,其特征在于,包括:

发射调制符号估计值获取单元,用于获取调制符号估计值;

软解调器,用于获取所述发射调制符号估计值获取单元输出的所述调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算所述发射调制符号估计值的比特对数似然比;

译码器,用于对所述软解调器输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并对译码结果进行迭代检测;

软映射器,用于获取所述译码器输出的关于发送码字比特的的外信息,并通过软映射处理,将所述码字比特序列的外信息映射为第一发射调制符号估计值,并输出至所述发射调制符号估计值获取单元;

其中:

$$\text{当 } M = 4 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right);$$

$$\text{当 } M = 16 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right);$$

当 $M = 64$ 时,

$$\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3); \quad \text{其中,}$$

$$P_{i,k}^{c^i} = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为所述发送码字比特的的外信息;当码字比特为 } 0 \text{ 时, } C^i \text{ 为 } 1,$$

当码字比特为 1 时, C^i 为 -1 。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数,且为大于 1 的整数; $k = 1, 2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复信号。

迭代检测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及通信领域,具体而言,涉及一种迭代检测方法及装置。

背景技术

[0002] 在无线通信系统中,通常采用信道编码技术,以保障信息数据在无线信道中传输的可靠性及其抗干扰能力。目前,低密度奇偶校验码 (Low Density Parity Check Code, 简称为 LDPC) 是纠错性能比较好的信道编码技术之一,其在 IEEE802.16 标准、中国移动多媒体广播 (China Mobile Multimedia Broadcasting, 简称为 CMMB) 标准中得以被采纳和应用,在未来无线通信系统标准 4G 的制定过程中,LDPC 将有可能替代 Turbo 码,成为数据业务的首选信道编码方法。

[0003] 多输入多输出 (Multi-Input Multi-Output, 简称为 MIMO) 技术能够提供分集增益和空间复用增益,在带宽和发射功率不变的前提下,利用 MIMO 分集增益,能够有效改善信息数据传输可靠性,利用 MIMO 空间复用增益,能够有效提高数据传输速率。目前,MIMO 技术已经在宽带码分多址接入 (Wideband Code Division Multiple Access, 简称为 WCDMA)、IEEE802.16、3GPP LTE 等标准协议中被广泛采用。

[0004] 在 LDPC-MIMO 通信系统中,为了提高接收机检测性能,通常采用“Turbo”迭代方式,即,在 MIMO 检测器和译码器之间迭代交换外信息。然而,在采用 Turbo 迭代方式时,随着迭代检测次数的增加,接收机检测算法复杂度也成正比增加。

[0005] 目前所采用的迭代检测方法是如下实现的:根据接收机接收到的数据信号和反馈的调制符号估计,采用 MIMO 检测算法,获得发送调制符号的估计值;采用 M-QAM 软解调算法,计算发送比特对数似然比;采用软输入软输出译码算法对软解调输出的比特对数似然比进行译码;判断译码是否成功;更新当前迭代检测次数;若译码成功,译码码字,迭代检测算法结束;若译码失败,且当前迭代检测次数尚未达到预设的最大迭代次数,则输出译码关于发送比特的的外信息,采用软映射算法,将发送比特的的外信息映射为发送调制符号估计,反馈给 MIMO 检测器。若译码失败,且当前迭代检测次数达到预设的最大迭代次数时,输出译码码字,迭代检测算法结束。

[0006] 目前采用的 M-QAM 软解调算法如下:例如,64-QAM, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = 2B - |\text{Re}(\hat{x}_k)|$, $l_k^4 = 2B - |\text{Im}(\hat{x}_k)|$, 这里, $B = 2/\sqrt{42}$, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比。

[0007]

$$l_k^5: \quad \text{if } (|\text{Re}\{\hat{x}_k\}| \leq B)$$

[0008]

$$l_k^5 = |\text{Re}\{\hat{x}_k\}| - B$$

[0009]

$$\text{else if } (|2B - |\text{Re}\{\hat{x}_k\}|| \leq B)$$

[0010]

```

[0011] else
[0012]

$$l_k^5 = B - |2B - |\operatorname{Re}\{\hat{x}_k\}||$$

[0013]

$$l_k^5 = 3B - |\operatorname{Re}\{\hat{x}_k\}|$$

[0014]

$$l_k^6: \quad \text{if}(|\operatorname{Im}\{\hat{x}_k\}| \leq B)$$

[0015]

$$l_k^6 = |\operatorname{Im}\{\hat{x}_k\}| - B$$

[0016]

$$\text{else if}(|2B - |\operatorname{Im}\{\hat{x}_k\}|| \leq B)$$

[0017] else
[0018]

$$l_k^6 = B - |2B - |\operatorname{Im}\{\hat{x}_k\}||$$

[0019]

$$l_k^6 = 3B - |\operatorname{Im}\{\hat{x}_k\}|$$


```

[0019] 上述 M-QAM 解调算法计算复杂度较高,因此随着迭代检测次数的增加,接收机检测算法复杂度也成正比增加。如何在控制接收机算法复杂度的前提下,进一步提高系统检测性能,是当前需要解决的问题。

发明内容

[0020] 本发明旨在提供一种改进的迭代检测方案,以解决目前的迭代检测方法复杂度较高的问题。

[0021] 根据本发明的一个方面,提供了一种迭代检测方法,该方法包括如下处理:

[0022] 步骤 1,获取发射调制符号估计值;

[0023] 步骤 2,采用 M-QAM 软解调处理,计算发射调制符号估计值的比特对数似然比;

[0024] 当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \operatorname{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \operatorname{Im}(\hat{x}_k)$;

[0025] 当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \operatorname{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \operatorname{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$,

[0026] 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \operatorname{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \operatorname{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$,
 $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$,

[0027] 其中, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数;

[0028] 步骤 3,对比特对数似然比进行译码,并迭代检测译码是否成功;

[0029] 步骤 4,根据译码是否成功,进行后续处理。

[0030] 优选地,当 $M = 16$ 时, $C_1 = \frac{2}{\sqrt{10}}$; 当 $M = 64$ 时, $C_1 = \frac{4}{\sqrt{42}}$; $C_2 = \frac{2}{\sqrt{42}}$ 。

[0031] 优选地,如果译码失败,则后续处理包括:

[0032] 步骤 4-1,获取译码输出的码字比特序列的外信息,并通过软映射处理,将发送码字比特的的外信息映射为第一发射调制符号估计值,返回到步骤 1。

[0033] 优选地,根据如下公式确定第一发射调制符号估计值 \hat{x}_k :

$$[0034] \quad \text{当 } M = 4 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right);$$

$$[0035] \quad \text{当 } M = 16 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right);$$

[0036] 当 $M = 64$ 时,

$$[0037] \quad \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3); \text{ 其中,}$$

$$P_{i,k}^{c^i} = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为发送码字比特的外信息; 当码字比特为 } 0 \text{ 时, } C^i \text{ 为 } 1, \text{ 当码}$$

字比特为 1 时, C^i 为 -1 。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数, 且为大于 1 的整数; $k = 1, 2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复信号。

[0038] 优选地,获取发射调制符号估计值包括:对接收机各天线接收到的数据信号进行 MIMO 检测,得到发射调制符号估计值;或者对接收机各天线接收到的数据信号和第一发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,得到发射调制符号估计值。

[0039] 优选地,在迭代检测译码是否成功后,方法还包括:通过将当前迭代检测次数加 1 进行更新,并判断更新后的迭代检测次数是否小于预设阈值;在步骤 4 中,如果译码失败,且更新后的迭代检测次数小于预设阈值,则进行到步骤 4-1;如果译码失败,且更新后的迭代检测次数不小于预设阈值,则进行到步骤 4-2:输出译码码字,结束检测。

[0040] 优选地,如果译码成功,则后续处理包括:向后续信息接收单元输出译码码字,结束检测。

[0041] 根据本发明的另一方面,提供了一种迭代检测方法,该方法包括以下处理:

[0042] 步骤 1,获取发射调制符号估计值;

[0043] 步骤 2,采用 M-QAM 软解调处理,计算发射调制符号估计值的比特对数似然比;

[0044] 步骤 3,对比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并迭代检测译码是否成功;

[0045] 步骤 4,如果译码失败,则通过软映射处理,将发送码字比特的的外信息映射为发射调制符号估计值,返回到步骤 1,其中:

$$[0046] \quad \text{当 } M = 4 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right);$$

$$[0047] \quad \text{当 } M = 16 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right);$$

[0048] 当 $M = 64$ 时,

$$[0049] \quad \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3); \text{ 其中,}$$

$$P_{i,k}^{c^i} = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为发送码字比特的的外信息; 当码字比特为 } 0 \text{ 时, } C^i \text{ 为 } 1, \text{ 当码}$$

字比特为 1 时, C^i 为 -1 。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数, 且为大于 1 的整数; $k = 1, 2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复信号。

[0050] 优选地,该方法还包括如下处理:步骤 5,如果译码成功,则向后续信息接收单元输出译码码字,结束检测。

[0051] 根据本发明的另一方面,还提供了一种迭代检测装置,该装置包括如下部件:

[0052] 发射调制符号估计值获取单元,用于获取调制符号估计值;

[0053] 软解调器,用于获取发射调制符号估计值获取单元输出的调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算发射调制符号估计值的比特对数似然比,其中,当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$; 当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$, 其中, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数;

[0054] 译码器,用于对软解调器输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并对译码结果进行迭代检测。

[0055] 优选地,该装置还包括:软映射器,用于获取译码器输出的关于发送码字比特的的外信息,并通过软映射处理,将码字比特序列的外信息映射为第一发射调制符号估计值,并输出至发射调制符号估计值获取单元。

[0056] 优选地,发射调制符号估计值获取单元包括:第一输入端口,与接收机的接收天线连接,用于接收来自接收天线的的数据信号;和/或,第二输入端口,与软映射器连接,用于来自软映射器的第一发射调制符号估计值;MIMO 检测单元,用于对数据信号和/或第一发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,获取发射调制符号估计值。

[0057] 根据本发明的另一方面,还提供了一种迭代检测装置,该装置包括:发射调制符号估计值获取单元,用于获取调制符号估计值;软解调器,用于获取发射调制符号估计值获取单元输出的调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算发射调制符号估计值的比特对数似然比;译码器,用于对软解调器输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并对译码结果进行迭代检测;软映射器,用于获取译码器输出的关于发送码字比特的的外信息,并通过软映射处理,将码字比特序列的外信息映射为第一发射调制符号估计值,并输出至发射调制符号估计值获取单元;

[0058] 其中:

[0059] 当 $M = 4$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right)$;

[0060] 当 $M = 16$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right)$;

[0061] 当 $M = 64$ 时,

[0062] $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3)$; 其中,

$P_{i,k}^c = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}$, $l_e(c_{k,i})$ 为发送码字比特的的外信息;当码字比特为 0 时, C^i 为 1,当码

字比特为 1 时, C^i 为 -1。 $i = 1, \dots, M$, 其中, M 为调制阶数,且为大于 1 的整数; $k = 1,$

$2, \dots, N_T$, N_T 表示发送天线的数目; \hat{x}_k 为复信号。

[0063] 通过本发明的上述至少一个技术方案,在迭代检测过程中采用简化的 M-QAM 算法,或者采用简化的 M-QAM 算法和简化的软映射算法,相比于目前的迭代检测方案,可以降低算法的复杂度,从而可以降低接收机性能。

附图说明

[0064] 此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解,构成本申请的一部分,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0065] 图 1 是根据本发明实施例的发射机侧的结构示意图;

[0066] 图 2 是根据本发明实施例一的迭代检测装置的结构框图;

[0067] 图 3 是根据本发明实施例一的迭代检测装置的结构示意图;

[0068] 图 4 是根据本发明实施例二的迭代检测装置的结构框图;

[0069] 图 5 是根据本发明实施例二的迭代检测装置的结构示意图;

[0070] 图 6 是根据本发明实施例的迭代检测方法的流程图;

[0071] 图 7 是根据本发明实施例的迭代检测方法的详细处理流程图;

[0072] 图 8 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 4$ (QPSK) 调制星座图及其比特映射。

[0073] 图 9 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 16$ (16QAM) 调制星座图及其比特映射。

[0074] 图 10 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 64$ (64QAM) 调制星座图及其比特映射。

具体实施方式

[0075] 在本发明实施例提供的技术方案中,基于格雷映射对 LDPC-MIMO 通信系统进行多电平正交幅度调制 (Multiple Quadrature Amplitude Modulation, 简称为 M-QAM), 采用简化 M-QAM 软解调算法和软映射算法。一般地, 本发明实施例提供的技术方案应用于包括如下处理中的一项或多项的过程中: 发射机发射信号——接收机接收信号——MIMO 检测——解调——译码——迭代检测。优选地, 解调过程中, 可以使用本发明实施例提供的简化 M-QAM 软解调算法。优选地, 在迭代检测中, 可以使用本发明实施例提供的软映射算法。

[0076] 以下将结合附图来描述本发明的实施例, 如果不冲突, 本发明实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0077] 首先, 参照附图 1, 描述发射机的处理。如图 1 所示, 在发射机侧, 一般要进行编码、星座图调制、串并转换, 然后在天线进行发射。具体地, 首先对待发送的二进制信息比特数据序列 $i = [i_1, i_2, \dots, i_k]$ 进行 LDPC 编码, 编码后的二进制 LDPC 码字比特序列为 $c = [c_1, c_2, \dots, c_N]$, LDPC 编码码率为 $R = K/N$; 之后, 根据系统确定的格雷映射 M-QAM 调制方式进行调制, 调制后符号序列为 $s = [s_1, s_2, \dots, s_L]$, 其中 $L = N/M$ 。调制后符号序列 s 经串并转换后, 得到 X_1, X_{N_T} 分别送入多个发射天线 (天线 1... 天线 N_T) 进行发射。图 8 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 4$ (QPSK) 调制星座图及其比特映射。图 9 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 16$ (16QAM) 调制星座图及其比特映射。图 10 是根据本发明实施例的格雷映射 $M = 64$ (64QAM) 调制星座图及其比特映射。

[0078] 实施例一

[0079] 根据本发明实施例, 首先提供了一种迭代检测装置。如图 2 所示, 根据本发明实施

例的迭代检测装置具有如下结构:发射调制符号估计值获取单元、软解调器、译码器,上述各部件依次串行连接。

[0080] 图 3 给出了该装置的一种优选结构的示意图。如图 3 所示,发射调制符号估计值获取单元,可以通过 MIMO 检测器 1 来实现,连接至天线 1... 天线 N_r ,用于获取调制符号估计值。具体地,MIMO 检测器 1 通过从天线处接收数据信号 $Y_1 \dots Y_{N_r}$,对接收到的数据信号进行 MIMO 检测来获得调制符号估计值 \hat{x}_k 。

[0081] 软解调器 3,用于获取 MIMO 检测器 1 输出的调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算发射调制符号估计值的比特对数似然比 l 。该软解调器的具体计算过程如下:其中,当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$;当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$,其中, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数。优选地,当 $M = 16$ 时, $C_1 = \frac{2}{\sqrt{10}}$;当 $M = 64$ 时, $C_1 = \frac{4}{\sqrt{42}}$; $C_2 = \frac{2}{\sqrt{42}}$ 。

[0082] 译码器优选的可以使用 LDPC 译码器 5 来实现,用于对软解调器 3 输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列和码字比特序列的外信息序列,并对译码结果进行迭代检测。例如,在检测成功时,可以输出二进制信息比特序列 \hat{i} 到信源。对于这里的迭代检测过程,将在下文中详细描述。

[0083] 通过该实施例提供的迭代检测装置,由于软解调器使用了简化的 M-QAM 算法,简化了接收机软解调算法复杂度,因此可以降低整个迭代检测过程的复杂度,并且可以保持检测性能。

[0084] 实施例二

[0085] 根据本发明实施例,还提供了另一种迭代检测装置。如图 4 所示,根据本发明实施例的迭代检测装置具有如下结构:发射调制符号估计值获取单元、软解调器、译码器、软映射器。

[0086] 图 5 给出了该迭代检测装置的一种优选结构的示意图。如图 5 所示,

[0087] 发射调制符号估计值获取单元,可以通过 MIMO 检测器 2 来实现,连接至天线 1... 天线 N_r 和软映射器 8,用于获取调制符号估计值。具体地,MIMO 检测器接收来自天线的的数据信号 $Y_1 \dots Y_{N_r}$,并有可能接收来自软映射器的发射调制符号估计值 \bar{x} ,对数据信号、或者数据信号以及接收到的发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,得到输出值软解调器的发射调制符号估计值 \hat{x}_k 。

[0088] 软解调器 4,用于获取 MIMO 检测器 2 输出的调制符号估计值,并通过 M-QAM 软解调处理计算发射调制符号估计值的比特对数似然比 l 。

[0089] 译码器优选的可以使用 LDPC 译码器 6 来实现,用于对软解调器 4 输出的比特对数似然比进行译码,得到二进制信息比特序列 \hat{i} 和码字比特序列的外信息序列 1_e ,并对译码结果进行迭代检测。对于这里的迭代检测过程,将在下文中详细描述。具体地,如果迭代检测译码成功,译码器将输出二进制信息比特,迭代检测结束。如果迭代检测失败,译码器将码字比特序列的外信息序列输出到软映射器 8。

[0090] 软映射器 8,用于接收来自译码器 6 的码字比特序列的外信息序列 1_e ,通过软映射算法生成发射调制符号估计值 \bar{x} ,并反馈给 MIMO 检测器,根据该 \bar{x} ,MIMO 检测器可以获得 \hat{x} 。可以看出,在该实施例中,与实施例一不同。MIMO 检测器不但要接收来自天线的输入,还要接受来自软映射器 7 的输入,优选地,MIMO 检测器具有分别连接到天线和软映射器的两个端口,进一步地,MIMO 检测器可以根据 $Y_1 \dots Y_{NR}$ 来获得 \hat{x} ,也可以根据 $Y_1 \dots Y_{NR}$ 以及 \bar{x} 来获得 \hat{x} 。

[0091] 在该实施例中,优选地,软映射器 8 的通过如下公式生成发射调制符号估计值:

$$[0092] \quad \text{当 } M = 4 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right);$$

$$[0093] \quad \text{当 } M = 16 \text{ 时, } \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right);$$

[0094] 当 $M = 64$ 时,

$$[0095] \quad \hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3); \text{ 其中,}$$

$$P_{i,k}^c = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为发送码字比特的外信息。}$$

[0096] 当码字比特为 0 时, C^i 为 1,当码比特为 1 时, C^i 为 -1。 $i = 1, 2, \dots, M$,其中 M 表示调制阶数。调制方式为 QPSK, 16QAM, 64QAM 时, M 分别为 2, 4, 6。 $k = 1, 2, \dots, N_T$,其中 N_T 表示发送天线的数目。这里 \hat{x}_k 为复信号。

[0097] 通过该实施例提供的迭代检测装置,设置了使用软映射方法的软映射器,可以降低整个迭代检测过程的复杂度。

[0098] 优选地,在该实施例中的软解调器 4 与实施例中使用的软解调器 3 具有相同的功能,即,可以运行本发明实施例提供的简化 M-QAM 软解调算法。通过该优选的技术方案,提供了一种可以运行简化 M-QAM 软解调算法和软映射算法的迭代检测装置,简化了接收机软解调、软映射算法复杂度,从而使得“Turbo”迭代检测方法的复杂度可以适应实际应用需求。

[0099] 实施例三

[0100] 在该实施例中,提供了一种迭代检测方法。该迭代检测方法可以使用上述的任一种迭代检测装置来实现。图 6 给出了该方法的一般实现过程,在下文中,为了便于描述,引入了步骤号,这不构成对本发明的任何限制,根据实施的需要,也可以以不同于此处的顺序来执行。

[0101] 一般地,如图 6 所示,根据本发明实施例的迭代检测处理包括如下过程:

[0102] S602,获取发射调制符号估计值;该步骤可以使用上述的发射调制符号估计值获取单元来执行;

[0103] S604,采用 M-QAM 软解调处理,计算发射调制符号估计值的比特对数似然比;该步骤可以使用上述的软解调器来执行;

[0104] S606,对比特对数似然比进行译码,并迭代检测译码是否成功;该步骤可以使用上述的译码器来执行;

[0105] S608,根据译码是否成功,进行后续处理。该步骤根据译码成功与否,可以由上述

的译码器执行,也可以由译码器和软映射器执行。

[0106] 优选地,如图 7 所示,在 S608 中,如果译码成功,则可以进行到 S608-1:译码器输出译码码字,结束迭代检测;如果译码失败,则可以进行到 S608-2:进行软映射处理,得到第一发射调制符号估计值,并返回到 S602。

[0107] 以下具体描述以上步骤的各个细节。

[0108] (一)S602

[0109] 在该步骤中,对于发射调制符号估计值的获取,优选地,可以通过 MIMO 检测来实现,并且,至少可以通过如下的两种方式来实现:

[0110] 方式一:从接收天线接收数据信号,对数据信号进行 MIMO 检测,获得发射调制符号估计值;该方式通常在首次迭代检测和/或上次迭代检测过程中译码成功时使用,这是因为,在首次迭代检测和/或上次迭代检测成功时,不会有步骤 608-2 的反馈。

[0111] 方式二:从接收天线接收数据信号,并接收步骤 608-2 反馈的第一发射调制符号估计值,对数据信号和第一发射调制符号估计值进行 MIMO 检测,得到发射调制符号估计值。该方式通常在迭代检测的中间过程中使用,具体地,在上次迭代检测过程中译码失败时使用。

[0112] 优选地,该步骤中使用的 MIMO 检测采用最小均方误差软干扰消除 (MMSE-SIC) 检测算法,但本发明中的 MIMO 检测算法不限于此。

[0113] 例如,设发送天线数为 N_T ,接收天线数为 N_R 。某时刻,发射侧发射天线发送符号向量 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_{N_T}]^T$ MIMO 信道矩阵 $\mathbf{H} = [h_{i,j}]_{N_R \times N_T} = [\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_{N_T}]$,步骤 608-2 反馈的发送调制符号估计 \bar{x}_j ($j = 1 \dots N_T$),则最小均方误差软干扰消除检测符号 x_j 的估计值 \hat{x}_j 为:

$$\hat{x}_j = \mathbf{w}_j^H \left(\mathbf{y} - \sum_{i \neq j} \mathbf{h}_i \bar{x}_i \right), \text{其中, } \mathbf{w} \text{ 为最小均方误差滤波系数, } (j = 1 \dots N_T) \text{。需要注意的是,如上}$$

所述,在首次迭代检测时,反馈的发送调制符号估计 $\bar{x}_j = 0$ 。

[0114] (二)S604

[0115] 在该步骤中,优选地,基于格雷映射 M-QAM 调制,采用简化 M-QAM 软解调算法。其中, M 表示星座图调制符号个数,即,调制阶数。具体地,设 MIMO 检测输出的发射调制符号估计值为 \hat{x}_k , l_k^i 为调制符号估计值 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比。

[0116] 则优选地,当 $M = 4$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$; 当 $M = 16$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, 当 $M = 64$ 时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$, 其中, \hat{x}_k 为发射调制符号估计值, l_k^i 为 \hat{x}_k 的第 i 个比特的近似对数似然比, M 为 M-QAM 软解调的解调阶数; C_1 和 C_2 为常数。

[0117] 优选地,系数 C_1, C_2 与 M 相关,对于 $M = 16$, $C_1 = \frac{2}{\sqrt{10}}$; 对于 $M = 64$, $C_1 = \frac{4}{\sqrt{42}}$; 系数 $C_2 = \frac{2}{\sqrt{42}}$ 。对于以上 C_1, C_2 的取值仅仅是示例性的,根据实施的需要,可以采用其他取值。

[0118] 例如,假如采用若采用 64QAM 格雷映射,则每个调制符号需要由 6 个

比特映射而成, $l_k^i (i=1\cdots 6)$ 表示估计符号 \hat{x}_j 中第 i 比特的对数似然比。此时, $l_k^1 = \text{Re}(\hat{x}_k)$, $l_k^2 = \text{Im}(\hat{x}_k)$, $l_k^3 = C_1 - |l_k^1|$, $l_k^4 = C_1 - |l_k^2|$, $l_k^5 = C_2 - |l_k^3|$, $l_k^6 = C_2 - |l_k^4|$, 其中, $C_1 = \frac{4}{\sqrt{42}}$, $C_2 = \frac{2}{\sqrt{42}}$ 。

[0119] 当然,在该步骤中,也可以采用其他的 M-QAM 解调算法。

[0120] (三) S606 和 S608

[0121] S606 可以通过如下操作来实现:

[0122] 对于 S604 计算出的比特对数似然比,首先,采用软输入软输出 (Soft Input Soft Output, 简称为 SIS0) LDPC 译码算法进行译码,产生硬判决二进制信息比特序列 $\hat{\mathbf{i}}$ 和关于码字比特序列的外信息。接下来,利用 LDPC 校验矩阵判断译码是否成功,设 LDPC 译码后二进制信息比特序列为 $\hat{\mathbf{i}} = [i_1, i_2, \dots, i_k]$, 二进制码字比特序列为 $\hat{\mathbf{c}} = [\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_N]$, 采用的 LDPC 校验矩阵为 \mathbf{H}_{LDPC} , 其维数为 $(N-K) \times N$ 。则当 $\hat{\mathbf{c}}^* \mathbf{H}_{LDPC} = \mathbf{0}$ 时,表示 LDPC 译码成功;当 $\hat{\mathbf{c}}^* \mathbf{H}_{LDPC} \neq \mathbf{0}$ 时,表示 LDPC 译码失败。如上所述,如果译码成功,则进行到 S608-1,向后续信息接收单元输出 LDPC 译码的二进制信息比特序列 $\hat{\mathbf{i}}$,接收机迭代检测算法结束,否则,进行到 S608-2。

[0123] 优选地,在本发明实施例的一种优选方式中,在迭代检测过程中,为了避免过多的迭代导致检测效率下降,可以预先设置一最大迭代检测次数阈值,如果当前迭代检测次数超过该阈值,则不再继续检测。这种情况下涉及到当前迭代检测次数的更新。例如,在假设当前迭代检测次数为 I_{cur} ,初次迭代时, $I_{cur} = 0$,更新操作为 $I_{cur} = I_{cur} + 1$,即,在检测完成后,将当前迭代检测次数加 1。

[0124] 阈值的设置对于本发明实施例的后续操作步骤也会有影响。例如,若 LDPC 译码失败,则需要进一步判断当前迭代检测次数是否达到预设的阈值 I_{max} 。若当前迭代检测次数 $I_{cur} < I_{max}$,则输出发送码字比特序列的外信息序列,并转入 S608-2;若当前迭代检测次数 $I_{cur} \geq I_{max}$,则可以转入 S608-3,向后续信息接收单元输出 LDPC 译码的二进制信息比特序列 $\hat{\mathbf{i}}$,接收机迭代检测算法结束。通过该优选实现方式的设置,可以进一步提高接收机的迭代检测次数。

[0125] (四) S608

[0126] 该步骤的处理可以包括上述的 S608-1 和 S608-2。优选地,如果该迭代检测过程设置了阈值,则还可以包括上述的 S608-3,具体可以参照图 7,需要说明的是,图 7 中的虚线框代表可选。

[0127] 具体地,在 S608-2 中,可以通过如下处理来确定第一发射调制符号估计值:

[0128] 当 $M = 4$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{2}} \left((1 - 2P_{1,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0) \right)$;

[0129] 当 $M = 16$ 时, $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{10}} \left((1 - 2P_{1,k}^0)(1 + 2P_{3,k}^0) + j(1 - 2P_{2,k}^0)(1 + 2P_{4,k}^0) \right)$;

[0130] 当 $M = 64$ 时

[0131] $\hat{x}_k = \frac{1}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{1,k}^0) (4P_{3,k}^0 P_{5,k}^0 + 2P_{3,k}^0 - 2P_{5,k}^0 + 3) + \frac{j}{\sqrt{42}} (1 - 2P_{2,k}^0) (4P_{4,k}^0 P_{6,k}^0 + 2P_{4,k}^0 - 2P_{6,k}^0 + 3)$; 其中,

$$P_{i,k}^{c^i} = \frac{\exp(c^i l_e(c_{k,i}))}{1 + \exp(c^i l_e(c_{k,i}))}, l_e(c_{k,i}) \text{ 为发送码字比特的外信息。}$$

[0132] 当码字比特为 0 时, C^i 为 1, 当码字比特为 1 时, C^i 为 -1。 $i = 1, 2, \dots, M$, 其中 M 表示调制阶数。调制方式为 QPSK, 16QAM, 64QAM 时, M 分别为 2, 4, 6。 $k = 1, 2, \dots, N_T$, 其中 N_T 表示发送天线的数目。这里 \hat{x}_k 为复信号。

[0133] 如果在 S604 中采用简化 M-QAM 解调算法, 可以保持检测性能不变, 简化接收机软解调算法复杂度; 如果在 S604 中采用简化 M-QAM 解调算法, 并且在 S608-2 中采用简化软映射算法, 可以简化接收机软解调、软映射算法复杂度, 从而使得“Turbo”迭代检测方法的复杂度可以适应实际应用需求。

[0134] 综上, 通过本发明实施例, 将简化软解调 / 软映射算法与迭代 LDPC-MIMO 检测算法有机结合, 可以简化传统迭代检测中软解调以及反馈调制符号估计的高复杂度, 从而可以降低 LDPC-MIMO 迭代检测算法复杂度, 提高接收机性能。

[0135] 显然, 本领域的技术人员应该明白, 上述的本发明的各模块或各步骤可以用通用的计算装置来实现, 它们可以集中在单个的计算装置上, 或者分布在多个计算装置所组成的网络上, 可选地, 它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现。本发明不限制于任何特定的硬件和软件结合。

[0136] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已, 并不用于限制本发明, 对于本领域的技术人员来说, 本发明可以有各种更改和变化。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。

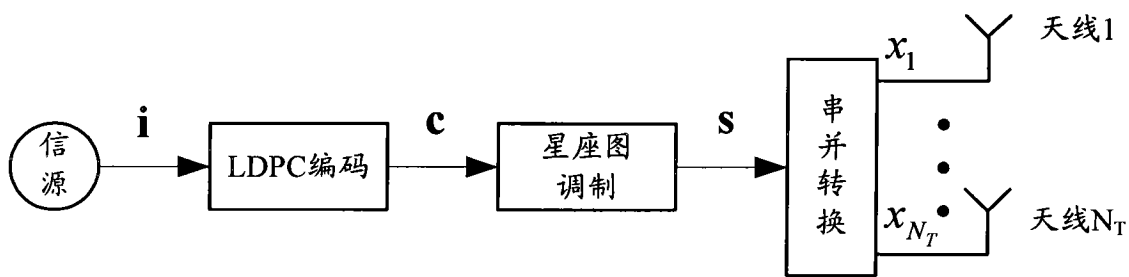


图 1

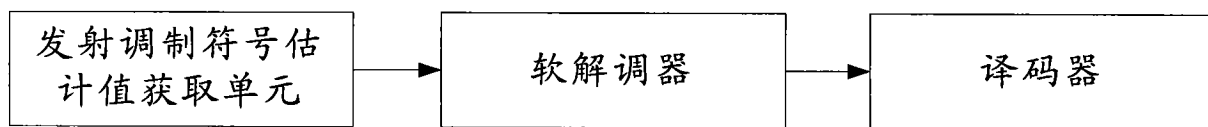


图 2

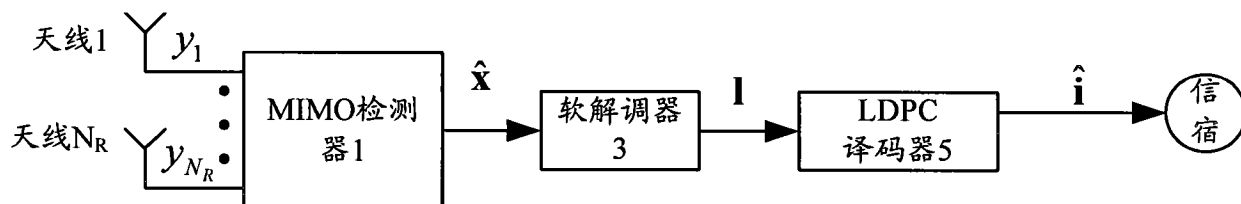


图 3

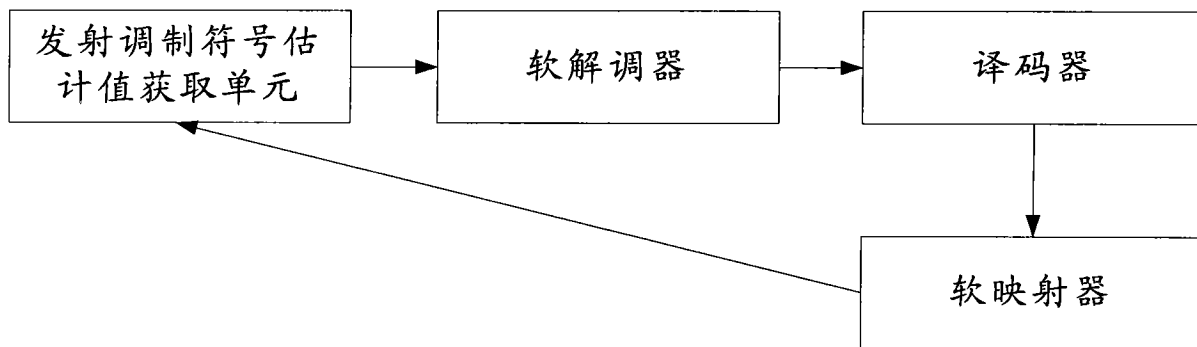


图 4

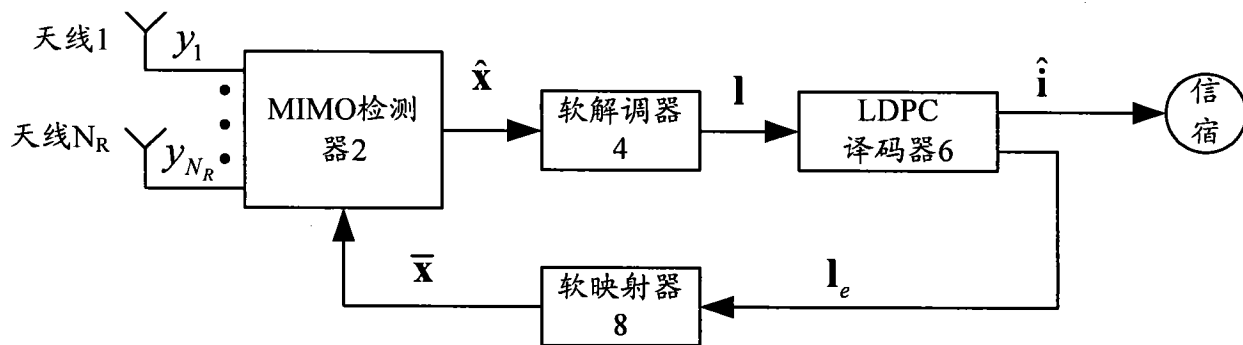


图5

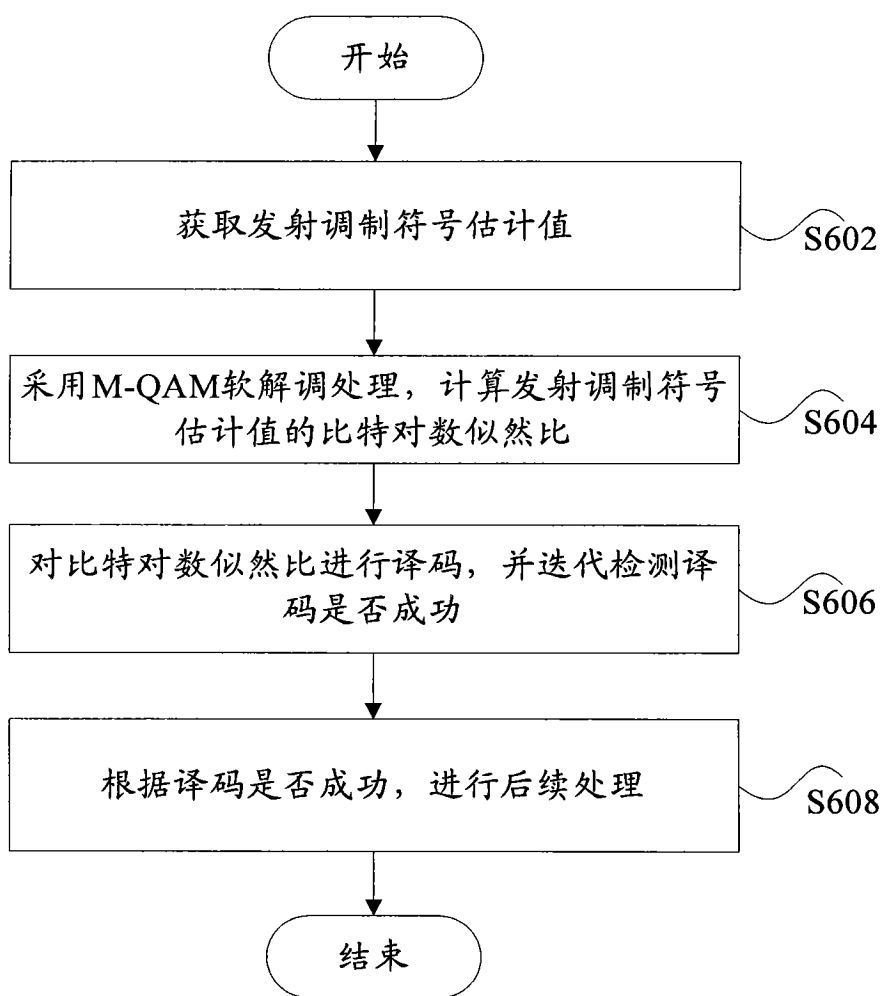


图6

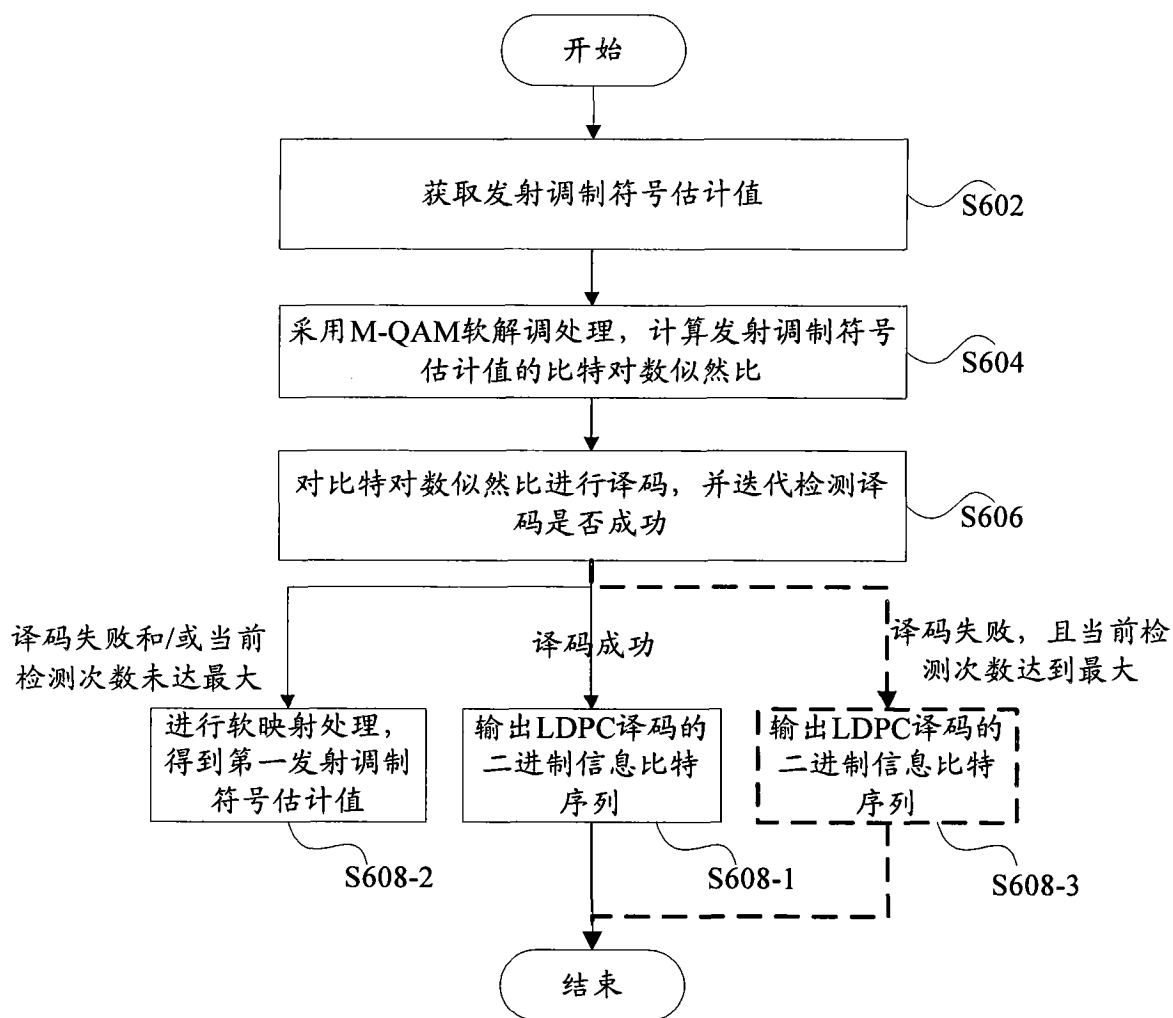


图 7

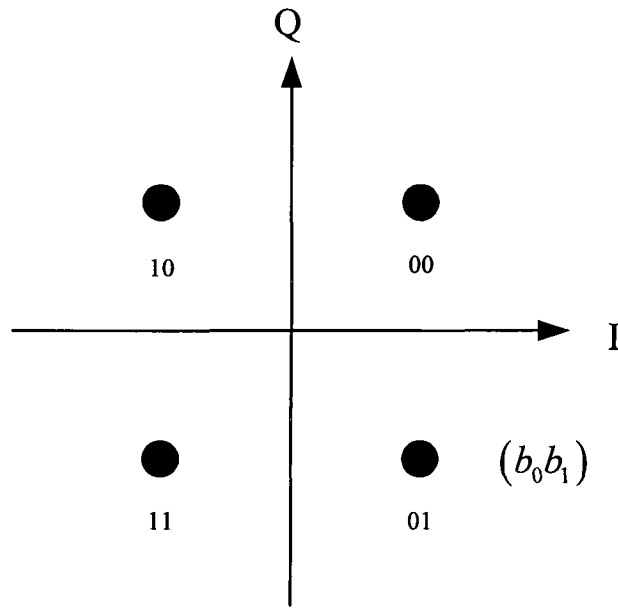


图 8

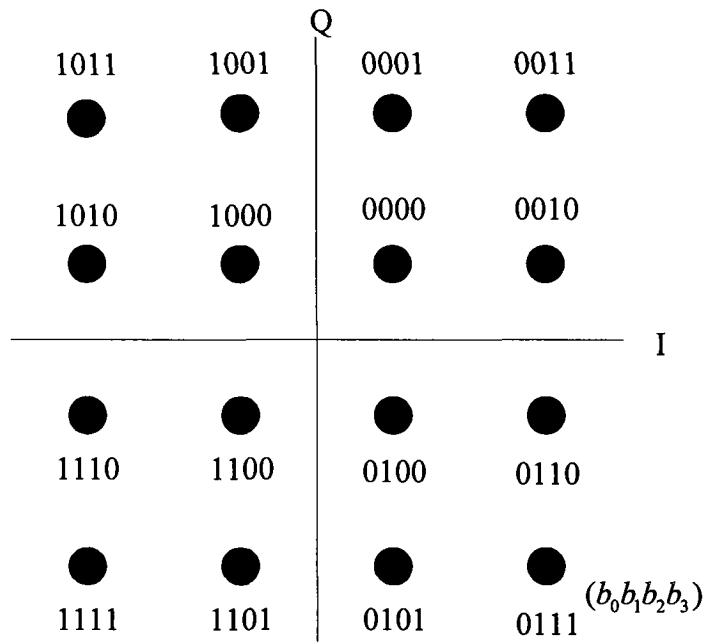


图 9

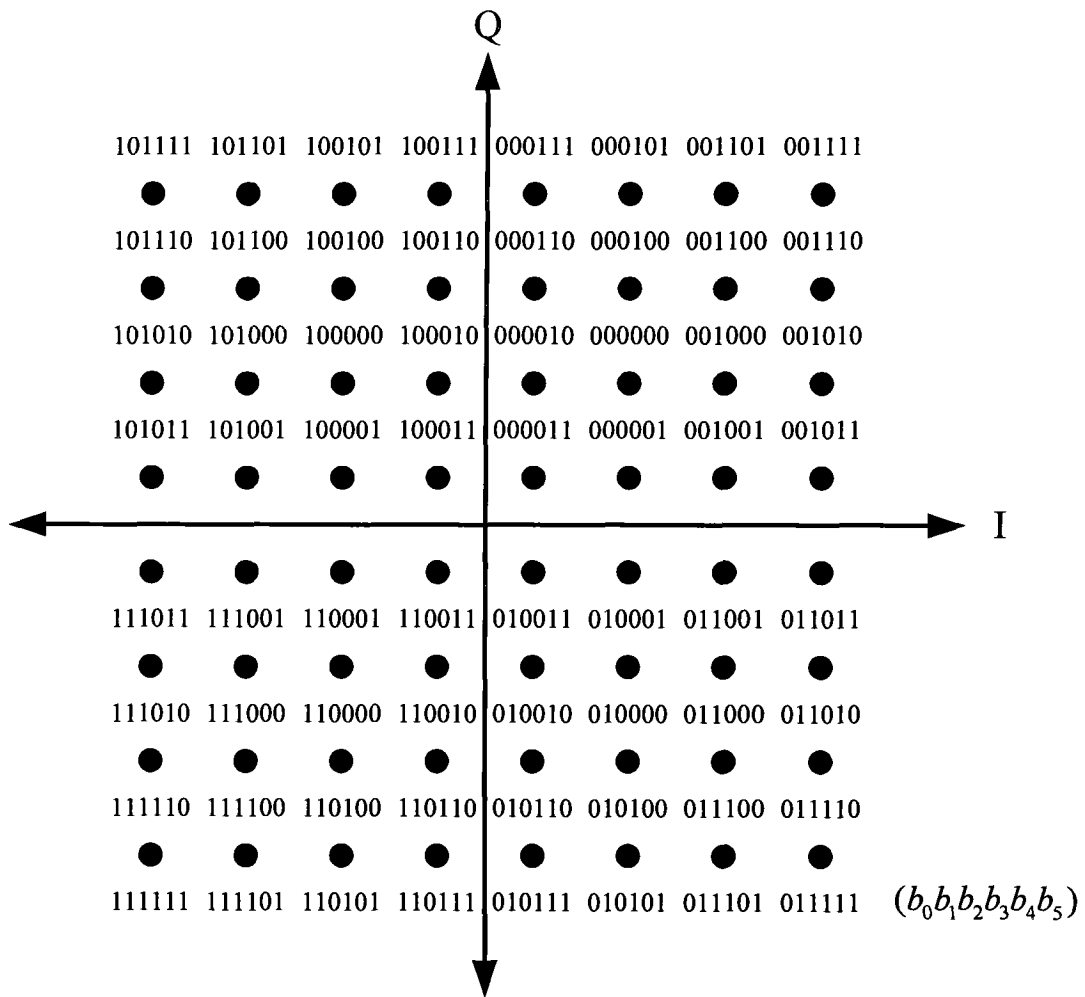


图 10