

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101056162 B

(45) 授权公告日 2011.09.21

(21) 申请号 200610091970.2

(22) 申请日 2006.06.20

(66) 本国优先权数据

200610079787.0 2006.05.15 CN

(73) 专利权人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72) 发明人 李斌 夏林峰 冯胜荣 杜颖钢

(74) 专利代理机构 上海明成云知识产权代理有限公司 31232

代理人 成春荣 竺云

(56) 对比文件

CN 1581725 A, 2005.02.16, 全文.

US 20030063654 A1, 2003.04.03, 说明书第0023-0025、0062-0072段、附图2a-2d和权利要求1、15-26.

审查员 柳文祎

(51) Int. Cl.

H04L 1/06 (2006.01)

H04B 7/04 (2006.01)

H04B 7/06 (2006.01)

H04B 7/08 (2006.01)

H04L 27/26 (2006.01)

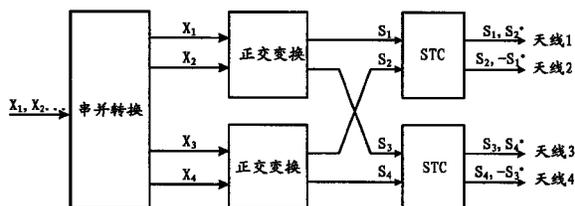
权利要求书 4 页 说明书 15 页 附图 10 页

(54) 发明名称

多输入多输出系统信号收发方法及其装置

(57) 摘要

本发明涉及无线通信领域,公开了一种多输入多输出系统信号收发方法及其装置,使得对于四个或四个以上的发射天线,全分集的码率可以达到1,并且码字正交。本发明中,对待发送的2N个信号进行线性变换,将生成的2N个变换结果以2个为1组重组为N个结果组,分别以码率为1的双天线时空码进行编码,典型地可用“Alamouti”时空码进行编码,将N组经编码的信号分别通过N对天线轮流发送。



1. 一种多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,发射端预先将  $2N$  个天线以 2 个为 1 组分成  $N$  组,其中  $N$  为大于 1 的整数;

发送时,所述发射端将待发送的  $2N$  个信号均分为 2 个变换组分别进行线性变换,每个变换组生成  $N$  个变换结果,将  $2N$  个变换结果以 2 个 1 组重组为  $N$  个结果组,其中每个结果组内的 2 个变换结果来自不同的变换组;

对  $N$  个结果组分别以码率为 1 的双天线时空码进行编码,将  $N$  组经编码的信号分别通过所述  $N$  组天线轮流发送。

2. 根据权利要求 1 所述的多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,所述线性变换为正交变换。

3. 根据权利要求 2 所述的多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,所述正交变换包括快速傅里叶变换、哈达码变换和余弦变换。

4. 根据权利要求 1 所述的多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,还包含以下步骤:

先将待发送的串行信号流转换为  $2N$  个并行信号流,每次从这  $2N$  个并行信号流中各取 1 个信号形成  $2N$  个信号进行所述线性变换。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

6. 根据权利要求 5 所述的多输入多输出系统信号发送方法,其特征在于,每组所述天线发送所述经编码的信号时,以 2 个天线连续发射 2 个码元符号。

7. 一种多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,包含以下步骤:

接收端每次收到信号时,以码率为 1 的双天线时空码进行解码,每次解码得到 2 个信号;

将连续  $N$  次解码所得的  $2N$  个信号均分成 2 个组,每组中的  $N$  个信号分别来自  $N$  次不同的解码结果;其中, $N$  为大于 1 的整数;

对每组中的  $N$  个信号分别进行与发射端的线性变换相应的逆变换,每组各获得  $N$  个变换结果,将 2 组变换结果合并成  $2N$  个信号输出。

8. 根据权利要求 7 所述的多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,所述线性变换是正交变换。

9. 根据权利要求 7 所述的多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,还包含以下步骤:

将所述 2 组变换结果合并成的  $2N$  个信号转换为串行信号流输出。

10. 根据权利要求 7 至 9 中任一项所述的多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

11. 一种多输入多输出系统信号发送装置,其特征在于,包含以 2 个为 1 组的  $N$  组天线、与  $N$  组天线一一对应的  $N$  个编码模块、和线性变换模块,其中  $N$  为大于 1 的整数;

所述线性变换模块用于将  $2N$  个输入的待发送信号均分为 2 个变换组分别进行线性变换,每个变换组生成  $N$  个变换结果,将  $2N$  个变换结果以 2 个 1 组重组为  $N$  个结果组分别输出到所述  $N$  个编码模块;其中每个结果组内的 2 个变换结果来自不同的变换组;

每个所述编码模块用于以码率为 1 的双天线时空码进行编码,并输出到对应的 1 组天

线；

N 组天线轮流发送来自对应编码模块的信号。

12. 根据权利要求 11 所述的多输入多输出系统信号发送装置,其特征在於,还包含串转并模块,用于将待发送的串行信号流转换为 2N 个并行信号流,均分成 2 组分别输出到所述 2 个线性变换模块。

13. 根据权利要求 11 或 12 所述的多输入多输出系统信号发送装置,其特征在於,所述线性变换为正交变换；

所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

14. 一种多输入多输出系统信号接收装置,其特征在於,包含天线、解码模块、线性变换模块；

每个所述解码模块用于对所述天线收到的信号以码率为 1 的双天线时空码进行解码,连续 N 次解码得到 2N 个信号,输出所述线性变换模块中；

所述线性变换模块用于对 2N 个输入信号均分成 2 个组,每组中的 N 个信号分别来自 N 次不同的解码结果,并对每组中的 N 个信号分别进行与发射端的线性变换相应的逆变换,获得 2N 个信号输出；其中 N 为大于 1 的整数。

15. 根据权利要求 14 所述的多输入多输出系统信号接收装置,其特征在於,还包含并转串模块,用于将所述 2 个线性变换模块输出的 2N 个并行信号转换为一路串行信号输出。

16. 根据权利要求 14 或 15 所述的多输入多输出系统信号接收装置,其特征在於,所述线性变换为正交变换；

所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

17. 一种多输入多输出系统信号接收方法,其特征在於,通过以下公式检测所收到的信号：

$$\hat{X} = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H R$$

$$\text{其中, } R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ \vdots \\ r_{2N-1} \\ r_{2N}^* \end{bmatrix}, r_i \text{ 是码元符号 } i \text{ 内收到的信号, } N \text{ 为大于 } 1 \text{ 的整数, } r_i^* \text{ 代表 } r_i \text{ 的共轭,}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{2N-1} \\ x_{2N} \end{bmatrix} \text{ 是需要检测的信号, } \hat{X} \text{ 代表 } X \text{ 的估计值, } H_{CH} \text{ 是各天线所对应的信道参数矩阵, } H_{OT}$$

是发射端的线性变换矩阵,  $H_{OT}^H$  代表  $H_{OT}$  的共轭转置,  $H_{CH}^H$  代表  $H_{CH}$  的共轭转置,  $\sigma_n^2$  代表零均值高斯分布噪声的方差, 上标“-1”代表对矩阵求逆。

18. 如权利要求 17 所述的多输入多输出系统信号接收方法,其特征在於,

$$\text{当发射天线数为 4 时, } H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}, \text{其中 } h_i \text{ 为发射天线 } i \text{ 所对应的信道}$$

参数;

$$\text{当发射天线数为 8 时, } H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix}, \text{其中 } h_i \text{ 为发射}$$

天线  $i$  所对应的信道参数。

19. 如权利要求 17 所述的多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,所述  $H_{OT}$  是正交变换矩阵。

20. 一种多输入多输出系统的信号接收机,其特征在于,包含:

一个天线;

串转并模块,用于将所述天线串行接收的  $2N$  个码元符号中的信号  $r_i$  转为并行信号输出;

共扼处理模块,用于对来自所述串转并模块的并行信号中序号为偶数的  $r_i$  取共扼,维持序号为奇数的  $r_i$  不变,将处理结果作为矢量  $R$  输出;

矩阵计算模块,用于计算并输出矩阵  $C = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H$ ;

矩阵相乘模块,用于将矩阵  $C$  乘以矢量  $R$  后得到检测结果;

其中,  $1 \leq i \leq 2N$ ,  $N$  为大于 1 的整数,  $H_{CH}$  是各天线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是发射端的线性变换矩阵,  $H_{OT}^H$  代表  $H_{OT}$  的共扼转置,  $H_{CH}^H$  代表  $H_{CH}$  的共扼转置,  $\sigma_n^2$  代表零均值高斯分布噪声的方差,上标“-1”代表对矩阵求逆。

21. 一种多输入多输出系统信号接收方法,其特征在于,包含以下步骤:

对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R - H_{CH} H_{OT} X)^H (R - H_{CH} H_{OT} X)$ ;

在所有的  $Z_k$  中搜索最小值,将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出;

$$\text{其中,上标“H”代表对矩阵进行共扼转置操作, } R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ \vdots \\ r_{2N-1} \\ r_{2N}^* \end{bmatrix}, r_i \text{ 是码元符号 } i \text{ 内收到的}$$

信号,  $N$  为大于 1 的整数,  $r_i$  代表  $r_i$  的共轭,  $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{2N-1} \\ x_{2N} \end{bmatrix}$  是需要检测的信号,  $H_{CH}$  是各天线所

对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是线性变换矩阵。

22. 如权利要求 21 所述的多输入多输出系统信号接收方法, 其特征在于,

当发射天线数为 4 时,  $H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}$ , 其中  $h_i$  为发射天线  $i$  所对应的信道

参数;

当发射天线数为 8 时,  $H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix}$ , 其中  $h_i$  为发射

天线  $i$  所对应的信道参数。

23. 如权利要求 21 所述的多输入多输出系统信号接收方法, 其特征在于, 所述  $H_{OT}$  是正交变换矩阵。

24. 一种多输入多输出系统的信号接收机, 其特征在于, 包含:

一个天线;

串转并模块, 用于将所述天线串行接收的  $2N$  个码元符号中的信号  $r_i$  转为并行信号输出;

共轭处理模块, 用于对来自所述串转并模块的并行信号中序号为偶数的  $r_i$  取共轭, 维持序号为奇数的  $r_i$  不变, 将处理结果作为矢量  $R$  输出; 矩阵计算模块, 用于计算并输出矩阵

$$\mathbf{C} = (\mathbf{H}_{OT}^H \mathbf{H}_{CH}^H \mathbf{H}_{CH} \mathbf{H}_{OT} + \sigma_n^2 \mathbf{I}_n)^{-1} \mathbf{H}_{OT}^H \mathbf{H}_{CH}^H;$$

ML 算法模块, 用于对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R - H_{CH} H_{OT} X_k)^H (R - H_{CH} H_{OT} X_k)$ , 在所有的  $Z_k$  中搜索最小值, 将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出

其中,  $1 \leq i \leq 2N$ ,  $N$  为大于 1 的整数,  $H_{CH}$  是各天线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是发射端的线性变换矩阵, 上标“H”代表对矩阵进行共轭转置操作。

## 多输入多输出系统信号收发方法及其装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信领域,特别涉及多输入多输出(Multiple Input Multiple Output,简称“MIMO”)技术。

### 背景技术

[0002] 当前的无线局域网(Wireless Local Area Network,简称“WLAN”)技术正在面临着一些限制,例如有限的带宽与发射功率、干扰、信号衰减,以及多径效应(造成干扰的回波与反射)。随着时势的发展,未来移动通信宽带无线移动和无线接入融合系统成为当前热门的研究课题,而MIMO系统是人们研究较多的方向之一,MIMO技术将成为解决这些问题的有效手段,它可以改进WLAN的吞吐量、传输距离和可靠性,是目前无线领域中一项最重要的技术。

[0003] MIMO系统比传统的天线系统具有成倍的系统容量,信号通过发射端和接收端的多个天线发送和接收,从而改善每个用户的服务质量,例如,误比特率或数据速率。然而,传统的通信系统采用的是单输出和单输入(Single-Input and Single-Output,简称“SISO”)天线系统。另外,基于发射分集和接收分集的多输入单输出(Multiple-Inputs and Single-Output,简称“MISO”)方式和单输入多输出(Single-Input and Multiple-Outputs,简称“SIMO”)方式也属于是MIMO系统的实现方式,但是在通信的两端都实现真正的MIMO,才能取得最佳的效果。

[0004] 时空编码是MIMO系统的基础,而新一代无线通信系统将计划采用时空处理技术。人们也正在不断地提出新的或改进的时空码(Space-Time Coding,简称“STC”)方式,以改善MIMO系统的性能,减少时空编码系统的复杂性,更好地适合新一代无线通信系统的要求和信道的实际情况。

[0005] STC技术是一个重要的课题,它利用时间和空间的二维编码,能最大限度提高无线信道中的传输速率,以满足新一代无线通信的技术需求,STC技术的一般结构如图1所示。

[0006] STC技术的物理实质在于:利用存在于空域与时域之间的正交或准正交特性,按照某种设计准则,把编码冗余信息尽量均匀映射到时空二维平面,以减弱无线多径传播所引起的空间选择性衰落及时间选择性衰落的消极影响,从而实现无线信道中高可靠性的高速数据传输。

[0007] STC主要包括以下四类:分层时空码(Layered Space-Time Coding,简称“LSTC”)、时空分组码(Space-Time Block Coding,简称“STBC”)、时空格形码(Space-Time Trellis Coding,简称“STTC”)和时空“Turbo”码等。更复杂的STC方案是上述几类STC的各种级联结构,各类STC的实现复杂度和性能各不相同。

[0008] 另外,为了达到高速率传输,在MIMO系统中的发射端和接收端都应用了天线分集技术,来降低传输路径的相关性以达到较高的通道容量。

[0009] 在无线环境当中,多重路径传播现象是导致通道衰落的主要原因,而天线分集(Antenna Diversity)技术是一个典型抵抗通道衰落的技术。传统上,天线分集技术为处理

来自于多根空间不相关联的接收天线所接收的信号,而这些信号是从发射端发射后经过不同的路径(path)传播的,因此,采用天线分集技术同时接收到严重衰落失真的信号的机率很小,可以有效提高信号的传输品质,抵抗通道衰落。

[0010] “Alamouti”时空码是一个简单而有效的时空编码,它应用于二个发射天线和多个接收天线,如图2所示,达到码率为1和全分集效果,如图3所示。其中,全分集效果即分集度为发射天线数目2;码率的定义为码元符号数与发射时隙数之比。研究表明,当发射天线数大于2时,如果码率为1且能获得全分集增益的STC方案难以实现。

[0011] 当天线数为2时,STC采用“Alamouti”时空码,如图2和图3所示,可以达到发射天线的码率为1,并达到全分集的效果。其中,输入信号“ $S_1, S_2, \dots$ ”首先通过串并转换得到二个并行的数据流,对于每对并行数据 $S_1$ 和 $S_2$ ,分别在二个码元符号里和二个发射天线上发送。具体地说,在天线1的二个码元符号里分别发送数据 $S_1$ 和 $S_2^*$ ,在天线2的二个码元符号里分别发送数据 $S_2$ 和 $-S_1^*$ ,其中, $S_1^*$ 是 $S_1$ 的共轭, $S_2^*$ 是 $S_2$ 的共轭。

[0012] 当天线数为4时,采用正交时空码和准正交时空码,其中,正交时空码可以达到全分集效果,但码率为 $3/4$ ;而准正交时空码可以达到码率为1和全分集效果,但码字不正交。

[0013] 在实际应用中,上述方案存在以下问题:对于四个或四个以上的发射天线,全分集的码率小于1,或码字不正交。

[0014] 造成这种情况的主要原因在于,在现有技术中,正交码无法同时达到全分集效果和码率为1。

## 发明内容

[0015] 有鉴于此,本发明的主要目的在于提供一种多输入多输出系统信号收发方法及其装置,使得对于四个或四个以上的发射天线,全分集的码率可以达到1,并且码字正交。

[0016] 为实现上述目的,本发明提供了一种多输入多输出系统信号发送方法,包含以下步骤:

[0017] 发射端预先将 $2N$ 个天线以2个为1组分成 $N$ 组,其中 $N$ 为大于1的整数;

[0018] 发送时,所述发射端将待发送的 $2N$ 个信号均分为2个变换组分别进行线性变换,每个变换组生成 $N$ 个变换结果,将 $2N$ 个变换结果以2个1组重组为 $N$ 个结果组,其中每个结果组内的2个变换结果来自不同的变换组;

[0019] 对 $N$ 个结果组分别以码率为1的双天线时空码进行编码,将 $N$ 组经编码的信号分别通过所述 $N$ 组天线轮流发送。

[0020] 其中,所述线性变换为正交变换。

[0021] 此外在所述方法中,所述正交变换包括快速傅里叶变换、哈达码变换和余玄变换。

[0022] 此外在所述方法中,还包含以下步骤:

[0023] 先将待发送的串行信号流转换为 $2N$ 个并行信号流,每次从这 $2N$ 个并行信号流中各取1个信号形成 $2N$ 个信号进行所述线性变换。

[0024] 此外在所述方法中,所述码率为1的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

[0025] 此外在所述方法中,每组所述天线发送所述经编码的信号时,以2个天线连续发射2个码元符号。

[0026] 本发明还提供了一种多输入多输出系统信号接收方法,包含以下步骤:

[0027] 接收端每次收到信号时,以码率为 1 的双天线时空码进行解码,每次解码得到 2 个信号;

[0028] 将连续 N 次解码所得的 2N 个信号均分成 2 个组,每组中的 N 个信号分别来自 N 次不同的解码结果;其中, N 为大于 1 的整数;

[0029] 对每组中的 N 个信号分别进行与发射端的线性变换相应的逆变换,每组各获得 N 个变换结果,将 2 组变换结果合并成 2N 个信号输出。

[0030] 其中,所述线性变换是正交变换。

[0031] 此外在所述方法中,还包含以下步骤:

[0032] 将所述 2 组变换结果合并成的 2N 个信号转换为串行信号流输出。

[0033] 此外在所述方法中,所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

[0034] 本发明还提供了一种多输入多输出系统信号发送装置,包含以 2 个为 1 组的 N 组天线、与 N 组天线一一对应的 N 个编码模块、和线性变换模块,其中 N 为大于 1 的整数;

[0035] 所述线性变换模块用于将 2N 个输入的待发送信号均分为 2 个变换组分别进行线性变换,每个变换组生成 N 个变换结果,将 2N 个变换结果以 2 个 1 组重组为 N 个结果组分别输出到所述 N 个编码模块;其中每个结果组内的 2 个变换结果来自不同的变换组;

[0036] 每个所述编码模块用于以码率为 1 的双天线时空码进行编码,并输出到对应的 1 组天线;

[0037] N 组天线轮流发送来自对应编码模块的信号。

[0038] 其中,还包含串转并模块,用于将待发送的串行信号流转换为 2N 个并行信号流,均分成 2 组分别输出到所述 2 个线性变换模块。

[0039] 此外,所述线性变换为正交变换;

[0040] 所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

[0041] 本发明还提供了一种多输入多输出系统信号接收装置,包含天线、解码模块、线性变换模块;

[0042] 每个所述解码模块用于对所述天线收到的信号以码率为 1 的双天线时空码进行解码,连续 N 次解码得到 2N 个信号,输出所述线性变换模块中;

[0043] 所述线性变换模块用于对 2N 个输入信号均分成 2 个组,每组中的 N 个信号分别来自 N 次不同的解码结果,并对每组中的 N 个信号分别进行与发射端的线性变换相应的逆变换,获得 2N 个信号输出;其中 N 为大于 1 的整数。

[0044] 其中,还包含并转串模块,用于将所述 2 个线性变换模块输出的 2N 个并行信号转换为一路串行信号输出。

[0045] 此外,所述线性变换为正交变换;

[0046] 所述码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。

[0047] 本发明还提供了一种多输入多输出系统信号接收方法,通过以下公式检测所收到的信号:

$$[0048] \hat{X} = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H R$$

[0049] 其中,  $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ \vdots \\ r_{2N-1} \\ r_{2N}^* \end{bmatrix}$ ,  $r_i$  是码元符号  $i$  内收到的信号,  $N$  为大于 1 的整数,  $r_i^*$  代表  $r_i$  的共扼,  $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_{2N-1} \\ x_{2N} \end{bmatrix}$  是需要检测的信号,  $\hat{\mathbf{X}}$  代表  $\mathbf{X}$  的估计值,  $H_{CH}$  是各天线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是发射端的线性变换矩阵,  $H_{OT}^H$  代表  $H_{OT}$  的共扼转置,  $H_{CH}^H$  代表  $H_{CH}$  的共扼转置,  $\sigma_n^2$  代表零均值高斯分布噪声的方差, 上标 “-1” 代表对矩阵求逆。

[0050] 当发射天线数为 4 时,  $H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}$ , 其中  $h_i$  为发射天线  $i$  所对应的信道参数;

[0051] 当发射天线数为 8 时,  $H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix}$ , 其中  $h_i$  为发射天线  $i$  所对应的信道参数。

发射天线  $i$  所对应的信道参数。

[0052] 所述  $H_{OT}$  是正交变换矩阵。

[0053] 本发明还提供了一种多输入多输出系统的信号接收机, 包含:

[0054] 一个天线;

[0055] 串转并模块, 用于将所述天线串行接收的  $2N$  个码元符号中的信号  $r_i$  转为并行信号输出;

[0056] 共扼处理模块, 用于对来自所述串转并模块的并行信号中序号为偶数的  $r_i$  取共扼, 维持序号为奇数的  $r_i$  不变, 将处理结果作为矢量  $\mathbf{R}$  输出;

[0057] 矩阵计算模块, 用于计算并输出矩阵  $\mathbf{C} = (\mathbf{H}_{OT}^H \mathbf{H}_{CH}^H \mathbf{H}_{CH} \mathbf{H}_{OT} + \sigma_n^2 \mathbf{I}_n)^{-1} \mathbf{H}_{OT}^H \mathbf{H}_{CH}^H$ ;

[0058] 矩阵相乘模块, 用于将矩阵  $\mathbf{C}$  乘以矢量  $\mathbf{R}$  后得到检测结果;

[0059] 其中,  $1 \leq i \leq 2N$ ,  $N$  为大于 1 的整数,  $H_{CH}$  是各天线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是发射端的线性变换矩阵,  $H_{OT}^H$  代表  $H_{OT}$  的共扼转置,  $H_{CH}^H$  代表  $H_{CH}$  的共扼转置,  $\sigma_n^2$  代表零均值高斯分布噪声的方差, 上标 “-1” 代表对矩阵求逆。

[0060] 本发明还提供了一种多输入多输出系统信号接收方法, 包含以下步骤:

[0061] 对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R - H_{CH}H_{OT}X)^H (R - H_{CH}H_{OT}X)$  ;

[0062] 在所有的  $Z_k$  中搜索最小值, 将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出;

[0063] 其中, 上标  $H$  代表对矩阵进行共轭转置操作,  $R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ \mathbf{M} \\ r_{2N-1} \\ r_{2N}^* \end{bmatrix}$ ,  $r_i$  是码元符号  $i$  内收到

的信号,  $N$  为大于 1 的整数,  $r_i^*$  代表  $r_i$  的共扼,  $X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \mathbf{M} \\ x_{2N-1} \\ x_{2N} \end{bmatrix}$  是需要检测的信号,  $H_{CH}$  是各天

线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是线性变换矩阵。

[0064] 本发明还提供了一种多输入多输出系统的信号接收机, 包含:

[0065] 一个天线;

[0066] 串转并模块, 用于将所述天线串行接收的  $2N$  个码元符号中的信号  $r_i$  转为并行信号输出;

[0067] 共扼处理模块, 用于对来自所述串转并模块的并行信号中序号为偶数的  $r_i$  取共扼, 维持序号为奇数的  $r_i$  不变, 将处理结果作为矢量  $R$  输出;

[0068] 矩阵计算模块, 用于计算并输出矩阵  $C = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H$ ;

[0069] ML 算法模块, 用于对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R - H_{CH}H_{OT}X)^H (R - H_{CH}H_{OT}X)$ , 在所有的  $Z_k$  中搜索最小值, 将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出

[0070] 其中,  $1 \leq i \leq 2N$ ,  $N$  为大于 1 的整数,  $H_{CH}$  是各天线所对应的信道参数矩阵,  $H_{OT}$  是发射端的线性变换矩阵, 上标“ $H$ ”代表对矩阵进行共轭转置操作。

[0071] 通过比较可以发现, 本发明的技术方案与现有技术的主要区别在于, 将待发送的  $2N$  个信号进行线性变换, 将  $2N$  个变换结果以 2 个为 1 组重组为  $N$  个结果组, 对  $N$  个结果组以码率为 1 的双天线时空码 (如“Alamouti”时空码) 进行编码, 将  $N$  组经编码的信号分别通过  $N$  对天线轮流发送。因为每一个时间段只有一对天线发送经“Alamouti”时空码编码的信号, 所以可以保持“Alamouti”时空码全分集的码率为 1、码字正交的特性。因为对待发的  $2N$  个信号进行了线性变换, 并重组为  $N$  组进行“Alamouti”时空码编码, 最终送入一对天线发射, 所以每一个信号都是经由  $2N$  个天线发送的, 具有  $2N$  个天线的全分集效果, 传输性能较好。

[0072] 线性变换也可以分成 2 个变换组进行,  $N$  个结果组中每一组的两个信号分别来自一个变换组。

[0073] 如果所述线性变换使用正交变换, 就可以使变换后的  $2N$  个信号具有正交性, 便于在接收端在作逆变换时抑制噪声, 从而进一步提升传输性能。

[0074] 通过串转并使本发明适用于串行信号流的发送。

## 附图说明

- [0075] 图 1 是现有技术中 MIMO 系统的 STC 技术的一般结构图；
- [0076] 图 2 是现有技术中 MIMO 系统的“Alamouti”时空码方案原理图；
- [0077] 图 3 是现有技术中根据图 2 所示的 MIMO 系统的“Alamouti”时空码示意图；
- [0078] 图 4 是根据本发明第一实施方式的 MIMO 系统信号发送方法流程图；
- [0079] 图 5 是根据本发明第一实施方式的 4 天线系统的发送方案原理图；
- [0080] 图 6 是根据图 5 所示的本发明第一实施方式的 4 天线系统的 STC 示意图；
- [0081] 图 7 是根据本发明第二实施方式的 MIMO 系统信号发送方法流程图；
- [0082] 图 8 是根据本发明第二实施方式的 8 天线系统的 STC 方案原理图；
- [0083] 图 9 是根据图 8 所示的本发明第二实施方式的 8 天线系统的 STC 示意图；
- [0084] 图 10 是根据本发明第三实施方式的 MIMO 系统信号接收方法流程图；
- [0085] 图 11 是根据本发明第三实施方式的 4 天线系统的信号接收方案原理图；
- [0086] 图 12 是根据本发明第四实施方式的 MIMO 系统信号发送装置结构图；
- [0087] 图 13 是根据本发明第五实施方式的 MIMO 系统信号接收装置结构图；
- [0088] 图 14 是根据本发明第六实施方式的 MIMO 系统信号发送方法流程图；
- [0089] 图 15 是根据本发明第六实施方式的 4 天线系统的发送方案原理图；
- [0090] 图 16 是根据本发明第七实施方式的 MIMO 系统信号接收方法流程图；
- [0091] 图 17 是根据本发明第九实施方式的 MIMO 接收机结构图；
- [0092] 图 18 是根据本发明第十三实施方式的 MIMO 接收机结构图。

### 具体实施方式

[0093] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本发明作进一步地详细描述。

[0094] 本发明提出了一种用于四个或四个以上发射天线的码率为 1 并且达到全分集的时空编码方案，首先将需要发送的信号分成两组，每组分别进行线性变换，将变换后的信号每 2 个组成一组，通过“Alamouti”时空码编码后由一对天线输出。其中，每组经过“Alamouti”时空码编码的两个信号分别来自线性变换的两组。在接收端采用与发射端对应的解码和逆变换，得到所传输的信号。

[0095] 本发明第一实施方式的 MIMO 系统信号发送方法如图 4 所示，预先设置  $2N$  个发射天线，将  $2N$  个天线以 2 个为 1 组分成  $N$  组，其中  $N$  为大于 1 的整数。当  $N = 2$  时，4 个发射天线天线 1 和天线 2 为一组、天线 3 和天线 4 为一组，该 MIMO 系统的 STC 方案如图 5 所示。

[0096] 在步骤 401 中，MIMO 系统的发射端将待发送的串行信号流中的 4 个 ( $2N$  个) 串行信号，例如，信号  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$ ，经过串并转换后，得到相应的 4 个信号并行的并行信号，后续信号每 4 个进行同样地转换，得到并行信号流。通过串转并使本发明适用于串行信号流的发送。

[0097] 在步骤 402 中，将每个并行信号流中的 4 个并行信号均分为 2 个变换组，例如， $X_1$  和  $X_2$  为第一组， $X_3$ 、 $X_4$  为第二组。

[0098] 在步骤 403 中，将两组信号分别进行线性变换，每个变换组生成 2 个变换结果。其中，第一组的信号  $X_1$  和  $X_2$  的变换结果为  $S_1$  和  $S_3$ ；第二组的信号  $X_3$  和  $X_4$  得到的变换结果为

$S_2$  和  $S_4$ 。

[0099] 其中,所进行的线性变换如果是正交变换,例如快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform,简称“FFT”)、哈达码变换(Hadamard Transform)、余玄变换等,就可以使发出的信号码字正交,从而进一步提升传输性能,还使得在接收端进行反变换获得信号  $X_1$ 、 $X_2$ 、...  $X_8$  时有良好的性能。

[0100] 以哈达码变换为例,变换结果为:

$$[0101] \quad S_1 = (X_1+X_2)/\sqrt{2}, S_3 = (X_1-X_2)/\sqrt{2}, S_2 = (X_3+X_4)/\sqrt{2}, S_4 = (X_3-X_4)/\sqrt{2}.$$

[0102] 在步骤 404 中,将两组信号所得到的 4 个变换结果以 2 个 1 组重组为 2 个结果组,  $S_1$  和  $S_2$  组成第一结果组,  $S_3$  和  $S_4$  组成第二结果组。重组时的原则是每个结果组内的 2 个变换结果要求来自不同的变换组。

[0103] 在步骤 405 中,对这两个结果组分别以码率为 1 的双天线时空码进行编码,例如,“Alamouti”时空码。

[0104] 在步骤 406 中,两组发射天线分别将这两组经过码率为 1 的双天线时空码 编码后的信号轮流进行发送,其中,每组天线连续发射 2 个码元符号,这 4 个发射天线所输出的 STC 如图 6 所示。由于第一组编码后的信号和第二组编码后的信号在不同天线组和不同时间上发送,因此彼此互不干扰。每一个时间段只有一对天线发送经“Alamouti”时空码编码的信号,所以可以保持“Alamouti”时空码全分集的码率为 1 并且码字正交的特性。

[0105] 因为对待发的 4 个信号进行了线性变换,并重组为 N 组进行“Alamouti”时空码编码,最终送入一对天线发射,例如,  $S_1$  和  $S_2$  由一对天线发送,  $S_3$  和  $S_4$  由另一对天线发送,而  $S_1 = (X_1+X_2)/\sqrt{2}$ ,  $S_2 = (X_3+X_4)/\sqrt{2}$ ;  $S_3 = (X_1-X_2)/\sqrt{2}$ ,  $S_4 = (X_3-X_4)/\sqrt{2}$ , 所以  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$  中的每一个信号都是经由 2N 个天线的每一个天线发送的,具有 2N 个天线的全分集效果,传输性能较好。

[0106] 本发明第二实施方式的 MIMO 系统信号发送方法如图 7 所示,当  $N = 4$  时,8 个 (2N 个) 发射天线天线 1 和天线 2 为一组、天线 3 和天线 4 为一组、天线 5 和天线 6 为一组、天线 7 和天线 8 为一组,该 MIMO 系统的 STC 方案如图 8 所示。

[0107] 在步骤 701 中,MIMO 系统的发射端将待发送的串行信号流中的 8 个 (2N 个) 串行信号,例如,信号  $X_1$ 、 $X_2$ 、...  $X_8$ , 经过串并转换后,得到相应的 8 个信号并行的并行信号,后续信号每 8 个进行同样地转换,得到并行信号流。通过串转并使本发明适用于串行信号流的发送。

[0108] 在步骤 702 中,将每个并行信号流中的 8 个并行信号均分为 2 个变换组,例如,  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$  为第一组,  $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  和  $X_8$  为第二组。

[0109] 在步骤 703 中,将两组信号分别进行线性变换,每个变换组生成 4 个变换结果。其中,第一组的信号  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$  和  $X_4$  的变换结果为  $S_1$ 、 $S_3$ 、 $S_5$  和  $S_7$ ; 第二组的信号  $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$  和  $X_8$  得到的变换结果为  $S_2$ 、 $S_4$ 、 $S_6$  和  $S_8$ 。

[0110] 其中,所进行的线性变换为正交变换,例如 FFT、哈达码变换等。

[0111] 在步骤 704 中,将两组信号所得到的 8 个变换结果以 2 个 1 组重组为 4 个结果组,  $S_1$  和  $S_2$  组成第一结果组,  $S_3$  和  $S_4$  组成第二结果组,  $S_5$  和  $S_6$  组成第三结果组,  $S_7$  和  $S_8$  组成第四结果组。重组时的原则是每个结果组内的 2 个变换结果要求来自不同的变换组。

[0112] 在步骤 705 中,对这 4 个结果组分别以码率为 1 的双天线时空码进行编码,例如,

“Alamouti”时空码。

[0113] 在步骤 706 中, 4 组发射天线分别将这 4 组经过码率为 1 的双天线时空码编码后的信号轮流进行发送, 其中, 每组天线连续发射 2 个码元符号, 这 8 个发射天线所输出的 STC 如图 9 所示。同样, 不同组的编码后的信号在不同的天线组和不同时间里发送, 因此相互之间不干扰。

[0114] 本发明第三实施方式的 MIMO 系统信号接收方法如图 10 所示。

[0115] 在步骤 1001 中, MIMO 系统的接收端每次收到信号时, 以发射端所采用的码率为 1 的双天线时空码进行对应地解码, 例如为“Alamouti”时空码。每次解码得到 2 个信号。例如, 收到来自发射天线 1 和发射天线 2 的信号 (包括连续的两个码元) 时, 解码得到  $S_1$  和  $S_2$ ; 收到来自发射天线 3 和发射天线 4 的信号 (包括连续的两个码元) 时, 解码得到  $S_3$  和  $S_4$ 。

[0116] 在步骤 1002 中, 将连续  $N$  次解码所得的  $2N$  个信号均分成 2 个组, 每组中的  $N$  个信号分别来自  $N$  次不同的解码结果。例如, 如图 11 所示, 当  $N = 2$  时, 对于 4 天线系统发射的信号, 将连接 2 次解码得到 4 个信号均分成 2 个组, 第一组为  $S_1$  和  $S_3$ 、第二组为  $S_2$  和  $S_4$ 。其中,  $N$  为大于 1 的整数。

[0117] 在步骤 1003 中, 对每组中的  $N$  个信号分别进行与发射端的线性变换相应的逆变换, 每组各获得  $N$  个变换结果。其中, 线性变换如果为正交变换, 例如为 FFT、哈达变换或余弦变换, 则对这些信号进行正交变换的逆变换得到  $N$  个变换结果。同样如图 11 所示, 当  $N = 2$  时, 每组信号中的 2 个信号得到 2 个变换结果, 第一组的  $S_1$  和  $S_3$  得到信号  $X_1$  和  $X_2$ 、第二组的  $S_2$  和  $S_4$  得到信号  $X_3$  和  $X_4$ 。

[0118] 在步骤 1004 这, 将 2 组变换结果合并成  $2N$  个信号并行的并行信号流输出。

[0119] 在步骤 1005 中, 将每个并行信号流转换为串行信号流输出。

[0120] 上述实施方式以  $N = 2$  为例对 MIMO 系统信号接收方法进行说明, 本领域普通技术人员容易理解, 当  $N$  取其它大于 1 的整数值时, MIMO 系统的信号接收方式与此类似, 此处不再赘述。

[0121] 本发明第四实施方式的 MIMO 系统信号发送装置结构如图 12 所示, 包含以 2 个为一组的  $N$  组天线、与  $N$  组天线一一对应的  $N$  个编码模块、串转并模块和 2 个线性变换模块, 其中  $N$  为大于 1 的整数。

[0122] 具体地说, 串转并模块用于将待发送的串行信号流转换为  $2N$  个并行信号流, 均分成 2 组分别输出到 2 个线性变换模块, 每个线性变换模块将这 2 组信号线性变换成  $N$  个变换结果, 分别输出到  $N$  个编码模块, 然后, 这些变换结果通过每个编码模块以码率为 1 的双天线时空码进行编码, 并输出到对应的 1 组天线; 这  $N$  组天线轮流发送来自对应编码模块的信号。

[0123] 其中, 如果该发送装置中的线性变换采用正交变换, 则最终输出的码字正交, 使得相应的反变换容易, 从而接收装置结构能够比较简单; 码率为 1 的双天线时空码是“Alamouti”时空码。因为对待发的  $2N$  个信号进行了线性变换, 并重组为  $N$  组进行“Alamouti”时空码编码, 最终送入一对天线发射, 所以每一个信号都是经由  $2N$  个天线发送的, 具有  $2N$  个天线的全分集效果, 传输性能较好。

[0124] 本发明第五实施方式的 MIMO 系统信号接收装置结构如图 13 所示, 包含天线、解码

模块、2 个线性变换模块和并转串模块。

[0125] 具体地说,解码模块用于对天线收到的信号以“Alamouti”时空码进行解码,得到 2 个信号,分别输出到一个线性变换模块中。解码模块对天线收取的信号进行解码,N 次解码结果收齐后通过 2 个线性变换模块进行一次逆变换;而每个线性变换模块则对 N 个输入信号进行与发射端的线性变换相应的逆变换,获得 N 个信号输出。最后,2 个线性变换模块输出的 2N 个并行信号通过并转串模块,转换为一路串行信号输出。其中,线性变换为正交变换。

[0126] 第四和第五实施方式中分别使用了两个线性变换模块,这两个线性变换模块的基本作用是使每一个输入信号可以分配到每一个天线上传输。可以理解,如果只用一个线性变换模块也可以达到同样的效果。

[0127] 本发明第六实施方式的 4 天线 MIMO 系统信号发送方法如图 14 和图 15 所示。第六实施方式与第一实施方式相似,区别在于第一实施方式采用了两个变换组进行正交变换,而第六实施方式只用一个变换组进行正交变换。图 14 中,步骤 1401 与第一实施方式的步骤 401 相似,步骤 1403 与步骤 405 相似,步骤 1404 与步骤 406 相似,这里不再赘述。

[0128] 在步骤 1402 中,对串并转换后生成的 4 个并行信号进行正交变换,生成 4 个信号,以 2 个信号为一组分成两组,以便在步骤 1403 中进行“Alamouti”时空码编码。

[0129] 本发明第七实施方式的 4 天线 MIMO 系统信号接收方法如图 16 所示。第七实施方式对应接收第六实施方式所发送的信号。

[0130] 在步骤 1601 中,接收端将收到的信号(包括 2 个连续的码元)以“Alamouti”时空码编码进行解码,得到 2 个信号。连续 2 次解码可以得到 4 个信号。

[0131] 此后进入步骤 1602,将连续 2 次解码得到的 4 个信号进行正交变换,该正交变换的方式与第七实施方式中正交变换的方式相同,目的是从解码得到的 4 个信号中恢复出 4 个原始信号。使用正交的变换方式可以抑制噪声,提高信号质量。

[0132] 此后进入步骤 1603,将正交变换所得到的 4 个并行信号转换成串行信号输出。

[0133] 本发明的第八实施方式为四个发射天线和一个接收天线的接收方法,用于接收第一实施方式所发射的信号。假定四个发送天线与一个接收天线所对应的信道为  $(h_1, h_2, h_3, h_4)$ ,那么四个码元符号内的接收信号可表示为:

$$[0134] \quad \begin{cases} r_1 = h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \\ r_2 = h_1 s_2 - h_2 s_1 + n_2 \\ r_3 = h_3 s_3 + h_4 s_4 + n_3 \\ r_4 = h_3 s_4 - h_4 s_3 + n_4 \end{cases} \quad (1)$$

[0135] 这里,  $n_1, n_2, n_3, n_4$  分别为四个码元符号内的噪声采样值,假定都是高斯分布,具有零均值和相同方差  $\sigma_n^2$ 。上式可进一步表示为:

$$[0136] \quad \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0137] 假定线性变换(典型的是正交变换)为:

$$[0138] \quad \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0139] 我们有：

$$[0140] \quad R = H_{CH} H_{OT}^H X + N \quad (4)$$

$$[0141] \quad \text{这里, } R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}, N = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \end{bmatrix}, H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix},$$

$$[0142] \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} \end{bmatrix}$$

[0143] 基于最小均方差估计 (Minimum mean-square error, 简称“MMSE”) 准则的接收机, 对信号的检测为：

$$[0144] \quad \hat{X} = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H R \quad (5)$$

[0145] 这里,  $\hat{X}$  代表对  $X$  的估计值,  $I_n$  是对角单位矩阵, 上标“-1”代表对矩阵求逆,  $H_{OT}^H$  代表  $H_{OT}$  的共轭转置,  $H_{CH}^H$  代表  $H_{CH}$  的共轭转置。

[0146] 本发明的第九实施方式是一个针对 4 发射天线的单接收天线 MIMO 接收机。其结构如图 17 所示。将从接收天线收到的码元符号中的信号序列  $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots$  输入到串转并模块, 按 4 个一组由串行转为并行。

[0147] 将串转并模块输出的并行信号输入到共扼处理模块, 对并行信号中序号为偶数的

$r_2, r_4$  取共扼, 维持序号为奇数的  $r_1, r_3$  不变, 将处理结果作为矢量  $R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \end{bmatrix}$  输出到矩阵相乘

模块。

[0148] 在矩阵计算模块中计算矩阵  $C = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H$ , 并将矩阵  $C$  也输出到矩阵相乘模块。

[0149] 矩阵计算模块将矩阵  $C$  乘以矢量  $R$  后得到检测结果。

[0150] 当然, 矩阵计算模块输出的是 4 个一组的并行信号, 如果需要串行的结果, 可以在矩阵计算模块之后再增加一个并转串模块。

[0151] 本发明的第十实施方式是八个发射天线和一个接收天线的接收方法, 用于对应接收第二实施方式发射的信号。假定八个发送天线与一个接收天线所对应的信道为  $(h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8)$ , 那么八个码元符号内的接收信号可表示为：

$$[0152] \begin{cases} r_1 = h_1 s_1 + h_2 s_2 + n_1 \\ r_2 = h_1 s_2^* - h_2 s_1^* + n_2 \\ r_3 = h_3 s_3 + h_4 s_4 + n_3 \\ r_4 = h_3 s_4^* - h_4 s_3^* + n_4 \\ r_5 = h_5 s_5 + h_6 s_6 + n_5 \\ r_6 = h_5 s_6^* - h_6 s_5^* + n_6 \\ r_7 = h_7 s_7 + h_8 s_8 + n_7 \\ r_8 = h_7 s_8^* - h_8 s_7^* + n_8 \end{cases} \quad (6)$$

[0153] 这里,  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, n_7, n_8$  分别为八个码元符号内的噪声采样值, 假定都是高斯分布、零均值和相同方差  $\sigma_n^2$ 。上式可进一步表示为:

$$[0154] \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \\ r_5 \\ r_6^* \\ r_7 \\ r_8^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \\ s_7 \\ s_8 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \\ n_5 \\ n_6^* \\ n_7 \\ n_8^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0155] 假定线性变换 (典型的是正交变换) 为:

$$[0156] \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \\ s_7 \\ s_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} & w_{16} & w_{17} & w_{18} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} & w_{26} & w_{27} & w_{28} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} & w_{36} & w_{37} & w_{38} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} & w_{46} & w_{47} & w_{48} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} & w_{56} & w_{57} & w_{58} \\ w_{61} & w_{62} & w_{63} & w_{64} & w_{65} & w_{66} & w_{67} & w_{68} \\ w_{71} & w_{72} & w_{73} & w_{74} & w_{75} & w_{76} & w_{77} & w_{78} \\ w_{81} & w_{82} & w_{83} & w_{84} & w_{85} & w_{86} & w_{87} & w_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0157] 我们有:

$$[0158] R = H_{\text{ch}} H_{\text{OT}} X + N \quad (9)$$

$$[0159] \text{ 这 里 , } \quad R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \\ r_5 \\ r_6^* \\ r_7 \\ r_8^* \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix}, \quad N = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \\ n_3 \\ n_4^* \\ n_5 \\ n_6^* \\ n_7 \\ n_8^* \end{bmatrix},$$

$$H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix},$$

$$[0160] \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} & w_{16} & w_{17} & w_{18} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} & w_{26} & w_{27} & w_{28} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} & w_{36} & w_{37} & w_{38} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} & w_{46} & w_{47} & w_{48} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} & w_{56} & w_{57} & w_{58} \\ w_{61} & w_{62} & w_{63} & w_{64} & w_{65} & w_{66} & w_{67} & w_{68} \\ w_{71} & w_{72} & w_{73} & w_{74} & w_{75} & w_{76} & w_{77} & w_{78} \\ w_{81} & w_{82} & w_{83} & w_{84} & w_{85} & w_{86} & w_{87} & w_{88} \end{bmatrix}$$

[0161] 基于 MMSE 准则的接收机,对信号的检测为:

$$[0162] \quad \hat{X} = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H R \quad (10)$$

[0163] 本发明的第十一实施方式是一个针对 8 发射天线的单接收天线 MIMO 接收机。其结构与图 17 相似,区别仅在于各模块之间的并行信号是 8 路而不是 4 路。将从接收天线收到的码元符号中的信号序列  $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots$  输入到串转并模块,按 8 个一组由串行转为并行。

[0164] 将串转并模块输出的并行信号输入到共扼处理模块,对并行信号中序号为偶数的

$r_2, r_4, r_6, r_8$  取共扼,维持序号为奇数的  $r_1, r_3, r_5, r_7$  不变,将处理结果作为矢量  $R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \\ r_5 \\ r_6^* \\ r_7 \\ r_8^* \end{bmatrix}$  输

出到矩阵相乘模块。

[0165] 在矩阵计算模块中计算矩阵  $C = (H_{OT}^H H_{CH}^H H_{CH} H_{OT} + \sigma_n^2 I_n)^{-1} H_{OT}^H H_{CH}^H$ ,并将矩阵 C 也输出到矩阵相乘模块。

[0166] 矩阵计算模块将矩阵 C 乘以矢量 R 后得到检测结果。

[0167] 当然,矩阵计算模块输出的是 4 个一组的并行信号,如果需要串行的结果,可以在矩阵计算模块之后再增加一个并转串模块。

[0168] 本发明的第十二实施方式是四个发射天线和一个接收天线的接收方法,用于接收

第一实施方式所发射的信号。采用了 ML 算法,具体地说,对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R-H_{CH}H_{OT}X)^H(R-H_{CH}H_{OT}X)$ ;其中,

$$[0169] \quad H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}, \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} \end{bmatrix}.$$

[0170] 在所有的  $Z_k$  中搜索最小值,将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出。

[0171] 对于四个发射天线的情况, $X$  是四个信号为一组的,每个信号可能取 0 或 1,组合起来可能的检测结果  $X_k$  就有  $2^4 = 16$  种,对每一种  $X_k$  都要计算对应的  $Z_k$ ,共有 16 个  $Z_k$ ,再从中找出最小值,将其对应的  $X$  作为检测结果。

[0172] 本发明的第十三实施方式是对应于四个发射天线的单接收天线 MIMO 接收机,其结构如图 18 所示。

[0173] 将从接收天线收到的码元符号中的信号序列  $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots$  输入到串转并模块,按 4 个一组由串行转为并行。

[0174] 将串转并模块输出的并行信号输入到共扼处理模块,对并行信号中序号为偶数的

$r_2, r_4$  取共扼,维持序号为奇数的  $r_1, r_3$  不变,将处理结果作为矢量  $R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \end{bmatrix}$  输出到 ML 算法

模块。

[0175] 在 ML 算法模块中,对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R-H_{CH}H_{OT}X)^H(R-H_{CH}H_{OT}X)$ ;在所有的  $Z_k$  中搜索最小值,将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出。其中,

$$[0176] \quad H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}, \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} \end{bmatrix}.$$

[0177] 本发明的第十四实施方式是八个发射天线和一个接收天线的接收方法,用于接收第二实施方式所发射的信号。采用了 ML 算法,具体地说,对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R-H_{CH}H_{OT}X)^H(R-H_{CH}H_{OT}X)$ ;其中,

[0178]

$$H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix},$$

$$[0179] \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} & w_{16} & w_{17} & w_{18} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} & w_{26} & w_{27} & w_{28} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} & w_{36} & w_{37} & w_{38} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} & w_{46} & w_{47} & w_{48} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} & w_{56} & w_{57} & w_{58} \\ w_{61} & w_{62} & w_{63} & w_{64} & w_{65} & w_{66} & w_{67} & w_{68} \\ w_{71} & w_{72} & w_{73} & w_{74} & w_{75} & w_{76} & w_{77} & w_{78} \\ w_{81} & w_{82} & w_{83} & w_{84} & w_{85} & w_{86} & w_{87} & w_{88} \end{bmatrix}。$$

[0180] 在所有的  $Z_k$  中搜索最小值,将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出。

[0181] 对于八个发射天线的情况, $X$  是八个信号为一组的,每个信号可能取 0 或 1,组合起来可能的检测结果  $X_k$  就有  $2^8 = 256$  种,对每一种  $X_k$  都要计算对应的  $Z_k$ ,共有 256 个  $Z_k$ ,再从中找出最小值,将其对应的  $X$  作为检测结果。

[0182] 本发明的第十五实施方式是对应于八个发射天线的单接收天线 MIMO 接收机,其结构类似于图 18,区别仅在于图 18 中各模块之间的并行信号是 4 路的,而本实施方式中并行信号是 8 路的。

[0183] 将从接收天线收到的码元符号中的信号序列  $r_1, r_2, r_3, r_4, \dots$  输入到串转并模块,按 8 个一组由串行转为并行。

[0184] 将串转并模块输出的并行信号输入到共扼处理模块,对并行信号中序号为偶数的

$$r_2, r_4, r_6, r_8 \text{ 取共扼,维持序号为奇数的 } r_1, r_3, r_5, r_7 \text{ 不变,将处理结果作为矢量 } R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \\ r_3 \\ r_4^* \\ r_5 \\ r_6^* \\ r_7 \\ r_8^* \end{bmatrix} \text{ 输}$$

出到 ML 算法模块。

[0185] 在 ML 算法模块中,对于每个可能的检测结果  $X_k$  计算其所对应的  $Z_k = (R - H_{CH} H_{OT} X)^H (R - H_{CH} H_{OT} X)$ ;在所有的  $Z_k$  中搜索最小值,将该最小值所对应的  $X$  作为检测结果输出。其中,

$$[0186] \quad H_{CH} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -h_2^* & h_1^* & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 & h_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -h_4^* & h_3^* & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_5 & h_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -h_6^* & h_5^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_7 & h_8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -h_8^* & h_7^* \end{bmatrix}$$

$$[0187] \quad H_{OT} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} & w_{14} & w_{15} & w_{16} & w_{17} & w_{18} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} & w_{24} & w_{25} & w_{26} & w_{27} & w_{28} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} & w_{34} & w_{35} & w_{36} & w_{37} & w_{38} \\ w_{41} & w_{42} & w_{43} & w_{44} & w_{45} & w_{46} & w_{47} & w_{48} \\ w_{51} & w_{52} & w_{53} & w_{54} & w_{55} & w_{56} & w_{57} & w_{58} \\ w_{61} & w_{62} & w_{63} & w_{64} & w_{65} & w_{66} & w_{67} & w_{68} \\ w_{71} & w_{72} & w_{73} & w_{74} & w_{75} & w_{76} & w_{77} & w_{78} \\ w_{81} & w_{82} & w_{83} & w_{84} & w_{85} & w_{86} & w_{87} & w_{88} \end{bmatrix}$$

[0188] 虽然通过参照本发明的某些优选实施方式,已经对本发明进行了图示和描述,但本领域的普通技术人员应该明白,可以在形式上和细节上对其作各种改变,而不偏离本发明的精神和范围。

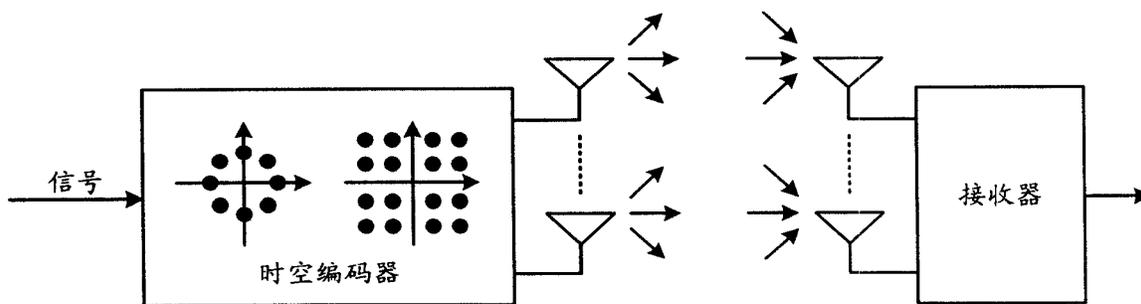


图 1

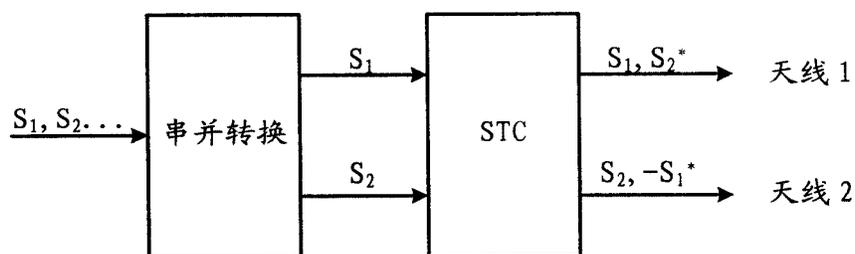


图 2

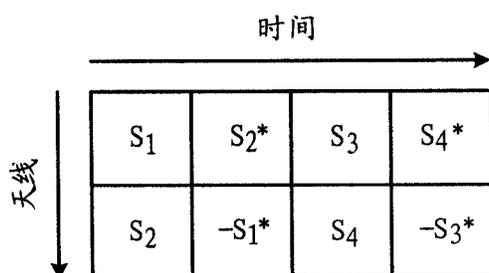


图 3

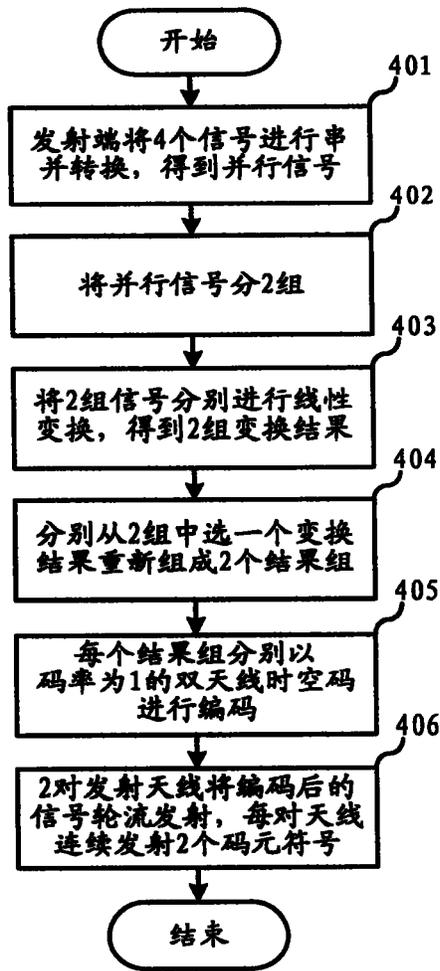


图 4

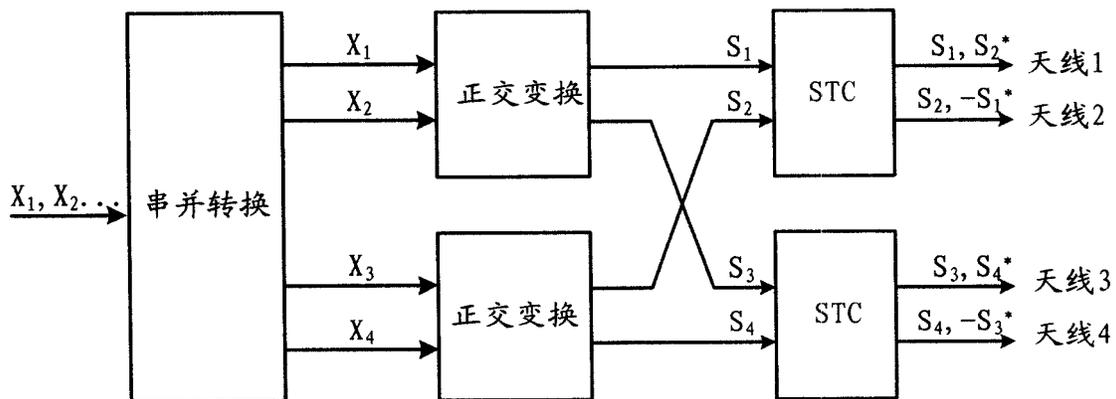


图 5

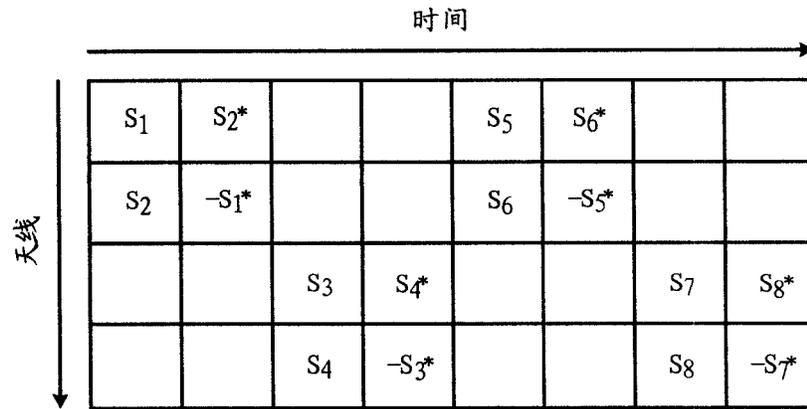


图 6

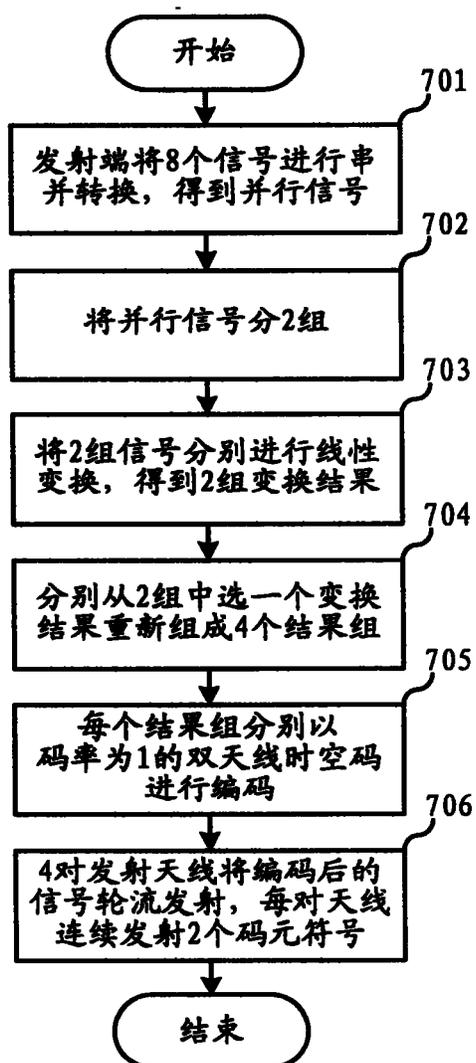


图 7

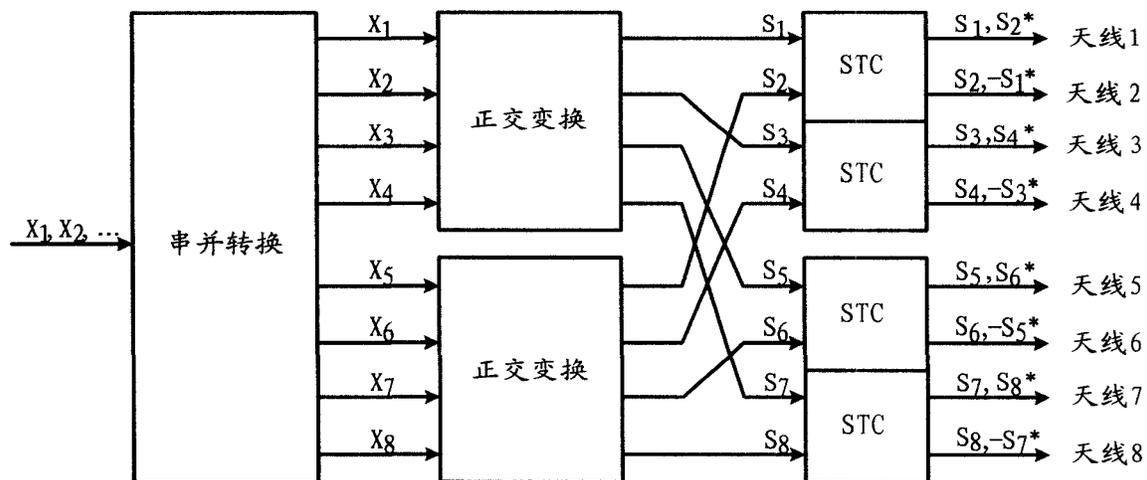


图 8

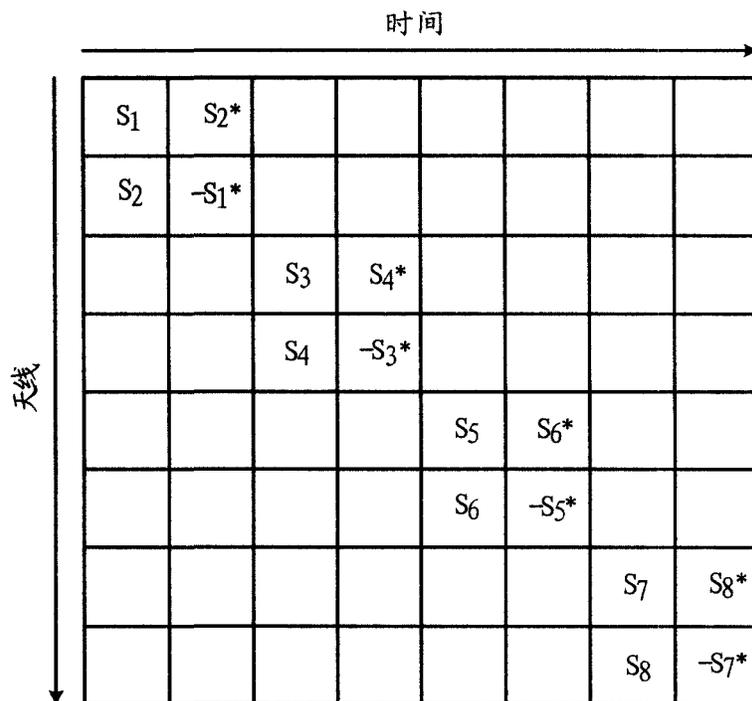


图 9

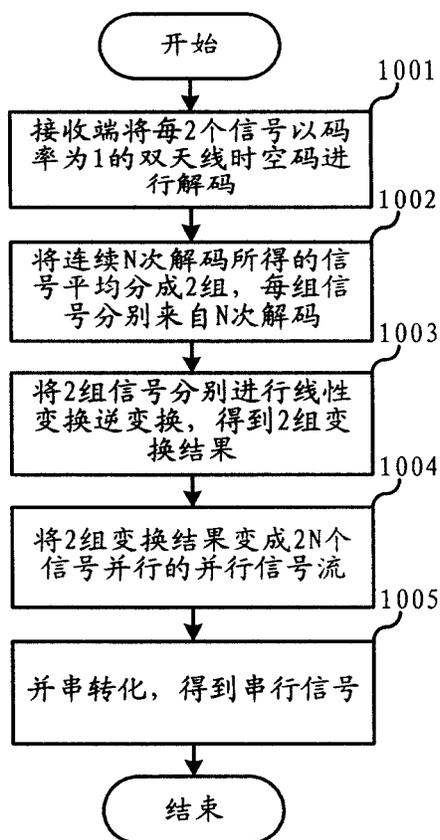


图 10

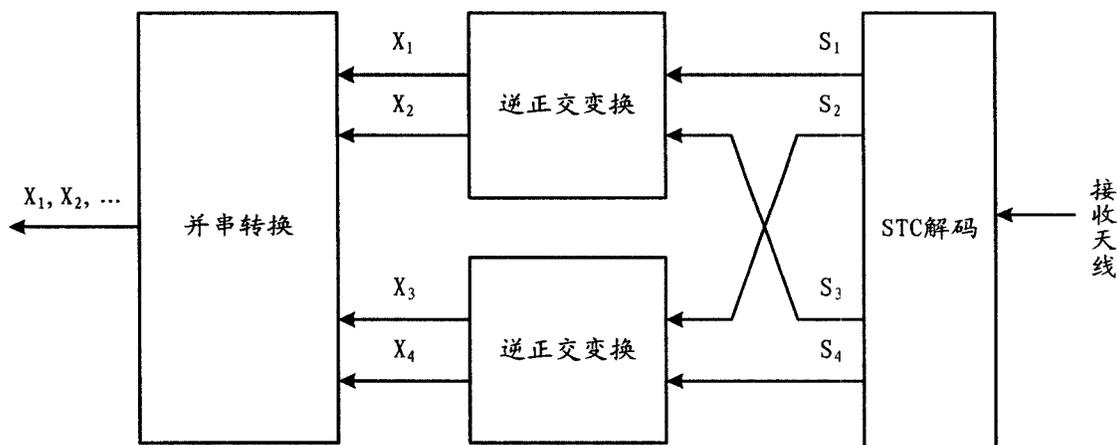


图 11

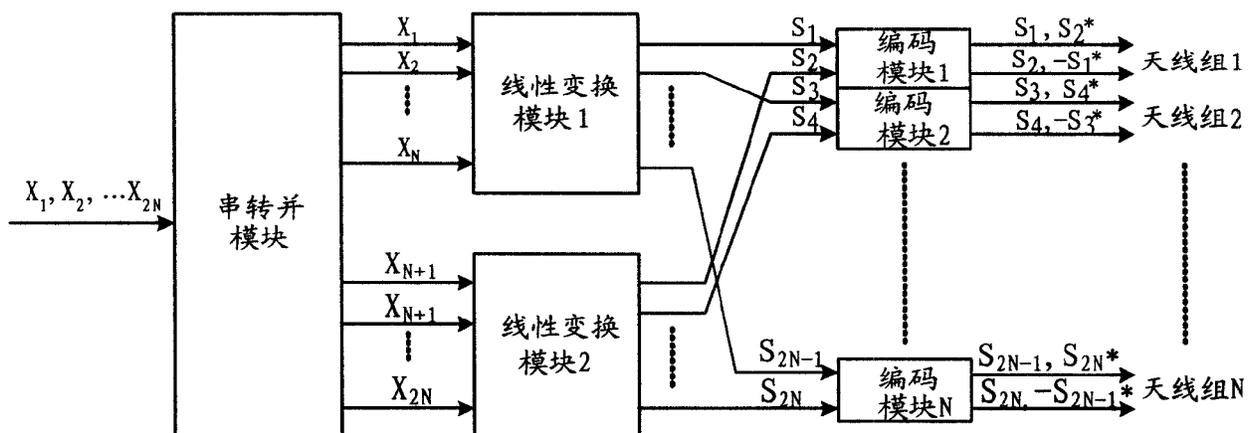


图 12

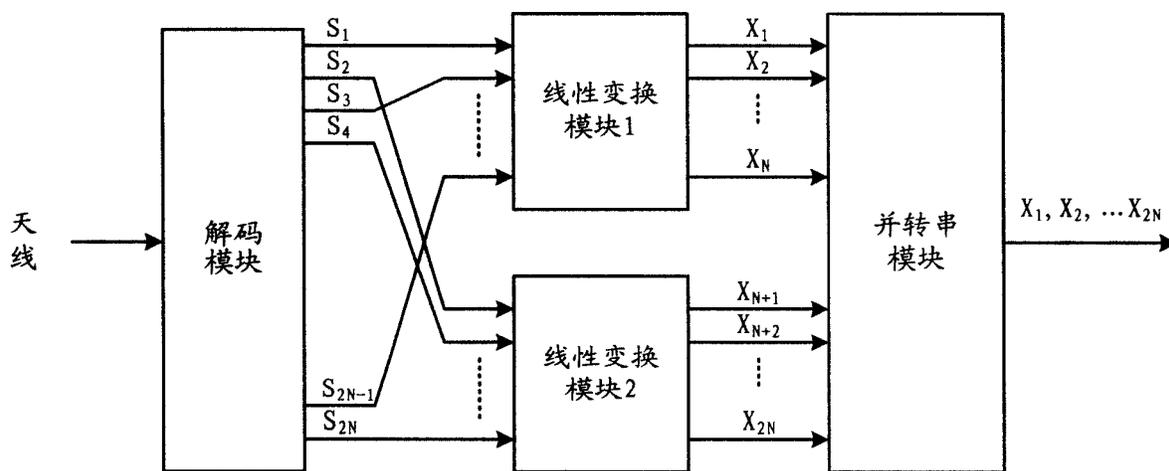


图 13

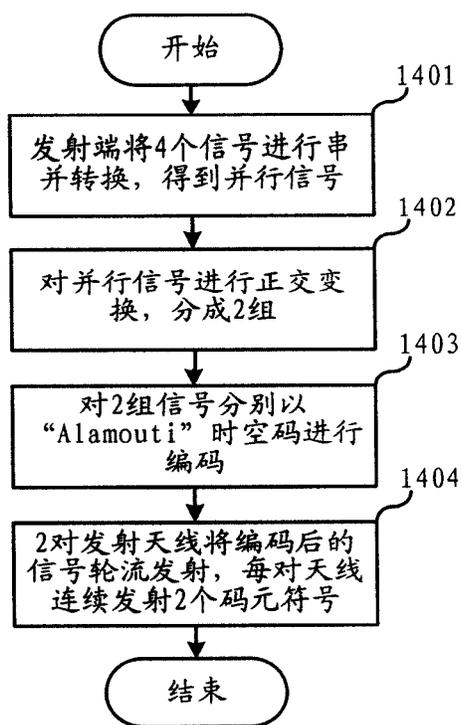


图 14

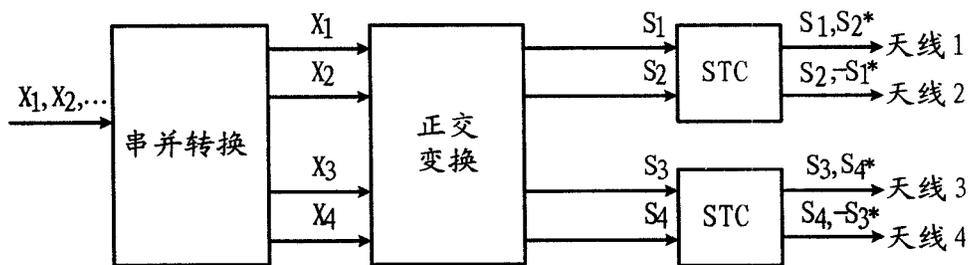


图 15

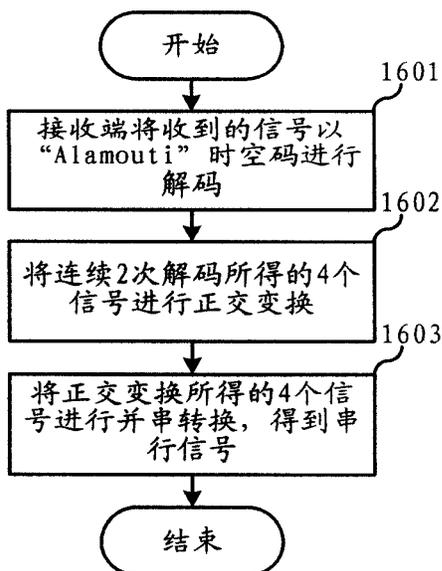


图 16

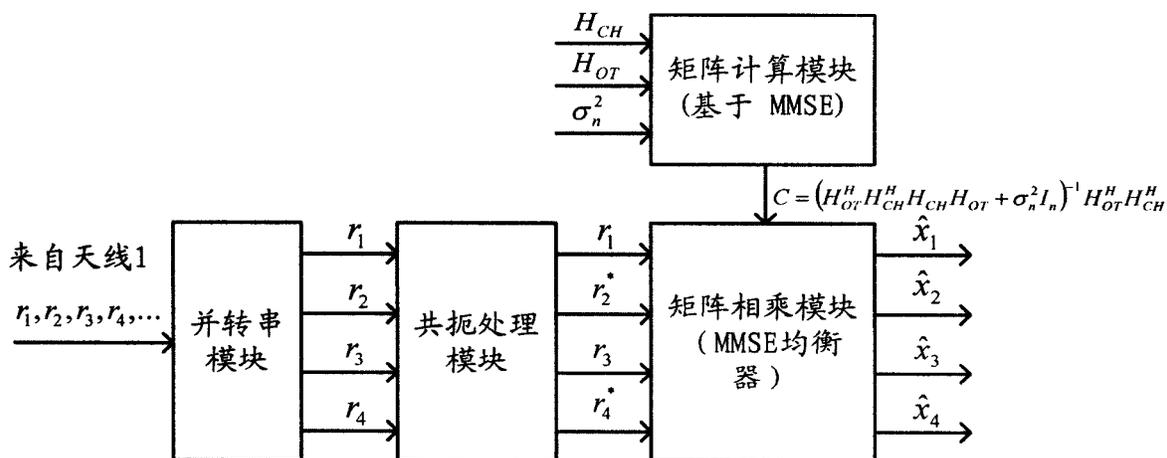


图 17

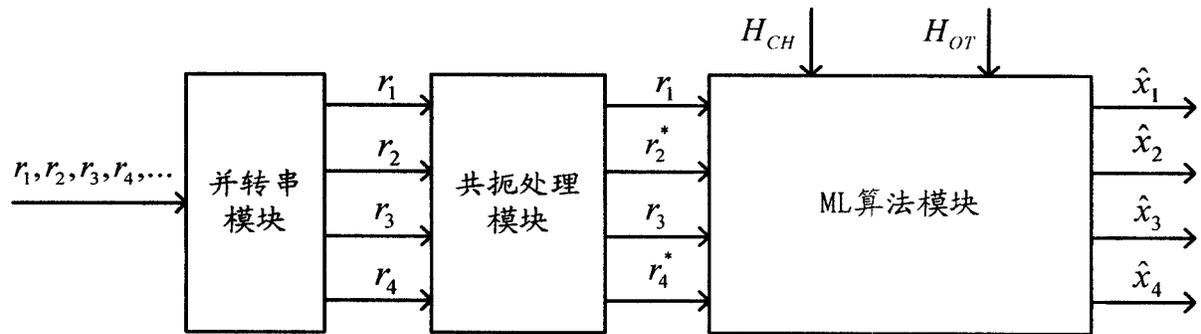


图 18