

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610093047.2

H04B 7/04 (2006.01)  
H04L 25/03 (2006.01)  
H04L 27/26 (2006.01)  
H04L 1/06 (2006.01)

[43] 公开日 2007 年 12 月 26 日

[11] 公开号 CN 101094022A

[22] 申请日 2006.6.19

[21] 申请号 200610093047.2

[71] 申请人 联想(北京)有限公司

地址 100085 北京市海淀区上地信息产业基地创业路6号

[72] 发明人 张孝林 刘云辉

[74] 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司  
代理人 唐超尘

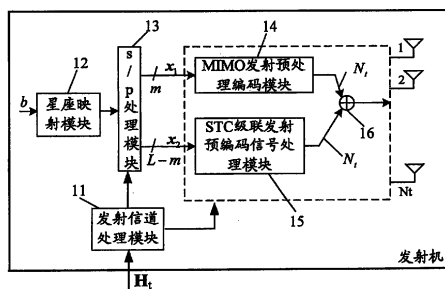
权利要求书5页 说明书7页 附图2页

## [54] 发明名称

发射机、通信系统以及通信方法

## [57] 摘要

本发明提供一种发射机、通信系统以及通信方法。依照本发明的发射机包括：发射信道处理模块，用于获得各个子信道的增益；第一发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在高增益的子信道上对发射信号执行第一发射预处理；第二发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在低增益的子信道上对发射信号执行第二发射预处理；和发射天线，用于将第一发射预处理模块和第二发射预处理模块处理求和后的发射信号发射。



1. 一种发射机，其包括：  
发射信道处理模块，用于获得各个子信道的增益；  
第一发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；  
第二发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和  
发射天线，用于将第一发射预处理模块和第二发射预处理模块处理和后的发射数据发射。
2. 如权利要求 1 所述的发射机，其中，  
所述第一发射预处理模块为多入多出发射预处理编码模块，其在高增益的子信道上对发射数据执行多入多出发射预编码处理；  
所述第二发射预处理模块为空时编码级联发射预编码信号处理模块，其在低增益的子信道上对发射数据执行空时编码级联发射预编码信号处理。
3. 如权利要求 2 所述的发射机，其中，  
发射信道处理模块获得多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$ ，并根据多入多出信道状态信息  $\mathbf{H}_t$  获得各个子信道的增益。
4. 如权利要求 3 所述的发射机，其中，  
发射信道处理模块根据多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  获得多入多出发射预处理编码模块和空时编码级联发射预编码信号处理模块所需的参数。
5. 如权利要求 4 所述的发射机，其中，  
发射信道处理模块对多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  进行奇异值分解，即  $\mathbf{H}_t = \mathbf{U}_t \mathbf{S}_t \mathbf{V}_t^H$ ，其中： $\mathbf{U}_t$  为  $N_t \times N_t$  维矩阵， $\mathbf{V}_t$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $\mathbf{S}_t$  为  $N_t \times N_r$  维对角矩阵， $N_t$  为发射天线元数目， $N_r$  为接收天线元数目， $^H$  表示共扼转置。
6. 如权利要求 5 所述的发射机，其中，  
发射信道处理模块根据获得的  $\mathbf{S}_t$  对角线上的元素决定各个子信道的增益。
7. 如权利要求 5 所述的发射机，其中，

发射信道处理模块基于  $S_t$  根据功率分配算法获得高增益的子信道的发射功率和低增益的子信道的发射功率。

8. 如权利要求 7 所述的发射机，其中，

发射信道处理模块根据  $V_t$  和基于  $S_t$  获得的高增益的子信道的发射功率和低增益的子信道的发射功率，计算出发射波束赋形矩阵  $W_t$  和预编码矩阵  $C_t$ ，其分别为多入多出发射预处理编码模块和空时编码级联发射预编码信号处理模块所需的参数。

9. 如权利要求 8 所述的发射机，其中，

多入多出发射预处理编码模块将发射数据左乘  $W_t$ ，以执行多入多出发射预编码处理；

空时编码级联发射预编码信号处理模块将发射数据经过空时编码后左乘预编码矩阵  $C_t$ ，以执行空时编码级联发射预编码信号处理。

10. 如权利要求 1—9 任一项所述的发射机，其中，

所述发射机进一步包括串/并处理模块，该串/并处理模块根据发射信道处理模块的处理结果将发射数据分为  $m$  维的第一符号向量和  $L-m$  维的第二符号向量，并将其分别输入第一发射预处理模块和第二发射预处理模块，其中  $m$  为进行第一发射预处理的子信道数目， $L$  为子信道的总数目， $L > m \geq 1$ 。

11. 一种通信系统，其包括发射机和接收机，

该发射机包括：

发射信道处理模块，用于获得各个子信道的增益；

第一发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；

第二发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和

发射天线，用于将第一发射预处理模块和第二发射预处理模块处理和后的发射数据发射，

该接收机包括：

接收天线，用于接收来自发射机的数据；

数据复制模块，用于接收来自接收天线的的数据，并复制该接收的数据；

第一接收处理模块，用于接收数据复制模块接收的数据和复制的数据中的任一个，并对数据进行第一接收处理，以获得第一发射预处理模块处理后的数据；和

第二接收处理模块，用于接收数据复制模块接收的数据和复制的数据中的另一个，并对数据进行第二接收处理，以获得第二发射预处理模块处理后的数据。

12. 如权利要求 11 所述的通信系统，其中，

所述第一发射预处理模块为多入多出发射预处理编码模块，其在高增益的子信道上对发射数据执行多入多出发射预编码处理；

所述第二发射预处理模块为空时编码级联发射预编码信号处理模块，其在低增益的子信道上对发射数据执行空时编码级联发射预编码信号处理；

所述第一接收处理模块为接收波束赋形模块，用于对数据执行接收波束赋形处理；

所述第二接收处理模块为接收合并及空时解码模块，用于对数据执行接收信号空间维合并及空时解码处理。

13. 如权利要求 12 所述的通信系统，其进一步包括，

接收信道处理模块，其获得多入多出信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$ ，并根据多入多出信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$  获得第一接收处理模块和第二接收处理模块所需的参数。

14. 如权利要求 13 所述的通信系统，其中，

接收信道处理模块对多入多出信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$  进行奇异值分解，即  $\mathbf{H}_r = \mathbf{U}_r \mathbf{S}_r \mathbf{V}_r^H$ ，其中： $\mathbf{U}_r$  为  $N_t \times N_t$  维矩阵， $\mathbf{V}_r$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $^H$  表示共扼转置， $\mathbf{S}_r$  为  $N_t \times N_r$  维对角矩阵， $N_t$  为发射天线元数目， $N_r$  为接收天线元数目，接收信道处理模块取  $\mathbf{U}_r$  的前  $m$  列向量构成接收波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_r$ ，取  $\mathbf{U}_r$  的剩余  $L-m$  列向量构成接收线性处理矩阵  $\mathbf{C}_r$ ，其中  $m$  为进行第一发射预处理的子信道数目， $L$  为可用子信道的总数目， $L > m \geq 1$ 。

15. 如权利要求 14 所述的通信系统，其中，

接收波束赋形模块将数据与接收信道处理模块获得的接收波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_r$  相乘，

接收合并及空时解码模块将数据与接收信道处理模块获得的接收线性

处理矩阵  $C_r$  相乘，然后进行空时解码。

16. 如权利要求 11—15 任一项所述的通信系统，其中，  
所述接收机进一步包括并/串处理模块，用于转换第一接收处理模块和第二接收处理模块处理后的结果。

17. 一种通信方法，其包括：

步骤 a，确定各个子信道的增益；

步骤 b，根据步骤 a 的结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；

步骤 c，根据步骤 a 的结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和

步骤 d，将步骤 b 和步骤 c 处理后求和的发射数据发射。

18. 如权利要求 17 所述的通信方法，其中，

步骤 b 中执行的第一发射预处理为多入多出发射预编码处理；

步骤 c 中执行的第二发射预处理为空时编码级联发射预编码信号处理。

19. 如权利要求 18 所述的通信方法，其中，

在步骤 a 中，首先获得多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$ ，再根据多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  获得各个子信道的增益。

20. 如权利要求 19 所述的通信方法，其中，

在步骤 a 中，进一步包括步骤 e，根据多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  获得步骤 b 和 c 执行第一预处理和第二预处理所需的参数。

21. 如权利要求 20 所述的通信方法，其中，

在步骤 a 中，对多入多出信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  进行奇异值分解，即  $\mathbf{H}_t = \mathbf{U}_t \mathbf{S}_t \mathbf{V}_t^H$ ，其中： $\mathbf{U}_t$  为  $N_t \times N_t$  维矩阵， $\mathbf{V}_t$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $\mathbf{S}_t$  为  $N_t \times N_r$  维对角矩阵， $N_t$  为发射天线元数目， $N_r$  为接收天线元数目， $^H$  表示共扼转置，并根据获得的  $\mathbf{S}_t$  对角线上的元素决定各个子信道的增益。

22. 如权利要求 21 所述的通信方法，其中，

在步骤 a 中，基于  $\mathbf{S}_t$  根据功率分配算法获得高增益的子信道的发射功率和低增益的子信道的发射功率，并根据  $\mathbf{V}_t$  和基于  $\mathbf{S}_t$  获得的高增益的子信道的发射功率和低增益的子信道的发射功率，计算出发射波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_t$  和预

编码矩阵  $C_t$ ，其分别为步骤 b 和步骤 c 处理所需的参数。

23. 如权利要求 22 所述的通信方法，其中，

在步骤 b 中，将发射数据左乘  $W_t$ ，以执行多入多出发射预编码处理；

在步骤 c 中，将发射数据经过空时编码编码后左乘预编码矩阵  $C_t$ ，以执行空时编码级联发射预编码信号处理。

24. 如权利要求 17—23 任一项所述的通信方法，其中，

所述通信方法进一步包括步骤 f，根据步骤 a 的处理结果将发射数据分为  $m$  维的第一符号向量和  $L-m$  维的第二符号向量，其中  $m$  为进行第一发射预处理的子信道数目， $L$  为子信道的总数目， $L > m \geq 1$ ，

在步骤 b 中对第一符号向量执行第一发射预处理；在步骤 c 中对第二符号向量执行第二发射预处理。

25. 如权利要求 24 所述的通信方法，其进一步包括：

步骤 g，接收步骤 d 发射的发射数据，并将其进行复制；

步骤 h，对步骤 d 接收的发射数据或复制的数据中的任一个执行第一接收处理，以获得第一发射预处理后的数据；和

步骤 i，对步骤 d 接收的发射数据或复制的数据中的另一个执行第二接收处理，以获得第二发射预处理后的数据。

26. 如权利要求 25 所述的通信方法，其中，

步骤 h 中的第一接收处理为接收波束赋形处理；

步骤 i 中的第二接收处理为接收合并及空时解码处理。

27. 如权利要求 25 所述的通信方法，其进一步包括：

步骤 j，获得多入多出信道矩阵估计  $H_r$ ，并根据多入多出信道矩阵估计  $H_r$  获得步骤 h 和 i 所需的参数。

28. 如权利要求 27 所述的通信方法，其中，

在步骤 j 中，对多入多出信道矩阵估计  $H_r$  进行奇异值分解，即  $H_r = U_r S_r V_r^H$ ，其中： $U_r$  为  $N_t \times N_t$  维矩阵， $V_r$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $S_r$  为  $N_t \times N_r$  维对角矩阵， $H$  表示共扼转置，取  $U_r$  的前  $m$  列向量构成接收波束赋形矩阵  $W_r$ ，取  $U_r$  的剩余  $L-m$  列向量构成接收线性处理矩阵  $C_r$ 。

29. 如权利要求 28 所述的通信方法，其中，

在步骤 h 中，将数据与步骤 j 获得的接收波束赋形矩阵  $W_r$  相乘，

在步骤 i 中，将数据与步骤 j 获得的接收线性处理矩阵  $C_r$  相乘，然后进行空时解码。

## 发射机、通信系统以及通信方法

### 技术领域

本发明涉及一种发射机、通信系统以及通信方法。

### 背景技术

使用多天线或天线阵列进行发射和/或接收的技术（MIMO（多入多出））是下一代宽带无线通信系统的核心技术之一。MIMO 通信系统使用  $N_t$  个发射天线和  $N_r$  个接收天线进行并行数据传输，其形成的  $N_r \times N_t$  维 MIMO 信道可以被分解为  $L$  个独立并行空间子信道，其中  $L \leq \min(N_t, N_r)$ ，其中， $\min(N_t, N_r)$  表示在数  $N_t$  和  $N_r$  中选择最小的数。可以在这  $L$  个独立空间子信道上并行发送独立数据流以增加系统频谱效率，其中  $N_r$  和  $N_t$  分别接收和发射天线元数目。

MIMO 系统并行的独立空间子信道并不具有相同的通信条件，更具体地说，每个空间子信道的信道增益、所遭受的干扰以及衰落等都是不一样的，而且，一般来说差异较大。因此，每个空间子信道所支持的数据传输速率也会不同，但这也受到所采用的发射方法、QoS（服务质量）要求和发射功率的影响。随着通信条件的改变，不同的信号发射方法所获得的系统性能也会不同。比如，在低信噪比环境或具有直线视距（LOS）的通信条件下，波束赋形发射能取得更宽的性能优化范围，换句话说，在具有突出子信道增益的信道环境下，波束赋形发射是优化的；天线的相关性降低了空时编码（STC）系统的性能。利用发射机所能获得的信道状态信息（CSIT）进行发射信号处理能够进一步提高 MIMO 系统的性能，发射预编码或多模发射波束赋形就是这类技术之一，因为利用 CSIT，发射机就可以获得每个空间子信道的信道条件或衰落状况，从而根据这些空间子信道的知识进行发射功率分配、发射符号位分配、星座选择等，以提高 MIMO 系统性能。但是，在发射机获得 CSIT 出现较大误差的情况下，发射预编码系统将在低增益子信道上遭遇较大的性

能降低。总的来说，发射预编码技术能获得的系统增益受发射机获得的 CSIT 精度十分相关，波束赋形或单模发射技术在高增益子信道或具有直线视距的 MIMO 无线环境下，其优化范围更大；另一方面，STC 发射技术却不需要任何信道状态信息。

#### 发明内容

有鉴于此，本发明提供一种能够很好地将发射预编码技术和 STC 发射技术结合以提高系统性能的发射机、通信系统和通信方法。

依照本发明的发射机包括：发射信道处理模块，用于获得各个子信道的增益；第一发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；第二发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和发射天线，用于将第一发射预处理模块和第二发射预处理模块处理并求和后的发射数据发射。

依照本发明的通信系统包括发射机和接收机，该发射机包括：发射信道处理模块，用于获得各个子信道的增益；第一发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；第二发射预处理模块，用于根据发射信道处理模块的处理结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和发射天线，用于将第一发射预处理模块和第二发射预处理模块处理并求和后的发射数据发射，该接收机包括：接收天线，用于接收来自发射机的数据；数据复制模块，用于接收来自接收天线的的数据，并复制该接收的数据；第一接收处理模块，用于接收数据复制模块接收的数据和复制的数据中的任一个，并对数据进行第一接收处理，以获得第一发射预处理模块处理后的数据；和第二接收处理模块，用于接收数据复制模块接收的数据和复制的数据中的另一个，并对数据进行第二接收处理，以获得第二发射预处理模块处理后的数据。

依照本发明的通信方法包括：步骤 a，确定各个子信道的增益；步骤 b，根据步骤 a 的结果，在高增益的子信道上对发射数据执行第一发射预处理；步骤 c，根据步骤 a 的结果，在低增益的子信道上对发射数据执行第二发射预处理；和步骤 d，将步骤 b 和步骤 c 处理后求和的发射数据发射。



依照本发明，充分利用了波束赋形技术的低计算复杂度和 STC 设计不需要 CSIT 的特点，从而与完全采用发射预编码技术相比，降低了系统性能对信道状态信息（CSI）误差的敏感性，获得了鲁棒系统性能；与完全采用 STC 技术相比，提高了发射符号速率，并降低了发射机和接收机信号处理的复杂度。

#### 附图说明

图 1 为依照本发明的发射机的结构框图。

图 2 为依照本发明的接收机的结构框图。

图 3 为依照本发明的发射机的一个例子的信号处理流程图。

图 4 为本发明与现有技术的性能模拟对比图。

#### 具体实施方式

依照本发明，提供一个在 MIMO 系统内的可用传输空间子信道上传输数据的方法，以获得更好的系统性能和较低的实现复杂度。在权衡计算复杂度、系统性能和通信条件的前提下，本发明提出了发射预编码与空时编码组合的发射信号处理方案，具体地说，MIMO 信道被分解为  $L$  个并行独立的空间子信道之后，发射机就获得了每个空间子信道的增益、相位等信息，然后，本发明在高增益空间子信道对发射信号采用波束成形处理，而在低增益空间子信道采用空时编码级联预编码的级联信号处理技术，然后将两者处理后的信号求和后在  $N_t$  个发射天线元上发射。本发明充分利用了波束赋形技术的低计算复杂度和 STC 设计不需要 CSIT 的特点，以在变化的无线信道环境下获得提高的、鲁棒的系统性能。

依照本发明的通信系统包括如图 1 所示的发射机和如图 2 所示的接收机。下面，参照图 1 描述依照本发明的发射机发射数据的处理。该发射机包括发射信道处理模块 11，星座映射模块 12，s/p（串/并）处理模块 13，MIMO 发射预处理编码模块 14，STC 级联发射预编码信号处理模块 15，以及求和模块 16。

发射信道处理模块 11 用于获取各个子信道的增益情况以及 MIMO 发射预处理编码处理和 STC 级联发射预编码信号处理所需的参数。

特别的，发射信道处理模块 11 首先获得 MIMO 信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$ 。该 MIMO 信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  为其真实 MIMO 信道的估计，获得的方法可以通过反馈信道，即接收机对 MIMO 信道进行估计之后，再利用选定的反馈技术，比如：信道状态信息向量量化技术、码本技术等，通过反馈信道反馈给发射机；如果是时分双工通信 (TDD) 模式，发射机可以通过估计 MIMO 信道，再根据信道互惠属性直接获得反向信道状态信息估计。

发射信道处理模块 11 接着利用获得的 MIMO 信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  执行如下处理。

发射信道处理模块 11 对 MIMO 信道状态信息估计  $\mathbf{H}_t$  进行 SVD(奇异值)分解，即  $\mathbf{H}_t = \mathbf{U}_t \mathbf{S}_t \mathbf{V}_t^H$ ，其中：左奇向量矩阵  $\mathbf{U}_t$  为  $N_t \times N_t$  维矩阵，右奇向量矩阵  $\mathbf{V}_t$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $^H$  表示共扼转置， $\mathbf{S}_t$  为  $N_t \times N_r$  维对角矩阵，对角线上的非零元素个数为  $L$ ，也表示独立子信道数目，同时也表示为 MIMO 信道矩阵  $\mathbf{H}$  的秩。 $N_t$  为发射天线元数目， $N_r$  为接收天线元数目。

$\mathbf{S}_t$  对角线上的元素表示每个子信道的增益。因此，在发送数据时，可以根据  $\mathbf{S}_t$  确定子信道的增益，从而可以确定哪些子信道采用波束赋形发射，哪些子信道使用空时编码级联预编码的发射信号处理方法。

此外，发射信道处理模块 11 还基于  $\mathbf{S}_t$  根据功率分配算法获得高增益信道和低增益信道的发射功率  $p_1$  和  $p_2$ 。功率分配算法可以根据约束优化问题设计，比如注水算法。

发射信道处理模块 11 取  $\mathbf{V}_t$  的前  $m$  列向量，与分配的发射功率向量  $p_1$  相乘构成发射波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_t$ ，其为  $N_t \times m$  维；取  $\mathbf{V}_t$  的剩余  $L-m$  列向量，与发射功率向量  $p_2$  相乘构成预编码矩阵  $\mathbf{C}_t$ ，其为  $N_t \times (L-m)$  维， $m$  为进行发射波束赋形的子信道数目。

发射信道处理模块 11 通过上述计算获得的参数用于发射数据的处理。数据发射的具体操作如下。

发射比特  $b$  经星座映射模块 12 和 s/p 处理模块 13 处理后，分为  $m$  维的符号向量  $x_1$  和  $L-m$  维的符号向量  $x_2$ 。 $x_1$  为使用波束赋形处理的发射符号向量，为  $m$  维； $x_2$  为使用 STC 级联预编码处理的发射符号向量，为  $L-m$  维。 $m$  为进行发射波束赋形的子信道数目，且  $L > m \geq 1$ 。此处  $m$  的数值可以由发

射信道处理模块 11 来确定，即可以根据信道处理模块计算得到的  $\mathbf{S}_t$  对角线上的元素来确定。这里 STC 编码一次需要  $L-m$  个符号参与编码，但需要  $L-m$  个发射周期来发射。

s/p 处理模块 13 处理后的  $m$  维的符号向量  $x_1$  和  $L-m$  维的符号向量  $x_2$  分别输入 MIMO 发射预处理编码模块 14 和 STC 级联发射预编码信号处理模块 15。在 MIMO 发射预处理编码模块 14 中，符号向量  $x_1$  左乘  $\mathbf{W}_t$ ，产生  $N_t \times 1$  维发射向量。在 STC 级联发射预编码信号处理模块 15 中，符号向量  $x_2$  经过 STC 编码，再经过预编码矩阵  $\mathbf{C}_t$  处理形成  $N_t \times 1$  维发射向量。MIMO 发射预处理编码模块 14 和 STC 级联发射预编码信号处理模块 15 产生的发射向量发送至求和模块 16，其将这两个发射向量求和产生发射向量，对应在  $N_t$  个发射天线元上进行发射。

下面，参照图 2 描述接收机的处理。

如图 2 所示，依照本发明的接收机包括接收信道处理模块 21，数据复制模块 22，接收波束赋形模块 23，接收合并及空时解码模块 24，p/s（并/串）处理模块 25 和解码模块 26。

接收信道处理模块 21 首先获得 MIMO 信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$ 。该 MIMO 信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$  可以通过对信道进行估计而获得，信道估计方法可以是最小均方（MMSE）信道估计。接着，接收信道处理模块 21 对 MIMO 信道矩阵估计  $\mathbf{H}_r$  进行 SVD 分解，即  $\mathbf{H}_r = \mathbf{U}_r \mathbf{S}_r \mathbf{V}_r^H$ ，其中： $\mathbf{U}_r$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $\mathbf{V}_r$  为  $N_r \times N_r$  维矩阵， $\mathbf{S}_r$  为  $N_r \times N_r$  维对角矩阵，对角线上的非零元素个数为  $L$ ， $^H$  表示共扼转置。接收接收信道处理模块 21 取  $\mathbf{U}_r$  的前  $m$  列向量构成接收波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_r$ ，取  $\mathbf{U}_r$  的剩余  $L-m$  列向量构成接收线性处理矩阵  $\mathbf{C}_r$ 。

当接收机通过天线 1, 2, …,  $N_r$  接收数据后，数据复制模块 22 将接收的信号向量数据复制一份，一份输入接收波束赋形模块 23，一份输入接收合并及空时解码模块 24。在接收波束赋形模块 23 中，将来自数据复制模块 22 的信号向量数据与接收信道处理模块 21 获得的接收波束赋形矩阵  $\mathbf{W}_r$  相乘，恢复出在最大增益子信道上发送的符号。在接收合并及空时解码模块 24 中，将来自数据复制模块 22 的信号向量数据与接收信道处理模块 21 获得的接收线性处理矩阵  $\mathbf{C}_r$  相乘，然后进行空时解码（最大似然解码或非相关解

码)。接收波束赋形模块 23 和接收合并及空时解码模块 24 执行了上述处理之后，输出检测的发射符号至 p/s 处理模块 25。p/s 处理模块 25 对这些发射符号估计进行并串转换，且再通过解调模块 26 进行解调等处理，恢复发射比特序列  $\hat{b}$ 。

下面，参照图 3 描述依照本发明的一个例子。在该例子中，发射和接收天线元数目均为 3，即构成  $3 \times 3$  MIMO 信道，最高增益子信道使用波束赋形发射处理，剩余 2 个低增益子信道采用 STBC（空时块编码）级联预编码的发射信号处理结构，其发射机结构如图 3 所示，其中， $p_1, p_2, p_3$  为总的发射功率约束下为三个子信道分配的发射功率。

如图 3 所示，经过 s/p 处理模块处理后得到符号向量  $x_1, x_2$  和  $x_3$ ，其中  $x_1$  为高增益信道上的符号向量； $x_2$  和  $x_3$  为低增益信道上的符号向量。符号向量  $x_1$  先后乘以其发射功率  $p_1$  和  $V_t$  的第 1 列向量（即  $[v_{11} \ v_{21} \ v_{31}]^T$ ），以获得高增益信道上的发射信号。符号向量  $x_2$  和  $x_3$  先经过 STBC 编码（即  $\begin{bmatrix} x_2 & -x_3 \\ x_3 & x_2 \end{bmatrix}$ ），再将它们分别乘以其发射功率  $p_2, p_3$  和  $V_t$  的第二列向量（即  $[v_{12} \ v_{22} \ v_{32}]^T$ ），第三列向量（即  $[v_{13} \ v_{23} \ v_{33}]^T$ ），以获得低增益信道上的发射信号。图 3 仅表示的是信号的一个处理过程，当然也可以如图 1 所描述的那样处理，例如可以将发射功率  $p_1$  和  $V_t$  的前 1 列向量相乘获得发射波束赋形矩阵  $W_t$ ，再将符号向量  $x_1$  左乘  $W_t$  来获得发射向量。

图 3 的实施例中，两条发射链路的符号速率是一样的，即都是 1，因为 STBC 同时需要 2 个符号参与编码，但需要 2 个发射时间单位来发射产生的 2 个编码符号，所以，与发射波束赋形处理链路相比，其等价发射符号速率相等，而总的发射符号速率是 2。

图 4 显示了本发明与现有技术的性能模拟对比图。图 4 中的横轴  $\sigma_{err}^2$  表示发射机信道状态信息（CSIT）估计误差的方差，纵轴表示误码率（BER）。从图 4 可以看出，与完全采用 MIMO 发射预编码技术的现有方案相比，本发明降低了系统性能对信道状态信息误差的敏感性。

与完全采用 MIMO 发射预编码技术相比，发明所述发射信号处理设计降

低了系统性能对信道状态信息（CSI）误差的敏感性，即获得了鲁棒系统性能（见图4所示性能模拟结果），其主要原因是提出设计提高了低增益子信道的性能增益，但牺牲了1个符号的发射符号速率（以图3为例），若采用MIMO发射预编码技术，虽然符号速率为3，但是低增益子信道上的误码率很高，导致整体性能很差，特别是低信噪比环境或发射机获得的信道状态信息误差较大的情况下。

与完全采用空时编码级联发射预编码信号处理方法相比，发明所述发射信号处理设计提高了发射符号速率。如：一个 $3 \times 3$ MIMO信道，若采用提出发明所述的信号处理结构，则获得的总的发射符号速率是2符号；若采用空时编码级联发射预编码信号处理方法，则符号速率是1符号；

与完全采用空时编码级联发射预编码信号处理方法相比，降低了发射机和接收机信号处理的复杂度，因为波束赋形操作是线性的，相比STC及其解码，复杂度低很多；虽然提出结构也使用了STC结构，但是较完全采用空时编码级联发射预编码信号处理方法相比降低了维数，维数降低就意味着降低了复杂度。

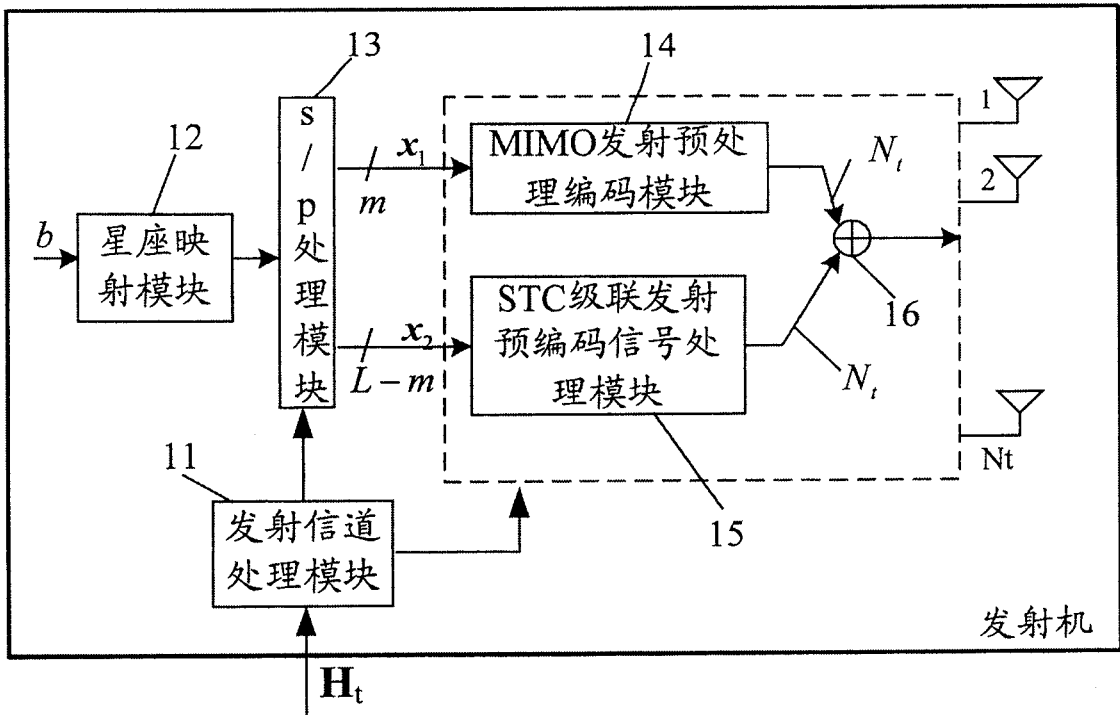


图 1

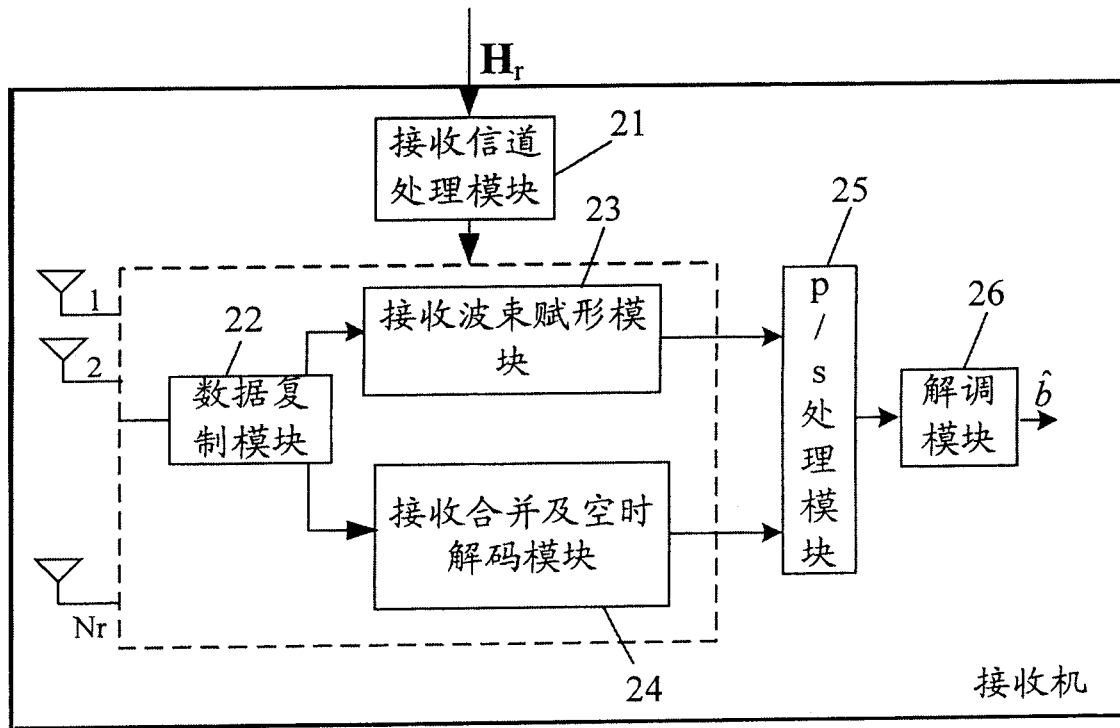


图 2

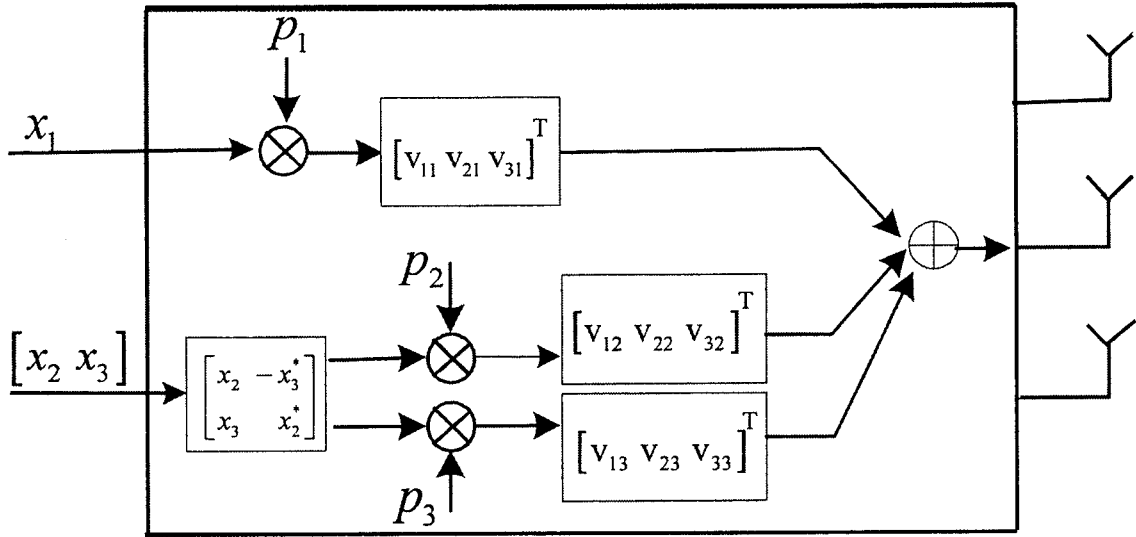


图 3

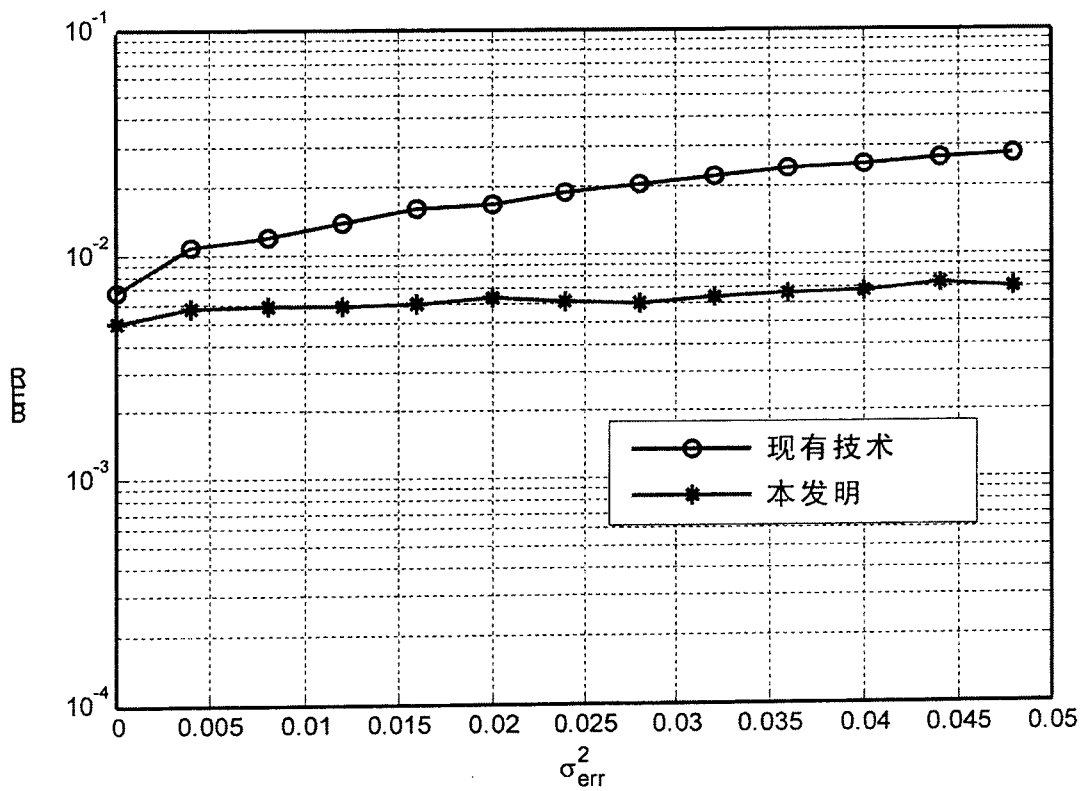


图 4