



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103209015 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 17

(21) 申请号 201310092260. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006. 03. 30

H04B 7/06 (2006. 01)

(30) 优先权数据

H04L 27/26 (2006. 01)

60/667, 326 2005. 04. 01 US

H04L 1/06 (2006. 01)

11/392, 025 2006. 03. 29 US

(62) 分案原申请数据

200680011322. X 2006. 03. 30

(71) 申请人 美商内数位科技公司

地址 美国特拉华州

(72) 发明人 章修谷 罗伯特·林德·奥勒森

(74) 专利代理机构 北京润平知识产权代理有限公司

公司 11283

代理人 南毅宁 刘国平

权利要求书3页 说明书11页 附图2页

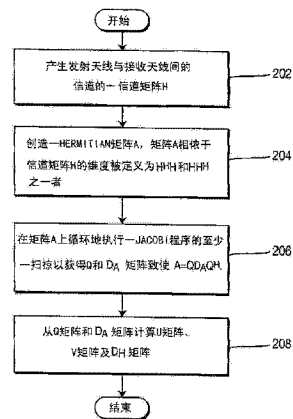
(54) 发明名称

以 MIMO OFDMA 格式发射数据的方法、WTRU 及 AP

(57) 摘要

本发明提供一种以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式发射数据的无线发射/接收单元(WTRU)、接入点(AP)及其方法,该方法包括:由发射器对数据进行信道编码;由发射器将信道编码数据分成第一多个流;由发射器将第一多个流映射到第二多个流中,其中第二多个流中的每一个与各自的发射天线相关联;由发射器对第二多个流中的每一个执行IFFT以生成多个IFFT流,多个IFFT流中的每一个具有多个子载波;由发射器将循环前缀插入到多个IFFT流中的每一个中;以及使用各自的发射天线、使用得到的波束成形权重、使用SVD来发射具有插入的循环前缀的多个IFFT流,其中SVD使用两个单一矩阵和奇异值对角矩阵来分解信道响应矩阵。

CN 103209015 A



1. 一种在无线发射 / 接收单元(WTRU)中使用的用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式发射数据的方法,该方法包括:

由发射器对数据进行信道编码;

由所述发射器将信道编码数据分成第一多个流;

由所述发射器将所述第一多个流映射到第二多个流中,其中所述第二多个流中的每一个与各自的发射天线相关联;

由所述发射器对所述第二多个流中的每一个执行反向快速傅立叶变换(IFFT)以生成多个IFFT流,所述多个IFFT流中的每一个具有多个子载波;

由所述发射器将循环前缀插入到所述多个IFFT流中的每一个中;以及

使用各自的发射天线、使用得到的波束成形权重、使用奇异值分解(SVD)来发射具有插入的循环前缀的所述多个IFFT流,其中所述SVD使用两个单一矩阵和奇异值对角矩阵来分解信道响应矩阵。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述波束成形权重在所述IFFT之前被应用于所述第二多个流。

3. 一种在接入点(AP)中使用的用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式发射数据的方法,该方法包括:

由发射器对数据进行信道编码;

由所述发射器将信道编码数据分成第一多个流;

由所述发射器将所述第一多个流映射到第二多个流中,其中所述第二多个流中的每一个与各自的发射天线相关联;

由所述发射器对所述第二多个流中的每一个执行反向快速傅立叶变换(IFFT)以生成多个IFFT流,所述多个IFFT流中的每一个具有多个子载波;

由所述发射器将循环前缀插入所述多个IFFT流中的每一个中;以及

使用各自的发射天线、使用得到的波束成形权重、使用奇异值分解(SVD)发射具有插入的循环前缀的所述多个IFFT流,其中所述SVD使用两个单一矩阵和奇异值对角矩阵分解信道响应矩阵。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述波束成形权重在所述IFFT之前被应用于所述第二多个流。

5. 一种被配置用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式发射数据的无线发射 / 接收单元(WTRU),该WTRU包括:

发射器,该发射器包括:

信道编码器,被配置为对数据进行信道编码;

多个串并(S/P)转换器,被配置为将信道编码数据分成第一多个流以及将所述第一多个流映射到第二多个流中,其中所述第二多个流中的每一个与各自的发射天线相关联;

多个反向快速傅立叶变换(IFFT)单元,被配置为对所述第二多个流中的每一个执行IFFT以生成多个IFFT流,所述多个IFFT流中的每一个具有多个子载波;

循环前缀插入单元,被配置为将循环前缀插入到所述多个IFFT流中的每一个中;以及

多个发射天线,被配置为使用各自的发射天线、使用得到的波束成形权重、使用奇异值分解(SVD)发射具有插入的循环前缀的所述多个IFFT流,其中所述SVD使用两个单一矩阵

和奇异值对角矩阵分解信道响应矩阵。

6. 根据权利要求 5 所述的 WTRU, 其中所述波束成形权重在所述 IFFT 之前被应用于所述第二多个流。

7. 一种被配置用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式发射数据的接入点(AP), 该 AP 包括:

发射器, 该发射器包括:

信道编码器, 被配置为对数据进行信道编码;

多个串并(S/P)转换器, 被配置为将信道编码数据分成第一多个流以及将所述第一多个流映射到第二多个流中, 其中所述第二多个流中的每一个与各自的发射天线相关联;

多个反向快速傅立叶变换(IFFT)单元, 被配置为对所述第二多个流中的每一个执行 IFFT 以生成多个 IFFT 流, 所述多个 IFFT 流中的每一个具有多个子载波;

循环前缀插入单元, 被配置为将循环前缀插入到所述多个 IFFT 流中的每一个中; 以及

多个发射天线, 被配置为使用各自的发射天线、使用得到的波束成形权重、使用奇异值分解(SVD)发射具有插入的循环前缀的所述多个 IFFT 流, 其中所述 SVD 使用两个单一矩阵和奇异值对角矩阵分解信道响应矩阵。

8. 根据权利要求 7 所述的 AP, 其中所述波束成形权重在所述 IFFT 之前被应用于所述第二多个流。

9. 一种在无线发射/接收单元(WTRU)中使用的用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式接收数据的方法, 该方法包括:

从接收到的信号中去除循环前缀(CP);

将所述接收到的信号转换为多个频域数据流;

利用由信道矩阵分解出的 U 和 D 矩阵处理所述多个频域数据流; 以及

多路复用和解码已处理的所述多个频域数据流以生成解码数据流。

10. 根据权利要求 9 所述的方法, 该方法还包括:

从由发射器通过天线发射的训练序列生成信道矩阵; 以及

将所述信道矩阵分解为矩阵 U、矩阵 V、和矩阵 D 并发送所述矩阵 V 到所述发射器以及发送所述矩阵 U 和矩阵 D 到接收波束成形器。

11. 一种被配置用于以多输入多输出(MIMO)正交频分多址接入(OFDMA)格式接收数据的无线发射/接收单元(WTRU), 该 WTRU 包括:

接收器, 该接收器包括:

循环前缀(CP)去除单元, 被配置为从接收到的信号中去除 CP;

多个快速傅立叶变换(FFT)单元, 被配置为将所述接收到的信号转换为多个频域数据流;

接收波束成形器, 被配置为利用由信道矩阵分解出的矩阵 U 和矩阵 D 处理所述多个频域数据流; 以及

被配置用于多路复用的多路复用器以及信道解码器, 所述信道解码器被配置为解码已处理的所述多个频域数据流以生成解码数据流。

12. 根据权利要求 11 所述的 WTRU, 该 WTRU 还包括:

信道估计器, 被配置为从由发射器通过天线发射的训练序列生成信道矩阵; 以及

矩阵分解及信道相关矩阵单元,被配置为分解所述信道矩阵。

以 MIMO OFDMA 格式发射数据的方法、WTRU 及 AP

[0001] 本申请是申请日为 2006 年 3 月 30 日、申请号为 200680011322. X、发明名称为“频道矩阵奇异值分解方法、装置及集成电路”的中国发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明关于一种无线通信系统。更特定言之，本发明关于一种信道矩阵奇异值分解(SVD)的方法及装置。

背景技术

[0003] 正交频分复用(OFDM)是一种数据传输架构，其中数据被分割成多个较小流且每一流是利用一具备小于总可用传输频宽的一频宽的子载波传输。OFDM的效率取决于选择相互正交的这些子载波。这些子载波在每一者载送全部使用者数据的一部分的同时不会相互干扰。

[0004] OFDM系统具有优于其它无线通信系统的好处。当使用者数据被分割成由不同子载波载送的流时，每一子载波上的有效数据传输率会小得多。因此，符号持续时间会长得多。一大符号持续时间可容忍较大延迟程度。因此，其不会被多路径严重影响。故 OFDM 符号可容忍没有复杂接收器设计的延迟程度。然传统无线系统需要复杂的信道等化架构以对抗多路径衰落。

[0005] OFDM 的另一优点是发射器和接收器处的正交子载波的产生可为利用反向快速傅立叶变换(IFFT)及快速傅立叶转换(FFT)引擎完成。由于 IFFT 和 FFT 实施方式已为人知，OFDM 可被轻易地实施且不需要复杂的接收器。

[0006] 多输入多输出(MIMO)是指一种无线传输及接收架构，其中一发射器和一接收器均使用一以上的天线。一 MIMO 系统从空间分集或空间多路复用获益且改善信噪比(SNR)并加大吞吐量。

[0007] 一般而言，MIMO 系统有两种运作模式：一开环模式和一死循环模式。该死循环模式是在可向发射器提供信道状态信息(CSI)之时使用，且该开环模式系在发射器处没有 CSI 可用时使用。在死循环模式中，CSI 被用来通过在发射器处预编码且在接收器处更进一步天线处理以分解并对角化信道矩阵的方式创造出几乎不相依的信道。该 CSI 可通过来自接收器的反馈或是经由利用信道互易性在发射器处获得。

[0008] 一用于开环 MIMO 的最小均方误差(MMSE)接收器必须计算用于数据解码的权重向量且此等权重向量的收敛率很重要。相关矩阵的一直接向量逆转换(DMI)技术会比一最小均方(LMS)或最大 SNR 程序更快收敛。但是，DMI 程序的复杂度随矩阵大小加大而呈指数性成长。一用于死循环 MIMO 的特征波束成形接收器必须在信道矩阵上执行 SVD。SVD 程序的复杂度亦随信道矩阵大小加大而呈指数性成长。

发明内容

[0009] 本发明关于一种用于分解一无线通信系统中的一信道矩阵的方法及装置。该无线

通信系统包括一具有多个发射天线的发射器及一具有多个接收天线的接收器。就发射天线与接收天线间的信道产生一信道矩阵 H 。创造一 Hermitian 矩阵 $A=H^H H$ 或 $A=H H^H$ 。在矩阵 A 上循环地执行一 Jacobi 程序以获得 Q 和 D_A 矩阵致使 $A=Q D_A Q^H$ ，其中 D_A 是一通过该矩阵 A 上的 SVD 获得的对角矩阵。在每一 Jacobi 转换中，执行实部对角化以消去该矩阵的非对角元素的实部，且在该实部对角化之后执行虚部对角化以消去该矩阵的非对角元素的虚部。然后从该 Q 和 D_A 矩阵算出 H 矩阵的 U 、 V 和 D_H 矩阵，其中 D_H 是一包含该矩阵 H 的奇异值的对角矩阵。

附图说明

[0010] 第 1 图是一依据本发明利用 SVD 执行特征波束成形的包含一发射器和一接收器的 OFDM-MIMO 系统的方块图。

[0011] 第 2 图是一依据本发明在信道矩阵 H 上执行一 SVD 的程序的流程图。

具体实施方式

[0012] 本发明的特征可被并入一集成电路 (IC) 内或被建构在一包含多重互连组件的电路内。

[0013] 本发明提出信道评估构件、一 MMSE 接收器中的信道相关矩阵的直接逆转换以及用于一特征波束成形接收器的 SVD。

[0014] 第 1 图是一依据本发明利用 SVD 实施特征波束成形的包含一发射器 100 和一接收器 200 的 OFDM-MIMO 系统 10 的方块图。应理解到第 1 图所示系统 10 仅为一实例而非限制，且本发明可应用于需要一利用 SVD 的矩阵分解的任何无线通信系统。发射器 100 包括一信道编码器 102、一解多路复用器 104、多个串并 (S/P) 转换器 106、一发射波束成形器 108、多个 IFFT 单元 110、循环前缀 (CP) 插入单元 112 及多个发射天线 114。信道编码器 102 编码输入数据 101 且通过解多路复用器 104 将已编码数据流 103 剖析成 N_T 个数据流 105。 N_T 是发射天线 114 的数量。在每一数据流 105 上执行 OFDM 处理。通过 S/P 转换器 106 将每一数据流 105 转换成多个数据流 107。然后通过发射波束成形器 108 处理数据流 107。发射波束成形器 108 用一从一信道矩阵分解且由接收器 200 如箭头 220 所示发送的 V 矩阵 (详见下文) 执行一发射预编码操作。IFFT 单元 110 将数据转换成时域数据流 111 且通过每一 CP 插入单元 112 将一 CP 插入每一数据流 111 内并且经由相应的发射天线 114 发出。

[0015] 接收器 200 包括多个接收天线 202、CP 去除单元 204、FFT 单元 206、一接收波束成形器 208、一多路复用器 210、一信道解码器 212、一信道估计器 214 及一矩阵分解及信道相关矩阵单元 216。通过 CP 去除单元 204 从已接收讯号 203 去除 CP 且通过 FFT 单元 206 处理此信号使其被转换成频域数据流 207。接收波束成形器 208 用由矩阵分解及信道相关矩阵单元 216 产生的从信道矩阵分解的 U 和 D 矩阵 217 处理频域数据流 207。然后通过多路复用器 210 多路复用接收波束成形器 208 的每一输出 209 并通过信道解码器 212 予以解码，如此产生一已解码数据流 218。信道估计器 214 较佳从发射器 100 经由每一发射天线 114 发出的训练序列产生一信道矩阵 215。矩阵分解及信道相关矩阵单元 216 将该信道矩阵分解成 U 、 V 和 D 矩阵且将 V 矩阵 220 送交发射器 100 并将 U 和 D 矩阵 217 送交接收器波束成形器 208，详见下文。

[0016] 本发明利用 Hermitian 矩阵及虚部对角化的特性使 DMI 和 SVD 程序二者的复杂度降低。本发明大幅超越已知技艺降低复杂度,且为非对称矩阵提供远大于已知技艺所能提供的复杂度方面的好处。

[0017] 以下定义会被用在本发明整体中。

[0018] N_t 是发射天线的数量。

[0019] N_r 是接收天线的数量。

[0020] $s(i)$ 是一子载波的第 i 个 ($N_t \times 1$) 训练向量。

[0021] $v(i)$ 是第 i 个 ($N_r \times 1$) 接收噪声信号向量,其中 $v(i) \sim N_c(0, 1)$ 。

[0022] $y(i)$ 是一子载波的第 i 个 ($N_r \times 1$) 已接收训练向量。

[0023] H 是 ($N_r \times N_t$) MIMO 信道矩阵,其中 h_{ij} 代表第 j 个发射天线与第 i 个接收天线间的信道复增益。

[0024] 对应于训练符号的已接收信号如下:

$$[0025] \quad y(i) = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} Hs(i) + v(i) \quad i=1,2,\dots,T; \quad \text{方程式(1)}$$

[0026] 条件为 $T \geq N_t$ MIMO 训练符号。 ρ 是一总 SNR,其独立于发射天线数量。

[0027] 通过针对一子载波表示 $Y=[y(1), y(2), \dots, y(T)]$ 、 $S=[s(1), s(2), \dots, s(T)]$ 且 $V=[v(1), v(2), \dots, v(T)]$,方程式(1)可被改写如下:

$$[0028] \quad Y = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} HS + V \quad \text{方程式(2)}$$

[0029] 对于一子载波的信道矩阵 H 的最大似度估计由下式给出:

$$[0030] \quad H_{ML} = \arg \min_H \left\| Y - \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} HS \right\|^2 = \sqrt{\frac{N_t}{\rho}} YS^H (SS^H)^{-1} \quad \text{方程式(3)}$$

[0031] 其中上标 H 代表 Hermitian 转置且 S 是一训练符号序列。假设已发射训练符号是单幂, $E\{|S_i|^2\}=1$ 。

[0032] 作为最大似度信道评估的一替代方案,线性最小均方误差 (MMSE) 信道评估由下式给出:

$$[0033] \quad H_{MMSE} = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} YS^H \left(\frac{\rho}{N_t} SS^H + 1 \right)^{-1} \quad \text{方程式(4)}$$

[0034] 由于 S 为已知, SS^H 可被离线计算。若训练符号序列 S 满足 $SS^H = T \cdot I_{N_t}$, 其中 I_{N_t} 是 $N_t \times N_t$ 单位矩阵,则该训练符号序列 S 是最佳的。举例来说,依据 IEEE802.11 规格中用于 4 天线的 HT-LTF 型样,用于子载波编号 (-26) 的训练符号序列

$$[0035] \quad S_{-26} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{为最佳,因为 } S_{-26} S_{-26}^H = 2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

[0036] 一 MIMO 系统的输入 - 输出关系可被表示如下:

[0037] $y = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} Hs + v$ 方程式(5)

[0038] 其中 $s = [s_1, s_2, \dots, s_{N_t}]^T$ 是 $N_t \times 1$ 发射信号向量且 s_i 隶属于一有限星座,

[0039] $v = [v_1, v_2, \dots, v_{N_r}]^T$ 是 $N_r \times 1$ 接收白高斯噪声信号向量。H 是 $N_t \times N_r$ MIMO 信道矩阵且 h_{ij} 代表第 j 个发射天线与第 i 个接收天线间的信道复增益。然后以 MMSE 为基础的数据解码程序由下式给出:

[0040] $s = \left(\frac{\rho}{N_t} H^H H + I \right)^{-1} H^H y = R^{-1} H^H y = w^H y$ 方程式(6)

[0041] 以下解释一 2×2 矩阵的矩阵逆转换程序。

[0042] 2×2 Hermitian 矩阵 R 的逆转换的直接计算。

[0043] 方程式(6)中的一 Hermitian 矩阵 R 及其逆矩阵 T 被定义为 $R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix}$ 及

$$T = R^{-1} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \text{ Hermitian 矩阵 R 的对角元素}(R_{11} \text{ 和 } R_{22}) \text{ 是实数且其非对角元素}(R_{12}$$

和 R_{21}) 是共轭对称的。逆矩阵 T 也是 Hermitian。由于 $RT=I$ 其中 I 是 2×2 单位矩阵, 逆矩阵 T 是通过展开左侧且用 I 求等相应项获得, 如下所示:

[0044] $T_{11} = \frac{R_{22}}{R_{11}R_{22} - R_{12}R_{12}^H}$, $T_{12} = -\frac{R_{12}T_{11}}{R_{22}}$, $T_{21} = T_{12}^H$, $T_{22} = \frac{1 - R_{21}T_{12}}{R_{22}}$ 方程式(7)

[0045] 利用特征值分解计算 2×2 Hermitian 矩阵 R 的逆矩阵。

[0046] 方程式(6)中之一 Hermitian 矩阵 R 被定义如下: $R=QDQ^H$, 其中 Q 是单式的且 D 是对角的。

[0047] $R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix}$, $Q = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{bmatrix}$, $D = \begin{bmatrix} D_{11} & 0 \\ 0 & D_{22} \end{bmatrix}$,

[0048] 其中 D_{11} 和 D_{22} 是 R 的特征值。

[0049] 特征值 D_{11} 和 D_{22} 是依下式计算:

[0050] $D_{11} = \frac{(R_{11} + R_{22}) + \sqrt{(R_{11} + R_{22})^2 - 4(R_{11} + R_{22} - R_{12}R_{12}^*)}}{2}$ 方程式(8)

[0051] $D_{22} = \frac{(R_{11} + R_{22}) - \sqrt{(R_{11} + R_{22})^2 - 4(R_{11} + R_{22} - R_{12}R_{12}^*)}}{2}$ 方程式(9)

[0052] 从 $RQ=QD$, 展开左侧及右侧且求等相应项, 得到以下方程:

[0053] $R_{11}Q_{11} + R_{12}Q_{21} = Q_{11}D_{11}$ 方程式(10)

[0054] $R_{11}Q_{12} + R_{12}Q_{22} = Q_{12}D_{22}$ 方程式(11)

[0055] $R_{12}^H Q_{11} + R_{22}Q_{21} = Q_{21}D_{11}$ 方程式(12)

[0056] $R_{12}^H Q_{12} + R_{22}Q_{22} = Q_{22}D_{22}$ 方程式(13)

[0057] 从 $Q^H Q=I$ 其中 I 是 2×2 单位矩阵, 展开左侧和右侧且求等相应项, 得到以下方程

序：

[0058] $Q_{11}^H Q_{11} + Q_{21}^H Q_{21} = 1$ 方程式 (14)

[0059] $Q_{11}^H Q_{12} + Q_{21}^H Q_{22} = 0$ 方程式 (15)

[0060] $Q_{11}^H Q_{11} + Q_{22}^H Q_{21} = 0$ 方程式 (16)

[0061] $Q_{12}^H Q_{12} + Q_{22}^H Q_{22} = 1$ 方程式 (17)

[0062] 从方程式 (10),

[0063] $Q_{21} = \sqrt{\frac{(D_{11} - R_{11})Q_{11}}{R_{12}}} \text{ 方程式 (18)}$

[0064] 将方程式 (18) 代入方程式 (14),

[0065] $Q_{11} = \sqrt{\frac{R_{12}^H R_{12}}{R_{12}^H R_{12} + (D_{11} - R_{11})^2}} \text{ 方程式 (19)}$

[0066] 将方程式 (19) 代入方程式 (18), 得到 Q_{21} 。从方程式 (13),

[0067] $Q_{22} = \frac{R_{12}^H Q_{12}}{D_{22} - R_{22}} \text{ 方程式 (20)}$

[0068] 将方程式 (20) 代入方程式 (17),

[0069] $Q_{12} = \sqrt{\frac{(D_{22} - R_{22})^2}{R_{12}^H R_{12} + (D_{22} - R_{22})^2}} \text{ 方程式 (21)}$

[0070] 将方程式 (21) 代入方程式 (20), 得到 Q_{22} 。然后通过下式获得逆矩阵：

[0071] $R^{-1} = QD^{-1}Q^H \text{ 方程式 (22)}$

[0072] 以下说明利用 SVD 的特征波束成形接收器, 其示于第 1 图。对于该特征波束成形接收器, 通过 SVD 将用于一子载波的信道矩阵 H 分解成二个波束成形单式矩阵 (用于发射之 U 及用于接收之 V) 及一对角矩阵 D 。

[0073] $H = UDV^H \text{ 方程式 (23)}$

[0074] 其中 U 和 V 是单式矩阵且 D 是对角矩阵。 $U \in C^{n \times n}$ 且 $V \in C^{n \times n}$ 。对于发射符号向量 s , 执行如下所示发射预编码：

[0075] $x = Vs \text{ 方程式 (24)}$

[0076] 已接收讯号变成如下：

[0077] $y = HVs + n \text{ 方程式 (25)}$

[0078] 其中 n 是导入该信道中的噪声信号。接收器通过利用一匹配滤波器如下所示完成分解：

[0079] $V^H H^H = V^H V D^H U^H = D^H U^H \text{ 方程式 (26)}$

[0080] 在常态化特征波束的信道增益后, 发射符号的估计变成如下：

[0081] $\hat{s} = \alpha D^H U^H y = \alpha D^H U^H (HV s + n) = \alpha D^H U^H (UDV^H V s + n) = s + \alpha D^H U^H n$

[0082] $= s + \eta \text{ 方程式 (27)}$

[0083] s 被侦测而不需要执行 MMSE 型侦测器的连续干扰抵消。 $D^H D$ 是一由 H 跨对角线的

特征值构成的对角矩阵。U 是 \mathbb{H}^n 的特征值的一矩阵，V 是 \mathbb{H}^n 的特征值的一矩阵且 D 是 H 的奇异值 (\mathbb{H}^n 的特征值的平方根) 的一对角矩阵。

[0084] 一用于 $N \times M$ 信道矩阵在 $N > 2$ 且 $M > 2$ 条件下的 SVD 程序。

[0085] 以下 SVD 计算(方程式 (28) 至 (52))是以循环 Jacobi 程序利用 Givens 旋转为基础。以下说明双边 Jacobi 程序。

[0086] 步骤 1: 将复数据转换成实数据。

[0087] 给出如下之 $A_{2 \times 2}$ 复矩阵:

$$[0088] \quad A = \begin{bmatrix} a_{ii} & a_{ij} \\ a_{ji} & a_{jj} \end{bmatrix} \text{ 方程式 (28)}$$

[0089] 步骤 1-1: 如下将 a_{ii} 转换成一正实数 b_{11} :

[0090] 若 (a_{11} 等于 1) 则

$$[0091] \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = A \text{ 方程式 (29)}$$

[0092] 否则

$$[0093] \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = kA = k \begin{bmatrix} a_{ii} & a_{ij} \\ a_{ji} & a_{jj} \end{bmatrix} \text{ 方程式 (30)}$$

$$[0094] \quad \text{其中 } k = \frac{a_{ii}^*}{|a_{ii}|} \text{ 且 } |a_{ii}| = \sqrt{\text{real}(a_{ii})^2 + \text{imag}(a_{ii})^2}。$$

[0095] 步骤 1-2: 三角化。然后通过乘上一如下所示转换矩阵 $CSTriangle$ 使矩阵 B 转换成三角矩阵 W:

[0096] 若 (a_{ij} 或 a_{ji} 等于零且 a_{jj} 等于零) 则

$$[0097] \quad CSTriangle = \begin{bmatrix} c & s^* \\ -s & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ 其中 } c^2 + s^2 = 1 \text{ 方程式 (31)}$$

$$[0098] \quad W = (CSTriangle)(B) = B \text{ 方程式 (32)}$$

[0099] 否则

$$[0100] \quad W = (CSTriangle)(B) = \begin{bmatrix} c & s^* \\ -s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{ii} & b_{ij} \\ b_{ji} & b_{jj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{ii} & w_{ij} \\ 0 & w_{jj} \end{bmatrix} \text{ 方程式 (33)}$$

[0101] 其中余弦参数 c 是实数, s 是复数且 $c^2 + |s|^2 = 1$

$$[0102] \quad \text{则 } c = \frac{|b_{ii}|}{\sqrt{|b_{ii}|^2 + |b_{ji}|^2}} \text{ 且 } s = \frac{b_{ji}}{b_{ii}} c \text{ 方程式 (34)}$$

[0103] 步骤 1-3: 相位抵消。为了使三角矩阵 W 的元素转换成实数, 如下所示以转换矩阵 $prePhC$ 和 $postPhC$ 乘以矩阵 W:

[0104] 若 (a_{ij} 和 a_{jj} 等于零且 a_{ji} 不等于零) 则

[0105]

$$realW = (prePhC)(W)(postPhC) = \begin{vmatrix} e^{-j\gamma} & 0 \\ 0 & e^{-j\beta} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_{ii} & 0 \\ w_{ji} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\beta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} w_{ii} & 0 \\ w_{ji} & 0 \end{vmatrix}$$

[0106] 方程式(35)

[0107] 其中 $\beta = \arg(w_{ji})$ 且 $\gamma = \arg(w_{ii})$, 亦即 $e^{-j\beta} = \frac{w_{ji}^*}{|w_{ji}|}$ 且 $e^{-j\gamma} = \frac{w_{ii}^*}{|w_{ii}|}$

[0108] 方程式(36)

[0109] 否则若 (a_{ij} 不等于零) 则

[0110]

$$realW = (prePhC)(W)(postPhC) = \begin{vmatrix} e^{-j\beta} & 0 \\ 0 & e^{-j\gamma} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_{ii} & w_{ij} \\ 0 & w_{jj} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} e^{j\beta} & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} w_{ii} & w_{ij} \\ 0 & w_{jj} \end{vmatrix}$$

[0111] 方程式(37)

[0112] 其中 $\beta = \arg(w_{ij})$ 且 $\gamma = \arg(w_{jj})$, 亦即 $e^{-j\beta} = \frac{w_{ij}^*}{|w_{ij}|}$, 且

[0113] 若 (a_{jj} 等于零) $e^{-j\gamma} = 1$ 方程式(38)

[0114] 否则

[0115] $e^{-j\gamma} = \frac{w_{jj}^*}{|w_{jj}|}$ 方程式(39)

[0116] 否则

[0117] $realW = (prePhC)(W)(postPhC) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} w_{ii} & w_{ij} \\ 0 & w_{jj} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = W$ 方程式(40)

[0118] 步骤 2:对称化 - 若矩阵 $realW$ 不是对称矩阵则施用一对称化旋转。若矩阵 $realW$ 是对称的则略过此步骤。

[0119] 若 (a_{ji} 等于零且 a_{jj} 等于零) 则

[0120] $symW = (symM)^T (realW) = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} realW = realW$ 方程式(41)

[0121] 否则

[0122] $symW = (symM)^T (realW) = \begin{vmatrix} c & s \\ -s & c \end{vmatrix}^T \begin{bmatrix} r_{ii} & r_{ij} \\ r_{ji} & r_{jj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{ii} & s_{ij} \\ s_{ji} & s_{jj} \end{bmatrix}$ 方程式(42)

[0123] 其中 $s_{ji} = s_{ij}$ 且 $c^2 + s^2 = 1$ 。

[0124] 通过展开左侧且求等各项,

[0125] $\rho = \frac{r_{ii} + r_{jj}}{r_{ij} - r_{ji}} = \frac{c}{s}$, $s = \frac{sign(\rho)}{\sqrt{1 + \rho^2}}$, $c = \rho s$ 方程式(43)

[0126] 步骤 3:对角化 - 施用一对角化旋转以消去矩阵 $symW$ (或 $realW$) 中的非对角元素。

[0127] 若 $(a_{i,j})$ 等于零且 $a_{j,i}$ 等于零) 则

$$[0128] \quad D = (\text{diag}M)^T (\text{sym}M) (\text{diag}M) = \begin{vmatrix} d_{ii} & 0 \\ 0 & d_{jj} \end{vmatrix}, \text{ 其中 } \text{diag}M = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$

[0129] 方程式 (44)

[0130] 否则

$$[0131] \quad D = (\text{diag}M)^T (\text{sym}M) (\text{diag}M) = \begin{vmatrix} c & s^T \\ -s & c \end{vmatrix} \begin{vmatrix} s_{ii} & s_{ij} \\ s_{ji} & s_{jj} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} c & s \\ -s & c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} d_{ii} & 0 \\ 0 & d_{jj} \end{vmatrix}$$

[0132] 方程式 (45)

[0133] 其中 $c^2 + s^2 = 1$ 。

[0134] 通过展开左侧且求等相应非对角项,

$$[0135] \quad \zeta = \frac{s_{jj} - s_{ii}}{2s_{ji}}, \quad t = \frac{s}{c}, \quad \text{其中 } t^2 + 2\zeta t - 1 = 0 \text{ 方程式 (46)}$$

[0136] 对于内旋转, $t = \frac{s}{c} = \frac{\text{sign}(\zeta)}{|\zeta| + \sqrt{1 + \zeta^2}}$ 方程式 (47); 或

[0137] 对于外旋转, $t = \frac{s}{c} = -\frac{\text{sign}(\zeta)}{|\zeta| + \sqrt{1 + \zeta^2}}$ 方程式 (48)

[0138] 然后 $c = \frac{1}{\sqrt{1 + t^2}}$ 且 $s = tc$ 方程式 (49)

[0139] 步骤 4: 旋转矩阵的融合以产生 U 和 V 矩阵。U 和 V 矩阵依下述方式获得:

[0140] $A = UDV^H$ 方程式 (50)

[0141] $U = [k(\text{diag}M)^H (\text{sym}M)^H (\text{prePh}C) (CSTriangle)]^H$ 方程式 (51)

[0142] $V = (\text{postPh}C) (\text{diag}M)$ 方程式 (52)

[0143] 对于一 $M \times M$ 方形矩阵之循环广义 Jacobi 程序。

[0144] 为了消去 A 的非对角元素 (亦即 (i, j) 及 (j, i) 元素), 将上文所述程序依某种固定次序以总计 $m = M(M-1)/2$ 个不同指数对施用于 $M \times M$ 矩阵 A。此一 m 转换的序列被称为一扫掠 (sweep)。一扫掠的构造可为以列循环或以行循环。在任一例中, 会在每一扫掠后获得

一新矩阵 A, 以其计算 $j \neq 1$ 条件下的 $\text{off}(A) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M a_{ij}^2$ 若 $\text{off}(A) \leq \delta$, 则计算停止。 δ

是一相依赖于计算准确度 的小数字。否则计算被重复进行。

[0145] 对于一 $N \times M$ 长方矩阵的循环广义 Jacobi 程序。

[0146] 若矩阵 A 的维度 N 大于 M, 则通过对 A 添加 (N-M) 行的零来产生一方形矩阵。增广的方形矩阵 $B = |A0|$ 。然后将上文所述程序施用于 B。

[0147] $U^T | A \quad 0 \begin{vmatrix} V & 0 \\ 0 & I \end{vmatrix} = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M, 0, \dots, 0)$ 方程式 (53)

[0148] 通过下式获得原始资料矩阵 A 的期望因子分解:

[0149] $U^TAV = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M)$ 方程式 (54)

[0150] 若矩阵 A 的维度 M 大于 N, 则通过如下所示对 A 添加 (M-N) 列的零来产生一方形矩阵:

[0151] $B = \begin{bmatrix} A \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$ 方程式 (55)

[0152] 然后将上文所述程序施用于 B。

[0153] $\begin{bmatrix} U & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & I \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} A \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} V = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0})$ 方程式 (56)

[0154] 通过下式获得原始资料矩阵 A 的期望因子分解:

[0155] $U^TAV = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$ 方程式 (57)

[0156] 以下参照图 2 解释依据本发明的 SVD 程序。图 2 是一依据本发明的 SVD 程序的流程图。本发明提出一种执行一 SVD 程序的方法。产生多个发射天线与多个接收天线间的一信道矩阵 H (步骤 202)。就所得 $N_r \times N_t$ 信道矩阵 H 创造出一 Hermitian 矩阵 A (步骤 204)。矩阵 A 被产生为在 $N_r \cong N_t$ 条件下 $A = HHH^H$ 且在 $N_r < N_t$ 条件下 $A = HH^H$ 。然后对 $M \times M$ 矩阵 A 循环地施用双边 Jacobi 程序以获得 Q 和 D_A 矩阵致使 $A = QD_AQ^H$ 、其中 $M = \min(N_r, N_t)$ 、这将在下文解释 (步骤 206)。 D_A 是一通过矩阵 A 的 SVD 获得的包含矩阵 H 的特征值的对角矩阵。由于矩阵 A 是 Hermitian 且对称, 故不再需要已知技艺的对称化步骤且程序大幅简化。一旦算出 A 的 SVD, 从 Q 矩阵和 D_A 矩阵计算 H 矩阵的 U 矩阵、V 矩阵和 D_H 矩阵 ($H = UD_HV^H$) (步骤 208)。

[0157] 以下解释在 A 矩阵上执行 SVD 的步骤 206。如下所示从矩阵 A 定义一 2×2 Hermitian 矩阵 symW:

[0158] $\text{sym}W = \begin{bmatrix} s_{ii} & s_{ij} \\ s_{ji} & s_{jj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{ii} & a_{ij} + jb_{ij} \\ a_{ji} - jb_{ji} & a_{jj} \end{bmatrix}$ 方程式 (58)

[0159] 其中 a_{ii} 、 a_{ij} 、 a_{ji} 、 a_{jj} 、 b_{ij} 及 b_{ji} 是实数且 $a_{ij} = a_{ji}$ 且 $b_{ij} = b_{ji}$ 。矩阵 symW 系如习知技艺方法就每一 Jacobi 转换从矩阵 A 产生。

[0160] 在矩阵 symW 上执行实部对角化。如下所示通过以转换矩阵 $(\text{diagRM})^T$ 和 diagRM 乘上矩阵 symW 的方式消去矩阵 symW 的非对角元素的实部:

[0161] $D_{\text{real}} = (\text{diagRM})^T (\text{sym}W) (\text{diagRM}) = \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} s_{ii} & s_{ij} \\ s_{ji} & s_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{ii} & jb_{ij} \\ -jb_{ji} & \gamma_{jj} \end{bmatrix}$

[0162] 方程式 (59)

[0163] 其中 r_{ii} 和 r_{jj} 是实数, $b_{ij} = b_{ji}$ 且 $c^2 + s^2 = 1$ 。

[0164] 通过展开左侧并求等相应非对角实项 (real term), 得到以下方程。

[0165] $\zeta = \frac{a_{jj} - a_{ii}}{2a_{ji}}$ 且 $t = \frac{s}{c}$ 方程式 (60)

[0166] 其中 $t^2 = 2\zeta t - 1 = 0$ 。

[0167] 对于内旋转, $t = \frac{s}{c} = \frac{\text{sign}(\zeta)}{|\zeta| + \sqrt{1 + \zeta^2}}$ 方程式 (61); 或

[0168] 对于外旋转, $t = \frac{s}{c} = -\text{sign}(\zeta) \left(|\zeta| + \sqrt{1 + \zeta^2} \right)$ 方程式 (62)

[0169] 然后 $c = \frac{1}{\sqrt{1+t^2}}$ 且 $s=tc$ 方程式 (63)。

[0170] 然后执行虚部对角化。如下所示通过以转换矩阵 $(\text{diagIM})^T$ 和 diagIM 乘上实部对角化所得矩阵的方式消去非对角元素的虚部:

$$[0171] \quad D_A = (\text{diagIM})^T (D_{\text{real}}) (\text{diagIM}) = \begin{vmatrix} c & s \\ -js & jc \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \gamma_{ii} & jb_{ij} \\ -jb_{ji} & \gamma_{jj} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} c & s \\ -js & jc \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} d_{ii} & 0 \\ 0 & d_{jj} \end{vmatrix}$$

[0172] 方程式 (64);

[0173] 其中 $c, s, r_{ii}, r_{jj}, b_{ij}, b_{ji}, d_{ii}$ 和 d_{jj} 是实数, $b_{ij}=b_{ji}$ 且 $c^2+s^2=1$ 。

[0174] 通过展开左侧并求等相应非对角项, 得到以下方程。

$$[0175] \quad k = 4b_{ij}^2 + (\gamma_{ii} - \gamma_{jj})^2 \text{ 方程式 (65)}$$

$$[0176] \quad x = 0.5 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4b_{ij}^2}{k}} \right) \text{ 方程式 (66)}$$

$$[0177] \quad c = \sqrt{1-x} \text{ 且 } s = \sqrt{x} \text{ 方程式 (67);}$$

$$[0178] \quad y = cs(\gamma_{ii} - \gamma_{jj}) + (1 - 2c^2)b_{ij} \text{ 方程式 (68)}$$

[0179] 若 $y >$ 阈值 (例如 =0.0001), 则

$$[0180] \quad x = 0.5 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4b_{ij}^2}{k}} \right) \text{ 方程式 (69)}$$

$$[0181] \quad c = \sqrt{1-x} \text{ 且 } s = \sqrt{x} \text{ 方程式 (70)}。$$

[0182] 该阈值是某个小机器相依数。

[0183] 然后如下所示结合用于实部三角化及虚部三角化的转换矩阵以计算 U 和 V 矩阵:

$$[0184] \quad A = UD_A V^H \text{ 方程式 (71)}$$

$$[0185] \quad U = \left[(\text{diagIM})^H (\text{diagRM})^H \right]^H \text{ 方程式 (72)}$$

$$[0186] \quad V = (\text{diagRM}) (\text{diagIM}) \text{ 方程式 (73)}$$

[0187] 为了消去 A 的非对角元素 (亦即 (i, j) 及 (j, i) 元素), 将上述程序依某种固定次序以总计 $m=M(M-1)/2$ 个不同指数对施用于 $M \times M$ 矩阵 A, 其中 $M=\min(Nr, Nt)$ 。在每一步骤

后获得一新矩阵 A, 以其计算 $j \neq 1$ 条件下的 $\text{off}(A) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M a_{ij}^2$ 若 $\text{off}(A) \leq \delta$ 其中 δ

是某个小机器相依数字, 则计算停止。否则计算被重复进行。

[0188] 一旦矩阵 A 的 SVD 完成, 在步骤 208 如下所示从 Q 矩阵和 D_A 矩阵计算 H 矩阵的 U 矩阵、V 矩阵和 D_H 矩阵:

[0189] 从方程式 (72) 和 (73), $U=V$ 且 A 矩阵可被写成 $A=QD_A Q^H$ 。当 $Nr \geq Nt$, 由于 Q 等于 V,

在 $H=UD_HV^H$ 且 $D_A=Q^HAQ=Q^HH^HQ=Q^HVD_HU^HVD_HV^HQ=D_HU^HVD_H=D_HD_H$ 条件下, $D_A=D_HD_H$ (亦即 $D_H=\text{sqrt}(D_A)$)。然后如下所示得到 U 、 V 和 D_H 矩阵: $U=HV(D_H)^{-1}$ 其中 $V=Q$ 且 $D_H=\text{sqrt}(D_A)$ 。

[0190] 当 $N_r > N_t$, 由于 Q 等于 V , 在 $H=UD_HV^H$ 且 $D_A=Q^HAQ=Q^HH^HQ=Q^HVD_HU^HVD_HV^HQ=D_HV^HVD_H=D_HD_H$ 条件下, $D_A=D_HD_H$ (亦即 $D_H=\text{sqrt}(D_A)$)。然后如下所示得到 U 、 V 和 D_H 矩阵: $V=H^HU(D_H)^{-1}$ 其中 $U=Q$ 且 $D_H=\text{sqrt}(D_A)$ 。

[0191] 虽然已在较佳实施例中就特定组合说明本发明的特征和元素, 每一特征或元素得被单独使用 (不具备较佳实施例的其它特征和元素) 或是以有或没有本发明其它特征和元素的多样组合使用。

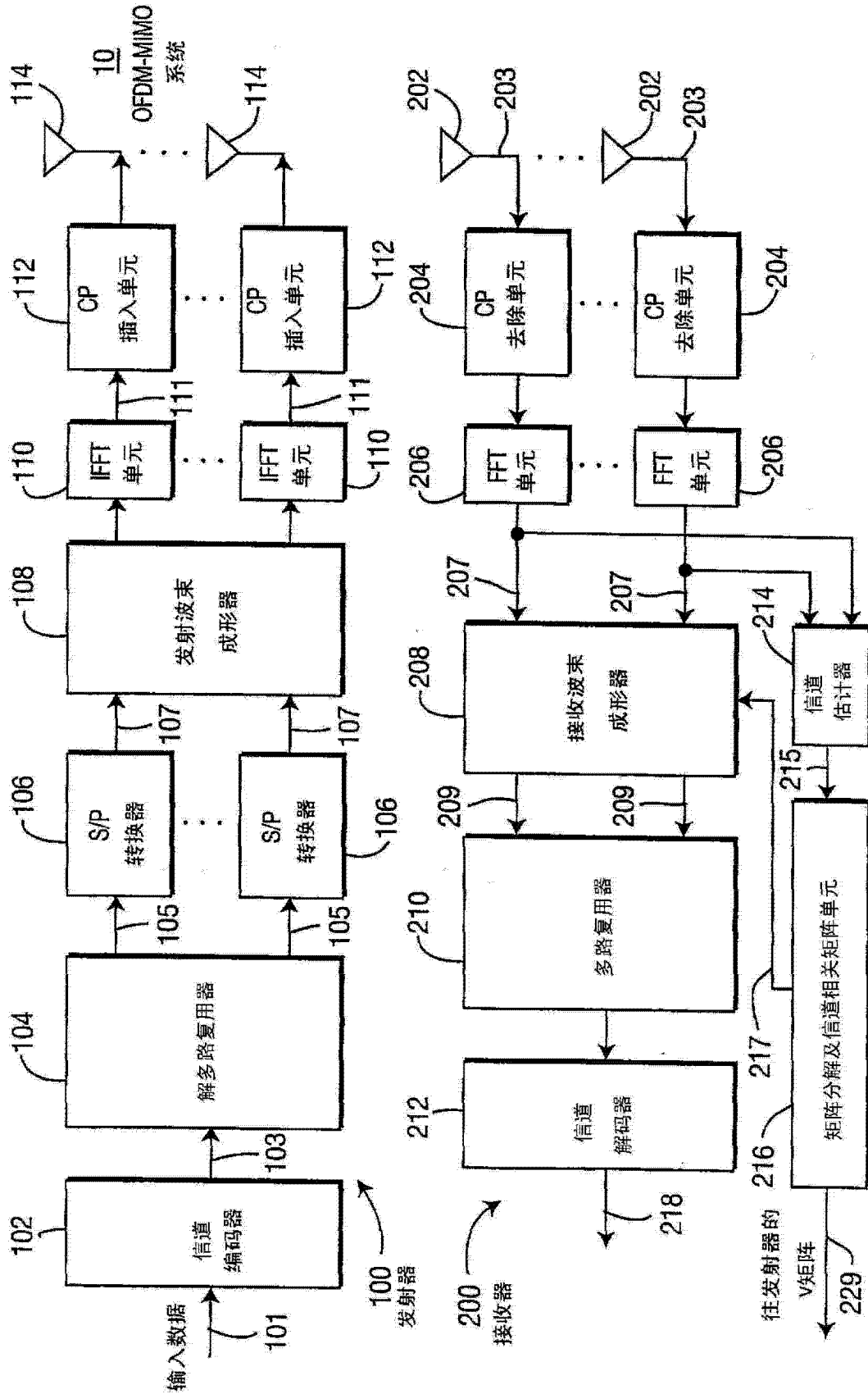


图 1

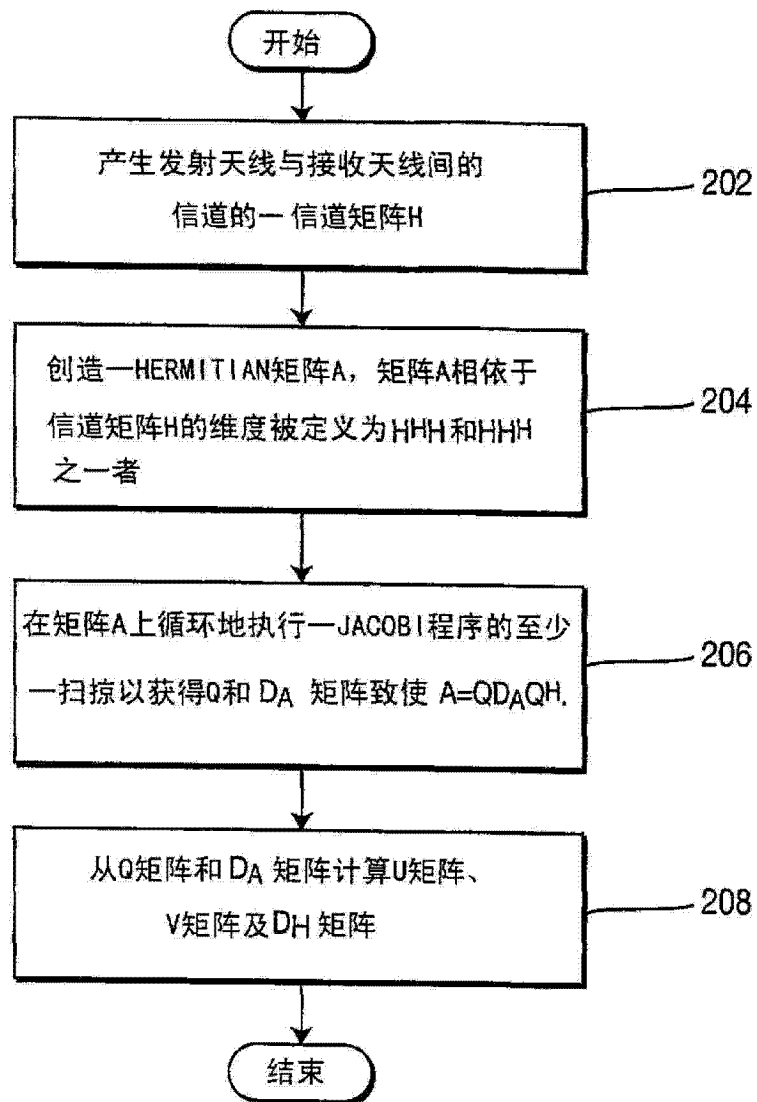


图 2