

[19] Patents Registry  
The Hong Kong Special Administrative Region  
香港特別行政區  
專利註冊處

[11] 1145234 B  
CN 101729216 B

[12]

STANDARD PATENT SPECIFICATION  
標準專利說明書

[21] Application No. 申請編號  
10111366.1

[51] Int.Cl.<sup>8</sup> H04L

[22] Date of filing 提交日期  
07.12.2010

[54] MULTIPLE ANTENNA SPATIAL MULTIPLEXING OPTIMAL DETECTION METHOD AND WIRELESS RECEIVER 多天線空間複用最優探測的方法與無線接收機

[30] Priority 優先權  
30.06.2009 US 12/495,305  
[43] Date of publication of application 申請發表日期  
08.04.2011  
[45] Publication of the grant of the patent 批予專利的發表日期  
11.07.2014  
CN Application No. & Date 中國專利申請編號及日期  
CN 200910207877.7 27.10.2009  
CN Publication No. & Date 中國專利申請發表編號及日期  
CN 101729216 09.06.2010  
Date of Grant in Designated Patent Office 指定專利當局批予專利日期  
13.11.2013

[73] Proprietor 專利所有人  
Hong Kong Applied Science and Technology Research  
Institute Company Limited  
3/F, Building 6  
2 Science Park West Avenue  
Hong Kong Science Park  
Shatin, New Territories  
HONG KONG  
香港應用科技研究院有限公司  
香港  
[72] Inventor 發明人  
Chris Leung 梁靖康  
[74] Agent and / or address for service 代理人及/或送達地址  
Zhipin YE  
3/F, Building 6  
2 Science Park West Avenue  
Hong Kong Science Park  
Shatin, New Territories, Hong Kong



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101729216 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 13

(21) 申请号 200910207877. 7

(22) 申请日 2009. 10. 27

(30) 优先权数据

12/495, 305 2009. 06. 30 US

(73) 专利权人 香港应用科技研究院有限公司

地址 中国香港新界沙田香港科学园科技大道西二号生物资讯中心三楼

(72) 发明人 梁靖康

(74) 专利代理机构 深圳新创友知识产权代理有限公司 44223

代理人 江耀纯

(51) Int. Cl.

H04L 1/06 (2006. 01)

H04L 27/34 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101248431 A, 2008. 08. 20, 全文.

CN 1697433 A, 2005. 11. 16, 全文.

CN 101383797 A, 2009. 03. 11, 全文.

US 2007268813 A1, 2007. 11. 22, 全文.

CN 101047468 A, 2007. 10. 03, 全文.

CN 101174863 A, 2008. 05. 07, 全文.

审查员 彭媛

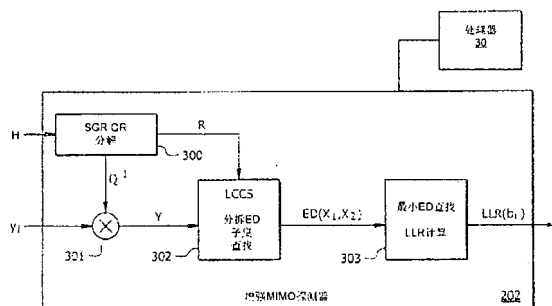
权利要求书4页 说明书11页 附图7页

### (54) 发明名称

多天线空间复用最优探测的方法与无线接收机

### (57) 摘要

本发明的多天线空间复用最优探测能降低找出软比特输出的计算复杂度。探测过程包括QR分解;将距离计算分拆成两组;使用一个最后交叉星座集(LCCS)查找进行子集查找;最小距离查找和软比特输出计算。通过将距离计算分成第一组和第二组,第一组有一个使用普通方形星座图调制方式进行发射的天线,第二组包括所有其它天线星座图,这样可以使用LCCS查找过程,大大降低探测过程里的计算量。此外,在2x2天线的特别例子里,通过应用一个缩放Givens旋转信道矩阵,进行QR分解。应用缩放Givens旋转算子可以消除标准QR分解里进行的任何平方根运算。



1. 一种探测多输入多输出(MIMO)通信的方法,本方法包括:

对应在接收机上接收的一个 MIMO 信号,从多个发射所述接收的 MIMO 信号的天线中选择  
一个天线作为第一组,其中所述选择的一个天线使用一个由普通方形形状的第一星座图  
表示的调制方式进行发射;

指定第二组,其使用表示所述多个天线中的其余天线的一个或多个其他星座图;

估计一组所述接收的 MIMO 信号和一个相应发射符号之间的距离,其中对所述第二组  
里的每个星座点,所述估计包括:

计算所述第二组里的所述每个星座点和所述接收的 MIMO 信号之间的第一部分距离;

所述估计中在计算第一部分距离之前,将一个信道矩阵分解成一个上三角形 R 矩阵和  
一个正交矩阵 Q 的逆矩阵  $Q^{-1}$ ,其中所述分解包括应用一个缩放 Givens 旋转算子到所述信  
道矩阵以建立 R 矩阵和  $Q^{-1}$  矩阵,

基于由所述缩放 Givens 旋转算子旋转所述接收的 MIMO 信号和所述 R 矩阵,

依照以下等式计算一个条件最小距离点 tmpY<sub>1</sub>:

$$\text{tmpY}_1 = (Y_1 - SR_{12}x_2)$$

$Y_1$ ,  $SR_{12}$ ,  $x_2$  为由表示接收的 MIMO 信号的等式(11)中的参数,如下:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (11), \text{其中 SG 为 Givens 旋转算子,其中}$$

$\begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix}$  是 Givens 旋转算子 SG 乘以信道矩阵 H 产生的上三角形矩阵;和

通过在所述第一星座图里选择出最靠近所述计算出的条件最小距离点的多个点中的  
一个点,选择最小欧式距离星座点;

计算所述第二组里的所述每个星座点和所述第一组里的一组选择的星座点里的每个  
星座点之间的第二部分距离,其中所述一组选择的星座点包括所述最小欧式距离星座点和  
m 个其他星座点,这 m 个其他星座点交叉排列在所述星座图里的所述最小欧式距离星座点  
的周围,其中 m 是所述调制方式的调制阶数;

基于所述第一和第二部分距离的相应距离总和,计算距离集合;和

基于所述距离集合,查找两个最小距离,所述最小距离是按照欧氏距离(ED)度量确定  
的最小距离;

从所述两个最小距离计算一个最优的软比特结果。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述接收机被安置在:

一个移动站;或

一个基站。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述 m 个其他星座点是从一个查找表格里选择出  
来的,所述查找表格由所述最小欧式距离星座点索引。

4. 一个无线接收机,包括:

一个主处理器;

存储器,其被连接到所述主处理器;

接收机电路,其被连接到所述主处理器;

一个天线阵,其有多个天线,所述天线阵被连接到所述接收机电路;

在所述接收机电路里的一个多输入多输出 MIMO 探测器,所述 MIMO 探测器将距离计算分成独立两组天线,被设置成:

形成第一组,其包括具有普通方形形状的第一星座图,所述第一星座图表示所述多个天线中的一个天线的调制方式;

形成第二组,其包括一个或多个其他的星座图,表示所述多个天线中的剩余天线的所述调制方式;

对所述第二组里的每个星座点,所述 MIMO 探测器还被设置成:

基于所述第二组里的所述每个星座点,计算第一部分欧式距离  $PED_2$ ;

依照以下等式计算一个条件最小距离点  $tmpY_1$ :

$$tmpY_1 = (Y_1 - SR_{12}x_2)$$

$Y_1$ ,  $SR_{12}$ ,  $x_2$  为由表示接收的 MIMO 信号的等式(11)中的参数,如下:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (11), \text{其中 } SG \text{ 为 Givens 旋转算子,其中}$$

$\begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix}$  是 Givens 旋转算子 SG 乘以信道矩阵 H 产生的上三角形矩阵;和通过在所述第一星座图里多个点中选择最靠近所述计算出的条件最小距离点的一个点,选择出最小欧式距离星座点;

从存储在存储器里的一个查找表格导出 m 个额外点,所述 m 个额外点是根据所述最小欧式距离星座点进行索引的,其中所述 m 个额外点交叉围住所述最小欧式距离星座点,并且 m 是所述第一组多个天线中的所述一个天线的调制阶数;

对所述第二组的所述每个星座点,和所述最小欧式距离星座点以及每个所述 m 个额外点之间,计算第二部分欧式距离  $PED_1$ ;和

将所述第一部分欧式距离  $PED_2$  和所述第二部分欧式距离  $PED_1$  汇总成一个距离;和基于所述距离确定软比特输出。

5. 根据权利要求 4 所述的无线接收机,其中所述无线接收机是一个 2x2 的接收机-发射机方式,所述 MIMO 探测器还包括:

一个分解部分,其被设置成应用一个缩放 Givens 算子到一个信道矩阵,该信道矩阵表示一个信道,在该信道上接收的 MIMO 信号由所述天线阵接收,其中应用所述缩放 Givens 旋转算子将产生一个上三角形 R 矩阵和所述信道矩阵的一个正交矩阵 Q 的逆正交矩阵  $Q^{-1}$ 。

6. 根据权利要求 4 所述的无线接收机,其中所述 MIMO 探测器还被设置成:

基于所述距离查找出两个最小欧式距离,其中所述两个最小欧式距离中的一个最小欧式距离表示当  $b_1=1$  时的值,而所述两个最小欧式距离中的另一个表示当  $b_1=0$  时的值;和

基于所述两个最小欧式距离计算一个最小似然比 LLR,其中 LLR 包括所述软比特输出。

7. 根据权利要求 4 所述的无线接收机,其中所述 MIMO 探测器还被设置成:

探测出发射接收的 MIMO 信号的所述多个天线的调制方式。

8. 根据权利要求 4 所述的无线接收机,其中所述无线接收机提供接收功能给以下:一个移动单元;和

一个基站。

9. 根据权利要求 4 所述的无线接收机,还包括:

一个或多个附加处理器,其被连接到所述主处理器,其中所述主处理器使用所述一个或多个附加处理器补充控制所述 MIMO 探测器。

10. 根据权利要求 9 所述的无线接收机,其中所述一个或多个附加处理器包括以下一个:

数字信号处理器(DSP);或

现场可编程门阵列(FPGA)。

11. 一个在 2x2 空间复用 MIMO 无线网络里探测多输入多输出(MIMO)信号的方法,所述方法包括:

在接收机上接收一个 MIMO 信号;

通过利用一个缩放 Givens 旋转算子以分解一个信道矩阵,插入多个 0 到所述信道矩阵内;

将两个发射天线分拆成两组,其中第一组包括一个普通方形的星座图,其表示所述两个发射天线中的第一发射天线,而第二组包括另一个星座图,其表示所述两个发射天线中的另一个发射天线;

将所述接收的 MIMO 信号与所述分解的信道矩阵混合;

在混合后的接收的 MIMO 信号和所述第一和第二组的多个星座点之间,估计一组距离,其中对所述第二组里的每个星座点,所述估计包括:

在所述第二组里的所述每个星座点和所述混合后的接收的 MIMO 信号之间,计算第一部分距离;

基于所述分解的信道矩阵和所述缩放 Givens 旋转算子旋转的所述接收的 MIMO 信号,依照以下等式计算一个条件最小距离点 tmpY<sub>1</sub>:

$$\text{tmpY}_1 = (Y_1 - SR_{12}x_2)$$

Y<sub>1</sub>, SR<sub>12</sub>, x<sub>2</sub> 为由表示接收的 MIMO 信号的等式(11)中的参数,如下:

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (11), \text{其中 SG 为 Givens 旋转算子,其中}$$

$\begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix}$  是 Givens 旋转算子 SG 乘以信道矩阵 H 产生的上三角形矩阵;和

通过在所述第一组的所述普通方形星座图里多个点中选择最靠近所述计算的条件最小距离点的一个点,选择出所述最小欧式距离星座点;

在所述第二组里的所述每个星座点和所述第一组里的一组选择的星座点中的每个星座点之间,计算第二部分距离,其中所述一组选择的星座点包括所述最小欧式距离星座点和交叉排列在最小欧式距离星座点周围的 m 个其他星座点,其中 m 是所述第一发射天线使用的调制方式的调制阶数;和

基于所述第一和第二部分距离中的相应距离的总和,计算距离集合;

基于所述距离集合,查找两个最小欧式距离,由所述两个最小欧式距离计算出一个最优的软比特结果。

12. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述 m 个其他星座点是使用所述最小欧式距离

星座点从一个查找表格里选择。

13. 根据权利要求 11 所述的方法,还包括:

对于在所述第二组里的每个星座点,根据所述距离集合查找出两个最小欧式距离,其中所述两个最小欧式距离中的一个最小欧式距离表示当  $b_i=1$  时的值,另一个表示当  $b_i=0$  时的值。

14. 根据权利要求 11 所述的方法,其中所述接收机被配置在:

一个移动站;或

一个基站。

## 多天线空间复用最优探测的方法与无线接收机

### 技术领域

[0001] 本发明通常涉及无线通信,特别涉及多输入多输出(MIMO)系统里软比特(soft bit)输出的多天线空间复用最优探测(MASMOD)。

### [0002] 发明背景

[0003] 随着无线通信的发展,对增加带宽和增加功能的需求也日益强烈。随着每一代无线系统,其速度、带宽和可靠性都会有增强。其中一种受欢迎的能够提高无线系统整体性能的技术就是使用多天线。多输入多输出(MIMO)系统提供多个天线给每个发射机和接收机。例如,接收机有两个或多个接收天线,而发射机有两个或多个发射天线。这种 MIMO 系统应用在各种数字通信模块方案中,如正交频分多址(OFDMA)、码分多址(CDMA)等。此外,这种系统为新一代无线局域网如 Wi-Fi 技术、和宽带无线接入系统如全球微波互联接入(WiMAX)技术、以及由第三代合作伙伴计划(3GPP)定义的长期演进技术(LTE)提供了基础。

[0004] 一个用于 MIMO 系统的最普遍和最有希望的传输机制是空间复用(spatial multiplexing)。空间复用是一种传输技术,其能够独立和单独地从每个发射天线发射编码数据信号,称为“信号流”。所以,传输信道空间被重复使用或多路复用。空间复用的最大阶数受限于发射或接收天线的最小数目。因此,当有三个接收天线和四个发射天线连接时,空间复用的阶数为 3,反过来,当有四个接收天线和三个发射天线连接时,空间复用的阶数也是 3。这种复用阶数(multiplexing order)是指信号流可以并行传输的倍数等于复用阶数,从而极大地提高频谱效率(即每秒可以在无线信道上传输的比特数,赫兹(Hz))。

[0005] 图 1 是使用空间复用的典型 MIMO 无线系统 10 的模块示意图。发射机 100 包括处理模块 101,其将输入  $I_n$  处理成比特  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ,以便传输到接收机 102。正交调制器  $\text{mod}_1, \text{mod}_2, \dots, \text{mod}_n$  将比特  $b_1, b_2, \dots, b_n$  调制成调制符号  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,通过天线  $a_{t1}, a_{t2}, \dots, a_{tn}$  组成的发射天线阵发射出去。正交调制器  $\text{mod}_1, \text{mod}_2, \dots, \text{mod}_n$  进行符号调制,使每个星座点的同相/正交(I/Q)部分与两个相位差为 90 度的载波信号进行调制。正交调制方案的例子有正交幅度调制(QAM)、正交相移键控(QPSK)、正交幅移键控(QASK)等。

[0006] 由于调制符号  $x_i$  是通过天线  $a_{ti}$  进行发射,接收天线阵的每个天线  $a_{r1}, a_{r2}, \dots, a_{rn}$  通过天线之间的特别信道接收到接收信号  $y_i$ 。特别信道被表示为信道矩阵  $h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1n}$ ,其中信道矩阵  $h_{ij}$  是指发射机天线  $a_{tj}$  和接收机天线  $a_{ri}$  之间的信道响应。接收信号  $y_1, y_2, \dots, y_n$  由数学关系式表达如下:

$$[0007] \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1n} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

[0008] 其中  $n_1, n_2, \dots, n_n$  是由接收机天线阵的天线  $a_{r1}, a_{r2}, \dots, a_{rn}$  附加的加性高斯白噪声(AWGN)值。

[0009] 在接收机 102,在一些类型的接收机,从接收信号  $y_1, y_2, \dots, y_n$  中取回发射比特  $b_1, b_2, \dots, b_n$  的第一步就是通过 MIMO 探测单元 103 获得软比特输出。MIMO 探测产生

软比特输出,即该比特的对数似然比(LLR)。因此,MIMO探测单元103产生软比特输出 $LLR(b_1), LLR(b_2), \dots, LLR(b_n)$ 。LLR软比特输出的产生能够提供最优探测结果用于接收机102的下一个解码阶段。解码器104进行解码,并在软比特输出上执行前向纠错(FEC)以取回比特 $b_1, b_2, \dots, b_n$ ,其后,循环冗余校验(CRC)105执行误差校验,然后,在处理阶段106上产生输出0。但是,这是在MIMO探测单元103上的MIMO探测过程,其通常会给任何MIMO系统带来极大的复杂度。

[0010] 目前,有一些方法被用来在空间复用MIMO系统里执行MIMO探测。在MIMO系统里解码或探测符号的接收机可以被看作是最优的或次优的。一个最优接收机能够保证探测到两个距离变量用来计算软比特输出,即比特的LLR。任何给定比特 $b_i$ 的软比特输出由以下等式确定:

$$[0011] \quad LLR(b_i) = \max_x (\log(\text{Prob}(y|x, b_i = 0))) - \max_x (\log(\text{Prob}(y|x, b_i = 1))) \quad (2)$$

[0012] 其中 $x$ 是一个尺寸等于发射天线数目的矢量, $y$ 是一个尺寸等于接收天线数目的矢量。如等式(2)所示,两个项,每一项找出一个具有固定值 $b_i$ 的 $x$ 的所有可能组合的最大值,被用来准确地计算软比特输出。其中一项是计算当 $b_i=0$ 时,而另一项是计算当 $b_i=1$ 时。两个最大值项通常是使用 $y$ 和 $Hx$ 之间的两个最小距离值来计算的,其中 $y$ 是接收信号, $H$ 是信道矩阵,而 $x$ 是发射信号,其由一个星座点表示。而次优接收机,至多保证仅能够探测或确定两个所需距离变量中的一个距离变量。这些次优技术通常根据确定的第一距离来估计和计算第二距离。一个最优接收机通常检查发射时使用的调制方案的每个星座集合里的所有可能的符号组合。通过检查所有这些可能的组合,能够保证得到两个最小距离变量,并使用这两个变量,可以导出最优软比特输出。但是,如上所述,检查如此大量的可能组合,特别是在高阶数的调制率里,这增加了接收机的计算复杂度。一个最优接收机的例子是接收机使用最大对数似然比(MLLR)方法执行MIMO探测。MLLR检查所有可能的接收符号组合,正如所料,最优解决方案的代价是高计算复杂度。

[0013] 许多现有的探测技术考虑到实际应用都是次优的,因为它们并不能保证探测到两个所需的距离变量,从而不能每次产生一个最优方案。在这许多现有的探测技术之间的差异仅仅是如何进行次优探测过程。如果平均起来可靠性水平能够提供足够准确的结果来满足无线通信质量标准,那么这些次优接收机可以用于各种无线网络。例如,通过检查一个可变数量的符号组合(其仅保证两个所需距离变量中的一个距离变量),一个使用列举球面解码器(LSD)方法的接收机产生一个次优结果。而第二所需变量,只能根据一个概率来选择,这意味着并不能保证找到,只有一定概率能找到,或可以基于确定的第一距离使用一个或多个估计算法进行估计。在任何一个方法里,都不能保证第二距离变量。结果减少所需检查的组合将极大地简化计算要求,但这是以探测质量为代价。但是,如上所述,LSD技术检查一个可变数量的符号组合。在同样的探测质量要求下,SNR越差(越低),LSD需要检查的组合越多。最差的情况,LSD要检查所有的 $x$ 组合,如在MLLR过程里一样。检查的组合数目同样受特别的QR分解和树解析/裁剪算法(tree parsing/pruning algorithms)如何适合时变信道特征影响。

[0014] 在LSD探测方法里的计算复杂度的另一个方面是使用树结构来表示星座信号。LSD在树结构里表示星座点以充分利用已知树搜索算法来计算距离度量。但是,仅用来解析这些树结构的过程就势给接收机增添了大量额外的复杂度。

[0015] 处于最优 MLLR 和次优 LSD 之间的是 Sequans Communications 的美国专利申请 2007/0268813 ('813 申请) 里描述的次优 MIMO 探测过程, 在此通过引用结合到本发明。在 '813 申请里描述的过程是次优的, 因为其不检查所有可能的组合。它没有 MLLR 的所有计算复杂度, 但它能够根据 MLLR 产生一个最优结果。但是, 为了减少计算复杂度, '813 申请的所述过程无可否认地牺牲了一些最优性。

#### [0016] 发明概述

[0017] 本发明的实施例涉及探测 MIMO 通信的方法。本方法包括: 对应在接收机上接收到的一个 MIMO 信号, 从发射该接收 MIMO 信号的多个天线中选择一个天线作为第一组, 其中选择的该天线使用一个普通方形形状的第一星座图表示的调制方式进行发射。本方法也包括: 指定第二组包括一个或多个表示剩余天线的其他星座图, 并在接收 MIMO 信号和相应发射符号之间估计一组距离。该估计包括: 对第二组里的每个星座点计算第二组里的每个星座点和接收 MIMO 信号之间的第一部分距离, 并计算第二组里的每个星座点和第一组里一组选择星座点的每个点之间的第二部分距离。该组选择的星座点包括一个最小距离星座点和  $m$  个额外星座点, 这  $m$  个额外星座点交叉排列围住星座图里的最小距离点, 其中  $m$  是调制方式的调制阶数。该方法也包括: 基于第一和第二部分距离里的相应距离的总和来计算距离集合, 并基于距离集合查找出两个最小距离。

[0018] 其他代表性的实施例涉及无线接收机, 其包括一个主处理器、连接到主处理器的存储器、连接到主处理器的接收机电路、有多个天线的天线阵, 该天线阵连接到接收机电路, 还有一个在接收机电路里的一个 MIMO 探测器。MIMO 探测器被设置以形成第一组, 其包括普通方形形状的第一星座图。该第一星座组表示多个天线中的一个天线的调制方式。MIMO 探测器也被设置以形成第二组, 其包括表示剩余天线调制方式的一个或多个其他星座图。对第二组里的每个星座点, MIMO 探测器还被设置成: 基于第二组里的每个星座点计算第一部分欧式距离 ( $PED_2$ ), 在第一组里选择一个最小距离点, 从存储在存储器里的一个查找表格找出  $m$  个额外点, 其中  $m$  是第一组天线的调制阶数, 计算在第二组里的每个星座点和每个最小距离点以及  $m$  个额外点之间的第二部分欧式距离 ( $PED_1$ ), 并将  $PED_2$  和  $PED_1$  汇总成一个距离。这  $m$  个额外点是根据最小距离点进行索引的, 并交叉围住最小距离点。接着, MIMO 探测器被设置以基于该距离确定软比特输出。

[0019] 本发明的另一个代表性实施例涉及在一个  $2 \times 2$  空间复用 MIMO 无线网络里探测 MIMO 信号的方法。本方法包括: 在接收机上接收一个 MIMO 信号, 利用一个缩放 Givens 算子分解一个信道矩阵, 插入多个 0 到该信道矩阵内, 将两个发射天线分拆成两组, 其中第一组包括一个普通方形形状的星座图, 其表示两个天线中的第一发射天线, 而第二组包括另一个星座图, 其表示其它的发射天线。本发明还包括: 将接收 MIMO 信号和分解的信道矩阵混合, 在分解的接收 MIMO 信号和第一和第二组的多个星座点之间估计一组距离, 并基于第一和第二部分距离中的相应距离的总和计算距离集合。该估计包括: 对第二组里的每个星座点, 计算在第二阻力的每个星座点和分解的接收 MIMO 信号之间的第一部分距离, 并计算在第二组里的每个星座点和第一组里的一组选择的星座点中的每个星座点之间的第二部分距离。该组选择的星座点包括一个最小距离点和  $m$  个额外星座点, 其中  $m$  是第一发射天线使用的调制方式的调制阶数。

[0020] 前述已经相当广泛地阐述了本发明的特征和技术优势, 以便能够更好地理解以下

的发明详述。本发明的额外特征和优势将在其后描述,其构成权利要求的一部分。本领域技术人员应该理解,披露的概念和具体实施例可以被容易利用作为一个基础,用来修改或涉及其它结构以执行本发明相同目的。本领域技术人员还应该认识到,这种等同的构造没有脱离在附加权利要求里所阐述的本发明精神和范围。在此被看作技术特性的新颖性特征,与其组织和运行方法一样,连同其它目的和优势将通过以下结合附图的描述被更好地理解。但是,应该深刻地认识到,提供的每个特征仅是用作描述用途,并不是意在作为限制本发明的定义。

#### 附图说明

- [0021] 为了更完整地理解本发明,现结合附图参照以下的描述,其中:
- [0022] 图 1 是一个使用空间复用的典型 MIMO 无线系统的模块示意图;
- [0023] 图 2 是本发明一个实施例的一个空间复用 MIMO 无线系统的模块示意图;
- [0024] 图 3 是本发明一个实施例的一个增强 MIMO 探测器详细的模块示意图;
- [0025] 图 4A 是本发明一个实施例的 MIMO 探测期间在一个 LCCS 过程里使用的 16-QAM 星座图;
- [0026] 图 4B 是实施与图 4A 所述星座图有关的 MIMO 探测过程的示范步骤流程图;
- [0027] 图 5 是本发明一个实施例的一个增强 MIMO 探测器详细的模块示意图;
- [0028] 图 6 是本发明一个实施例的一个移动设备的模块示意图;
- [0029] 图 7 是本发明一个实施例的一个基站的模块示意图;
- [0030] 图 8 是本发明一个实施例的一个 MIMO OFDMA 无线网络的模块示意图;和
- [0031] 图 9 是本发明一个实施例的一个 2x2MIMO 系统运行的示范步骤流程图。
- [0032] 发明详述

[0033] 图 2 是依照本发明一个实施例的空间复用 MIMO 无线系统 20 的模块示意图。发射机 200 和接收机 201 各被设置有一个天线阵,每个天线阵由两个天线组成,发射机 200 有两个天线  $a_{t1}$  和  $a_{t2}$ ,接收机 201 有两个天线  $a_{r1}$  和  $a_{r2}$ 。发射机 200 的天线阵和发射性能,分开为两个独立装置,发射机 200-1 和发射机 200-2,其中天线  $a_{t1}$  位于发射机 200-1 上,而天线  $a_{t2}$  位于发射机 200-2 上。这个 2x2 天线阵构造提供了一个特别例子 MIMO 设置,运行所述 MASMOD 实施例,即一个双天线空间复用最优探测(DASMOD)系统。2x2 构造的发射机 200 和接收机 201 的运行类似于图 1 发射机 100 和接收机 102 的运行方式,除了天线数目不同之外。数据比特  $b_1$  和  $b_2$ ,在调制器  $mod_1$  和  $mod_2$  上被调制,产生调制符号  $x_1$  和  $x_2$ 。 $mod_1$  和  $mod_2$  中的至少一个被设置以使用正交调制方式,其有一个通常看上去是正方形的星座示意图。这个正方形星座调制方式的例子是 QAM,一些低阶 QPSK 方式等。然后,调制符号  $x_1$  和  $x_2$  通过天线  $a_{t1}$  和  $a_{t2}$  在频道上传输。接收机 201 接收到传输信号,作为接收信号  $y_1$  和  $y_2$ 。增强 MIMO 探测器 202 将接收信号  $y_1$  和  $y_2$  处理成软比特输出 LLR( $b_1$ ) 和 LLR( $b_2$ ),以便最终能够将传输符号解码。增强 MIMO 探测器 202 采用的 MIMO 探测方法检查一个固定数目的可能组合,并产生一个和 MLLR 方法所获结果不分上下的最优结果,但没有检查所有可能组合或解析大树结构的计算复杂度。

[0034] 图 3 是依照本发明一个实施例的增强 MIMO 探测器 202 的详细模块示意图。增强 MIMO 探测器 202,其在接收机 201 (图 2)的处理器 30 的控制下运行,首先处理接收信号  $y_1$ ,

进行信道矩阵  $H$  的 QR 分解。信道矩阵是一个模拟信道(调制符号在其上传输)的表达式。它代表发射机天线阵和接收机天线阵之间的信道增益。信道矩阵的 QR 分解通常产生一个单位正交矩阵  $Q$  (unitary orthogonal matrix), 和一个上三角矩阵  $R$ , 使得信道矩阵可以依照以下等式设定:

$$[0035] \quad H=Q \cdot R \quad (3)$$

[0036] 在许多现有的次优 MIMO 探测技术里, QR 分解变得非常复杂, 因为在高带宽的移动系统里, 如 WiMAX, 信道矩阵  $H$  的变化率几乎与接收信号  $y_i$  的变化率相同。另外, 这种等式的分解通常涉及平方根算子, 其比较复杂且耗时处理。LSD 方法和在'813 申请里描述方法的某些实施例处理这些平方根运算, 在其 MIMO 探测过程里对  $H$  矩阵进行 QR 分解, 因此, 需要较高的计算复杂度。

[0037] 在增强 MIMO 探测器 202 的所述过程里, 不执行典型的 QR 分解, 增强 MIMO 探测器 202 在信道矩阵  $H$  上执行一个缩放吉文斯旋转(Givens rotation), 产生上三角形矩阵  $R$ 。Givens 旋转通常用于数值线性代数里以产生零向量或矩阵。但是, 标准的 Givens 旋转也要处理平方根和除法算子。相反, 一个缩放 Givens 旋转将向量或矩阵里的元素置零, 但不需要平方根和除法算子。所以, 运用缩放 Givens 旋转算子(SG)到信道矩阵  $H$  将产生上三角形矩阵  $SR$ , 但没有标准 Givens 旋转或标准 QR 分解过程的计算复杂度。而且,  $SG$  乘以  $H$  会产生一个上三角形矩阵  $SR$ , 在  $SR$  里只有一个元素( $SR_{11}$ )是实数, 如等式(9)和(10)所述。这可以根据以下公式显示, 由接收信号  $y_i$  的基本等式开始:

$$[0038] \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

[0039] 考虑到:

$$[0040] \quad SG = \begin{pmatrix} \overline{h_{11}} & \overline{h_{21}} \\ -h_{21} & h_{11} \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0041] 在两边乘以缩放 Givens 旋转算子  $SG$ , 得到:

$$[0042] \quad SG \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = SG \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

[0043] 考虑到:

$$[0044] \quad Y_i = SG \cdot y_i; \text{和} \quad (7)$$

$$[0045] \quad SR = SG \cdot H \quad (8)$$

[0046] 让

$$[0047] \quad \begin{pmatrix} SR_{12} \\ SR_{22} \end{pmatrix} = SG \begin{pmatrix} h_{12} \\ h_{22} \end{pmatrix} \quad (9)$$

[0048] 和

$$[0049] \quad SR_{11} = |h_{11}|^2 + |h_{21}|^2 \quad (10)$$

[0050] 使用等式(7)、(9)和(10)里建立的关系重写等式(6), 得到:

$$[0051] \quad \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

[0052] 如上所述,  $SR_{11}$  是一个实数, 其使结果缩放变得更加简单, 如等式(17)所示。

[0053] 对任何信息比特  $b_i$ , 需要确定所有接收机天线 ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) 的接收信号和所有发射机天线 ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) 的发射调制符号之间的距离。这个“确定”通常是使用一些距离度量, 如欧氏距离 (ED)、曼哈顿距离 (MD)、车贝雪夫距离 (CD)、MD-CD 等。距离度量的计算通常是找出或估计接收信号  $y_i$  和发射调制符号  $x_i$  之间的距离或误差量或噪声量, 对特别的调制方式, 其本身是使用星座点  $s_i$  进行估计。在确定 ED 之后,  $ED^2$  被用于找到正确点的概率计算, 使得找到一个最小 ED 等同于最大可能地找到  $X$ 。

[0054] 应该注意到, ED 可能是用于 MIMO 探测计算的最常见的距离度量。但是, 虽然 ED 确定通常导致较准确的结果, 但应该注意到, 在此所述的本发明实施例不受限于仅使用 ED。另外和 / 或其它实施例可以通过 MD、CD、MD-CD 度量 / 计算等, 来确定距离。

[0055] 不同于 MLLR 探测方法, MLLR 对所有符号组合直接计算 ED, 以极大的计算复杂度为代价, 增强 MIMO 探测器 202 采用的方法将距离计算分成独立两组天线, 对其中一个部分组, 使用一个最后交叉星座集 (LCCS, last cross constellation set) 查找, 进行部分 ED 计算 (partial ED calculation)。分开 ED 子集查找使得该方法更容易适应于 (be scaled to) 较多数量的天线。而且, 通过将天线组分成第一组的有方形形状的调制星座的天线和第二组的其余天线, 可以从之前单输入单输出 (SISO) 系统里的可行技术, 导出一些有用的计算。

[0056] 为了直接解出 MLLR 探测方法里的 ED, 对每个期望的星座点组合, 解出以下等式:

$$[0057] \quad ED = \left\| \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \right\|^2 = \left\| \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \right\|^2 \quad (12)$$

[0058] 在一个  $2 \times 2$  16-QAM 的通信链接里, 每个星座有 16 个星座点, 其需要求解上述等式 256 次 (即  $16 \times 16$ )。在一个具有 64 个星座点的 64-QAM  $2 \times 2$  链接里, 通过 MLLR 方法, 等式 (12) 将被求解 4096 次 (即  $64 \times 64$ )。但是, 当 ED 计算被分拆到两个天线组里时, 其中至少一个天线产生一个通常是正方形的调制星座集合, 如在 QAM 调制里, 使用一种 SISO 子集查找技术, 在计算部分 ED 时可以节省计算。

[0059] 运行时, 选择一个天线作为第一组  $C_{last}$ 。通常, 最好是选择具有最高调制阶数的天线。具有最高调制阶数的天线  $a_{last}$ , 通常有最多的星座点, 因此, 在 MIMO 探测方法诸如 MLLR 里, 就要考虑最大数目的点组合。 $a_{last}$  也将使用一个有方形星座集的调制方式, 如 QAM 的星座集。所有其它天线, 无论它们是否以 QAM、QPSK 等传输, 都被放在组  $C_{rest}$  里。在一个  $2 \times 2$  结构里,  $C_{rest}$  仅由一个天线组成, 但对其他的有超过两个天线的结构,  $C_{rest}$  将包括除了  $a_{last}$  的所有天线。

[0060] 返回到图 3, SGR QR 分解模块 300 将缩放 Givens 旋转算子 SG 乘以信道矩阵  $H$  而产生一个上三角形矩阵  $SR$ 。它也产生正交矩阵  $Q^{-1}$ , 即正交矩阵  $Q$  的逆, 通常在 QR 分解期间产生。考虑在等式 (3) 和 (8) 中定义的  $H$ 、 $Q$ 、 $SR$  和  $SG$  之间的关系,  $Q^{-1}$  实际上等于  $SG$ , 即缩放 Givens 旋转算子。所以, 接收信号  $y_i$  在乘法器 301 上与  $SG$  混合, 即来自 SGR QR 分解模块 300 的正交矩阵  $Q^{-1}$ 。这个乘法是遵循等式 (7) 的关系以产生  $Y_i$ 。基于这些关系, 接收信号现在由等式 (11) 表示, 如下:

$$[0061] \quad \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SR_{11} & SR_{12} \\ 0 & SR_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + SG \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

[0062] 为了开始确定部分 ED, 等式 (11) 的第二行重写为:

$$[0063] \quad Y_2 - SR_{22}x_2 = SG_{21}n_1 + SG_{22}n_2 \quad (13)$$

[0064] 将等式(13)两边取绝对平方值,并让结果右侧作为第一部分 ED ( $PED_2$ ),  $PED_2$  将依照以下等式被计算出来:

$$[0065] \quad PED_2 = |Y_2 - SR_{22}x_2|^2 \quad (14)$$

[0066] 如等式(14)所示,  $PED_2$  仅依赖于  $x_2$ 。

[0067] 继续计算第二部分 ED ( $PED_1$ ), 类似地, 等式(11)的第一行重写为:

$$[0068] \quad Y_1 - SR_{11}x_1 - SR_{12}x_2 = SG_{11}*n_1 + SG_{12}*n_2 \quad (15)$$

[0069] 再次对等式(15)两边取绝对平方值,并让等式右侧作为  $PED_1$ ,  $PED_1$  依照以下等式被计算出来:

$$[0070] \quad PED_1 = |(Y_1 - SR_{12}x_2) - SR_{11}x_1|^2 \quad (16)$$

[0071] 其中  $x_2$  是  $C_{-rest}$  的星座图内的星座点。如等式(16)所示,  $PED_1$  依赖于  $x_1$  和  $x_2$ , 但是, 为了找出有关  $x_2 = s_2$  时的所有  $PED_1$ ,  $PED_1$  就只依赖于  $x_1$ 。然后, 合并距离 ED 就等于  $PED_2$  和  $PED_1$  之和除以  $SR_{11}$ :

$$[0072] \quad ED = (PED_1 + PED_2) / SR_{11} \quad (17)$$

[0073]  $PED_1$  和  $PED_2$  之和除以  $SR_{11}$ , 是因为在 SGR QR 分解 300 上产生的  $Q^{-1}$  矩阵是正交矩阵, 而不是单位矩阵。但是, 实际上, 当以下接收机阶段如 FEC 阶段是线性的, 并且  $SR_{11}$  是不变的, 如果  $SR_{11}$  几乎是恒定的, 那么可以不需要除以  $SR_{11}$ 。

[0074] 当计算 ED 的最优结果时, 在  $C_{-rest}$  星座里的每个星座点组合将被用于计算部分距离  $PED_2$ , 与  $C_{-last}$  里点无关, 如公式(14)所示。但是, 在计算  $PED_1$  时, 就没必要计算  $C_{-last}$  的所有星座点, 因为其通常是方形的几何形状。因为这种方形几何图形, 只要对一个条件最小距离中心点周围的限定的星座点进行计算, 就能保证 LCCS 方法找到必然满足等式(2)的两个最小距离计算。有了两个保证的最小 ED 度量, 就可以导出一个最优最大 LLR(M-LLR) 结果。

[0075] 请注意, 一个类似的方法, 交叉星座集(CCS)查找, 之前已经用于 SISO 系统。但是, 由于 MIMO 系统里有多个天线, 直到披露了本发明其才能实际应用到 MIMO 系统里。因为分拆 ED 计算允许  $C_{-last}$  组仅考虑一个天线的星座对应  $C_{-rest}$  组的每个星座点, SISO 技术可以适用到一个 MIMO 应用里。

[0076] 图 4A 是依照本发明一个实施例的用于 16-QAM x 16-QAM MIMO 探测过程里的 16-QAM 星座图 400 和 402。图 4B 是描述实施有关图 4A 里星座图 400 和 401 的 MIMO 探测过程的示例步骤流程图。在步骤 409, 接收机分配有方形星座图的发射天线  $a_{t1}$  到第一组  $C_{-last}$ 。在步骤 410, 其余的发射天线  $a_{t2}$  被接收机分配到第二组  $C_{-rest}$ 。星座图 400 表示  $a_{t2}$  的星座, 而星座图 401 表示  $a_{t1}$  的星座。在步骤 411, 从星座图 400 选择出星座点  $s_2$ 。在步骤 412, 依照等式(14)计算  $PED_2(s_2)$ 。在步骤 413, 依照以下等式计算一个条件最小距离点 tmpY<sub>1</sub>:

$$[0077] \quad tmpY_1 = (Y_1 - SR_{12}x_2) \quad (18)$$

[0078] 在步骤 414, 在星座图 401 里选择一个接近 tmpY<sub>1</sub> 的点  $P_m$  404。一旦选择了  $P_m$  404, 接着在步骤 415, 通过查找一个查找表格里的子集, 确定星座图 401 里的相关点的子集  $P_{tm}(b_{1i})$ 。由于星座图 401 里有有限数目的星座点, 并且由于星座图 401 是一个普通方形形状, 可以提前产生一个相关点的查找表格, 这可以提高进行 MIMO 探测过程的速度和效率。

[0079] 在步骤 416, 从点子集和  $P_m$  404 选择一个点。在步骤 417, 依照以下等式计算  $PED_1(x_1|x_2)$ :

[0080]  $PED_1(x_1|x_2) = |tmpY_1 - SR_{11}x_1|^2$  (19)

[0081] 对任何固定的  $x_2$ , 如以上有关等式(16)所示,  $PED_1$  计算仅取决于  $x_1$ 。所以, 对一个固定的  $x_2$ , 相应的  $PED_1$  计算可以使用同一  $tmpY_1$ , 这有助于简化  $PED_1$  计算。此外, 如上所示, 数值  $SR_{11}$  是一个实数, 这也有助于简化  $PED_1$  计算。在计算  $PED_1$  之后, 在步骤 418, 依照等式(17), 将  $PED_2$  和  $PED_1$  的结果加总, 是否将加总除以  $SR_{11}$  取决于下一阶段的线性关系和  $SR_{11}$  的变化率, 来计算整个 ED。在步骤 419, 确定在点子集或  $P_m$  是否还有剩下其他点以选择。如果有点剩下, 重复从步骤 416 开始的过程。如果没有点剩下, 则在步骤 420 确定在第二组里是否还有任何其他点需要考虑。如果有, 则再次重复从步骤 411 开始的过程。否则, 过程在步骤 421 终止。接着, 对  $b_i=1$  和  $b_i=0$  计算最小 ED 距离, 以便能够最优地计算软比特输出。

[0082] 应该注意到, 依照本发明特别实施例的移动通信系统, 所需点的查找表格可以通过各种方法提前产生。例如, 考虑图 4A 里的元素个数, 对  $P_m$  404 的每个比特  $b_{1i}$ , 选择星座图 401 的点, 使得点  $P_{m'}(b_{1i})$  的比特  $b_{1i}$  不等于  $P_m$  404 的对应比特。例如,  $P_m$  404 的比特是  $b_{13}, b_{12}, b_{11}, b_{10}=1010$ 。所以, 点  $P_{m'}(b_{1i})$  的至少一个比特  $b_{1i}$  与  $P_m$  的不匹配(如  $P_{m'}(b_{1i})$  的至少一个比特  $b_{1i}$  是  $b_{13}=0, b_{12}=1, b_{11}=0$ , 和  $b_{10}=1$ )。如图 4A 所示, 条件最小距离点  $P_m$  404 的比特图是 1010。因此, 从查找表格预先选择出来的四个其他星座点, 和比特图 1010 相比, 总会有一个反比特, 并和点  $P_m$  最靠近。  $P_m$  404 和其他  $m$  个相关点的比特图之间的关系如以下表格 1 所示。

[0083]

| 最接近 $P_m$ 的星座点的实际比特图 | 反比特图<br>(x=无所谓) |
|----------------------|-----------------|
| 1110 (406)           | x1xx            |
| 1000 (407)           | xx0x            |
| 1011 (405)           | xxx1            |
| 0010 (408)           | 0xxx            |

[0084] 表格 1

[0085] 以上表 1 可以直接用做其他  $m$  个  $P_m$  点。最小距离的其他星座点的这个特别选择取决于天线  $a_{last}$  的调制阶数。大多数无线网络调制率通常是 2 次方, 如 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 8-QPSK 等。调制阶数  $m$  等于调制率的指数, 即  $2^m$  调制类型。例如, 图 4A 所述的 16-QAM 系统的调制阶数是 4, 即  $2^4=16$ 。因此, 将被选择的星座图 401 的其他星座点  $P_{m'}$  的数目是 4 (其中  $P_{m'}$  的 ' $m'$ ' 不同于调制阶数 ' $m'$ ').

[0086] 至于对图 4A 星座图 401 产生查找表格, 将选择两个  $(m/2)$  星座点, 点 406 和 408, 与最小距离点  $P_m$  404 在同一行。另外两个  $(m/2)$  星座点, 点 405 和 407, 被选择与  $P_m$  404 在同一列。然后, 这些星座点 405-408 然后被保存在查找表格里, 由条件最小距离点  $P_m$  404 索引。  $P_m$  404 查找表格的这些  $m$  个其他星座点的选择过程将保证用于计算 LLR( $b_i$ ) 等式(19)的两个最小距离值包含在利用这四个星座点 405-408 加上条件最小距离星座点  $P_m$  404 计算出的两个组合内。然后, 对在星座图 401 上的每个点重复相同过程以完成查找表格。因此, 不管星座图 401 上的哪个点被确定为条件最小距离星座点  $P_m$ , 将有  $m$  个合适的其他点,

其保证能够获得两个最小距离值。

[0087] 再次参照图 4B,一旦已经选择了星座图 401 上的 5 个点,就进行  $PED_1$  计算,如图 4B 的步骤 417 所示。对每个点组合,  $s_2403$  和条件最小距离点  $P_m$  404,  $s_2403$  和星座点 405,  $s_2404$  和星座点 406,  $s_2404$  和星座点 407,以及  $s_2404$  和星座点 408,都进行  $PED_1$  计算。然后选择星座点 400 的下一个点,并再次在这下一个点和星座图 401 的每个点 404-408 之间进行  $PED_1$  计算。此过程继续进行直到星座图 400 里的每个点和星座图 401 里的每个星座点 404-408 之间都进行了  $PED_1$  计算。因此,总体上,对于一个相似的 16-QAM 2x2 应用,在计算  $PED_1$  时,一个 MLLR 过程将检查 256 个星座对,而所述示例实施例仅检查 80 个星座对,这两个过程都是为了找出相同的四个软比特输出。

[0088] SISO CCS 过程还没有用于 MIMO 应用,因为当比较对应不同星座点组合的 ED 时,所有天线及其星座图都需要考虑。在 CCS 里的 SISO 交叉查找情况仅涉及一个天线。所以,将它应用到一个 MIMO 通常不是那么容易。但是,由于 ED 计算被分成两组,其中一组计算仅有一个天线,只要该组里的一个天线使用方形星座图(如 QAM)的调制方式, LCCS 查找过程现在就可以实施到 MIMO 应用里。

[0089] 在完成 LCCS 过程之后,增强 MIMO 探测器 202(图 2)对每个比特  $b_i$  执行最小 ED 值查找。依照以下公式,这些最小的 ED 值被用来确定比特  $b_i$  的 LLR:

$$[0090] \quad LLR(b_i) = \min(ED(b_i = 1)) - \min(ED(b_i = 0)) \quad (20)$$

[0091] 如公式(20)所示,两个独立的最小 ED 值被用来确定一个最优 LLR:当  $b_i=1$  时的最小 ED,和当  $b_i=0$  时的最小 ED。没有这两个最小 ED 值,仅能够确定次优 LLR 结果,这会导致更高的误差率和更低的可靠性。不同于增强 MIMO 探测器 202(图 2)采用的过程, LSD MIMO 探测过程仅找到一个保证的最小 ED 值。在 LSD,会少一个最小 ED,或者是  $b_i=0$  的或者是  $b_i=1$  的。那么,缺少的这个最小值将根据那个最优结果来估计。因此, LSD 过程产生的是次优的 LLR 结果。

[0092] 在 '813 申请里所述的 MIMO 探测过程也是产生一个次优结果,因为其仅计算一个距离值,然后使用该距离值去估计第二距离值。所述过程从一个星座图选择一组可能符号值,类似于 LSD 方法,在某个半径范围内选择那些点。对每个选择的符号,使用第一可能符号的数值,估计第二符号值。然后,通过计算在接收信号和一个虚拟接收信号之间的距离,产生一个 ED。虚拟接收信号分别是由第一和第二符号的选择值和估计值确定。接着,基于那个 ED 选择最小的 ED,其后,通过将第一和第二符号解码成一个最小 ED 的函数,选择硬输出第一和第二符号。

[0093] 运行时,所述过程从接收信号减去第一选择符号的贡献,并用第二符号来表达结果信号。然后,根据这个用第二符号表达的信号,计算出一个中间信号。然后,中间信号被一个阈值探测器、符号探测器、阈值比较器等处理。这种由阈值探测器提供的解决方法或探测是第二符号的估计值,其然后被用于计算 ED。因此,所述过程产生的最终结果是次优的。

[0094] 关于在图 3 和 4 里的一个 2x2MIMO 实施,虽然已经披露了所述的特征和优势,但本发明的原理可以适用于其他 MIMO 实施。

[0095] 图 5 是本发明一个实施例的增强 MIMO 探测器 51 详细模块示意图。增强 MIMO 探测器 51 以类似于增强 MIMO 探测器 202(图 2-4)的方式运行,除了其在多于两个天线上运行之外。为了便于实施本范例,增强 MIMO 探测器 51 在处理器 50 的控制下,运行在一个三

天线的应用里。增强 MIMO 探测器 51 接收来自其接收机天线阵的接收信号  $y_i$ 。信道矩阵  $H$  在调制器 500 上被 QR 分解成正交矩阵  $Q$  和上三角形矩阵  $R$ 。 $Q$  矩阵与接收信号  $y_i$  混在一起形成  $Y_i$ 。然后,分解的信道矩阵在单元 502 上与接收向量信号  $Y_i$  混合,其中进行 ED 计算。在  $2 \times 2$  的应用里,ED 计算被分成两组。第一组包括第一发射天线方形形状的星座集的,而第二组包括所有其它发射天线的星座集合,而不管其星座形状。在  $2 \times 2$  的应用里,计算  $PED_2$  和  $PED_1$ ,LCCS 查找过程被用来找出合适的 ED 值,其可以被用来保证找出用于 LLR 计算的两个最优最小值 ED 度量。和  $2 \times 2$  应用一样,在  $3 \times 3$  应用里的 LCCS 也要求使用不超过固定数目的星座点,这些星座点交叉位于最小 PED 星座点的周围。最后,在单元 503,执行最小 ED 查找以进行软比特结果  $LLR(b_i)$  的计算。

[0096] 增强 MIMO 探测器 51 (图 5) 和增强 MIMO 探测器 202 (图 2&3) 运行之间的差异在于 QR 分解。由于天线数目增加,增强 MIMO 探测器 51 不能通过执行缩放 Givens 旋转次序来简化 QR 分解。然而,QR 分解可以通过任何已知方法进行,包括那些使用平方根算子的方法,这会比特别的  $2 \times 2$  MIMO 应用增加计算复杂度。但是,即使增加了计算复杂度,整体计算仍然比 MLLR、LSD 和 '813 申请里的过程要简单,并且过程仍然能够提供两个保证最小的 ED,又提供最优的软比特结果。无论是 LSD 还是在 '813 申请的过程都不能够提供这种最优结果。

[0097] 应该注意到,处理器 30 (图 3) 和处理器 50 (图 5) 可以被设置成数字信号处理器 (DSP)、现场可编程门阵列 (FPGA)、微处理器、微控制器等。

[0098] 图 6 是本发明一个实施例的移动设备 60 的模块示意图。移动设备 60 是一个 MIMO 装置,其有由天线 601-1 - 601-n 组成的天线阵 600。天线阵 600 提供发射 / 接收机制给无线射频 (RF) 收发器 601。天线阵 600 接收的信号通过接收机处理电路 603 进行处理。本发明的各个提供增强 MIMO 探测的实施例,都包含在接收机处理电路 603 内。例如,接收机处理电路 603 包括 MIMO 探测器 606,如图 2、3 和 5 例所述的那些 MIMO 探测器,解码器 607 和 CRC 单元 608。接收机处理电路 603 提供的不同功能阶段结合 DSP/FPGA 605 一起运行,DSP/FPGA 605 可以包含一个或多个单个 DSP/FPGAs 605-1-605-N 作为单个处理器,或被集成到具有多个处理芯的单芯片 DSP/FPGA 内,和主处理器 604。

[0099] 主处理器 604 也控制和管理移动设备 60 的用户界面功能部件如键盘 609、显示器 610、麦克风 612 和扬声器 613 和移动装置 60 的其它功能部件之间的运作。移动设备 60 通过主处理器 604 进行运作是与存储在存储器 614 上的应用程序和信息通信一起被驱动的。存储器 614 存储诸如基本操作系统 (O/S) 615、查找表格 614 和应用程序 617。通过由主处理器 604 和 / 或 DSP/FPGA 605 所控制的实施,查找表格 616 里的一个或多个查找表格或在应用程序 617 下的应用程序可以补充或设定接收机处理电路 603 的运作。

[0100] 主处理器 604 和 DSP/FPGA 605 也运行处理来自任何用户输入装置如键盘 609、显示器 610、和麦克风 612 或内部系统输入 / 输出 (I/O) 611 的输入信息,其提供结果由移动装置 60 上运行的应用程序 617 局部处理。接着,这种处理输入可以被传输到发射机处理电路 602 以准备发出数据和信息,通过 RF 收发器 601 和天线阵 600 进行发射。

[0101] 将会注意到,本披露不受限于移动设备 60 的结构。能执行有关增强 MIMO 探测所述功能的任何硬件和软件的组合都可以被用来实施本发明的实施例。

[0102] 图 7 是本发明一个实施例的基站 70 的模块示意图。仅仅作为一个移动端,如移动

设备 60 (图 6), 可以配置具有如本发明在此所述的增强 MIMO 探测, 基站也可以配置具有增强 MIMO 探测。基站 70 包括主处理器 700, 其控制其计算机驱动功能的运算和处理。具有天线 701-1 - 701-n 的天线阵 700 发射并接收信号, 构成通信网络, 基站 70 只是其一部分。RF 收发器 702 运行以发送信号到天线阵 700, 并从天线阵 700 接收信号。将被传输的信号由主处理器 700 和 DSP/FPGA 组件 706 的一个或多个 DSP/FPGA 芯 706-1 - 706-n 处理或控制, 并通过发射电路 703, 然后由 RF 收发器 702 准备给天线阵 701。这些发射信号是通过存储在存储器 707 里的硬件、固件和软件进行处理。

[0103] 从天线阵 701 由 RF 收发器 702 接收的信号被包括增强 MIMO 探测器 705 的接收机电路 704 处理。增强 MIMO 探测器 705 的运行与图 3 和 5 示例所述的方法和运算一致。然后, 被探测到的和被解码的信号被主处理器 700 和一个或多个 DSP/FPGA 芯 706-1-706-n 使用硬件、固件和 / 或存储在存储器 707 的软件处理或控制。在如此处理之后, 信号进一步通过发射电路 703、RF 收发器 702 和天线阵 701 从基站 70 进行发射。但是, 如之前所述, 增强 MIMO 探测器 705 的运作仍然与在此所述的各种实施例一致。

[0104] 图 8 是本发明一个实施例的 MIMO OFDMA 无线网络的模块示意图。图 8 描述形成 MIMO OFDMA 无线网络 80 的多个基站 (图中未显示) 中的一个基站 800。基站 800 通过天线阵 801 发射空间复用 MIMO 信号到移动单元 MU 802-805 和从移动单元 MU 802-805 接收空间复用 MIMO 信号。基站 800 和 MU 802-805 各自都包括一个增强 MIMO 探测器, 其被设置以依照有关图 3 和 5 所提供的操作描述进行运作。MIMO OFDMA 无线网络 80 将提供有效可靠的通信, 因为每个增强 MIMO 探测器将提供符号探测的最优结果, 并具有最小的计算复杂度。

[0105] 图 9 是本发明实施例 2x2MIMO 系统里运行的示例步骤流程图。在步骤 900, 一个 MIMO 信号在接收机上被接收。在步骤 901, 通过应用一个缩放 Givens 旋转算子 (SG), 信道矩阵被分解成一个上三角形矩阵 (R) 和一个正交矩阵 (Q) 的逆 ( $Q^{-1}$ )。在步骤 902, 两个发射 MIMO 信号的发射天线中的一个发射天线被选择作为接收机上的第一组, 其中选择的天线是使用方形形状的第一星座图的调制方式进行发射。在步骤 903, 在接收机上建立第二组, 其包括表示其它发射天线的星座图。在步骤 904, 对第二组上的每个星座点, 依照等式 (14) 计算第一部分距离 ( $PED_2$ )。而且, 在步骤 905, 对第二组里的每个星座点, 依照等式 (18) 计算一个条件最小距离点。在步骤 906, 在第一组里选择一个最小距离点, 其最靠近条件最小距离点。在步骤 907, 基于选择的最小距离点使用一个查找表格, 选择第一组里的其他星座点。在步骤 908, 在第二组里的每个星座点和选择的每个其他星座点加上最小距离点之间计算第二部分距离 ( $PED_1$ )。在步骤 909, 基于相应的第一和第二部分距离的总和, 计算一组距离。在步骤 910, 根据这组距离, 查找出两个最小距离, 其中一个是在  $b_i=0$ , 另一个是在  $b_i=1$ 。在步骤 911, 依照等式 (19) 计算软比特输出。

[0106] 虽然已经详细说明了本发明及其优点, 但应理解, 在不脱离所附权利要求定义的本发明的条件下可以做出各种改变, 替换和变化。此外, 本申请的范围不限定到此处说明书中描述的处理方法, 机器, 制造, 物质构成, 手段, 方法和步骤等的特定实施例。从说明书的披露, 本领域技术人员将容易理解, 可以利用实质上执行了与这里说明的相应实施例相同功能或实现了相同结果的目前已有的或者将来会开发出的处理方法, 机器, 制造, 物质构成, 手段, 方法和步骤。因此, 所附的权利要求书旨在包括这些处理方法, 机器, 制造, 物质构成, 手段, 方法或步骤在其范围内。

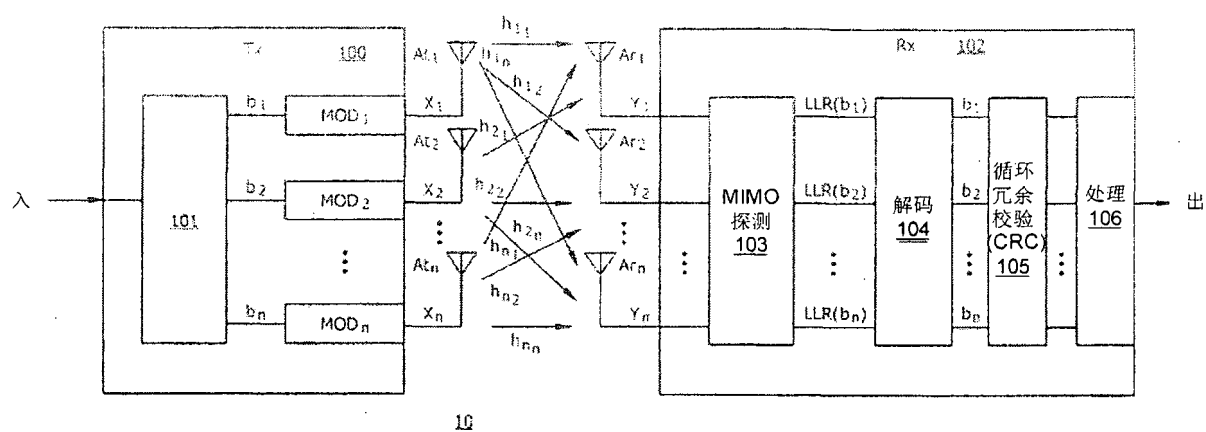


图 1

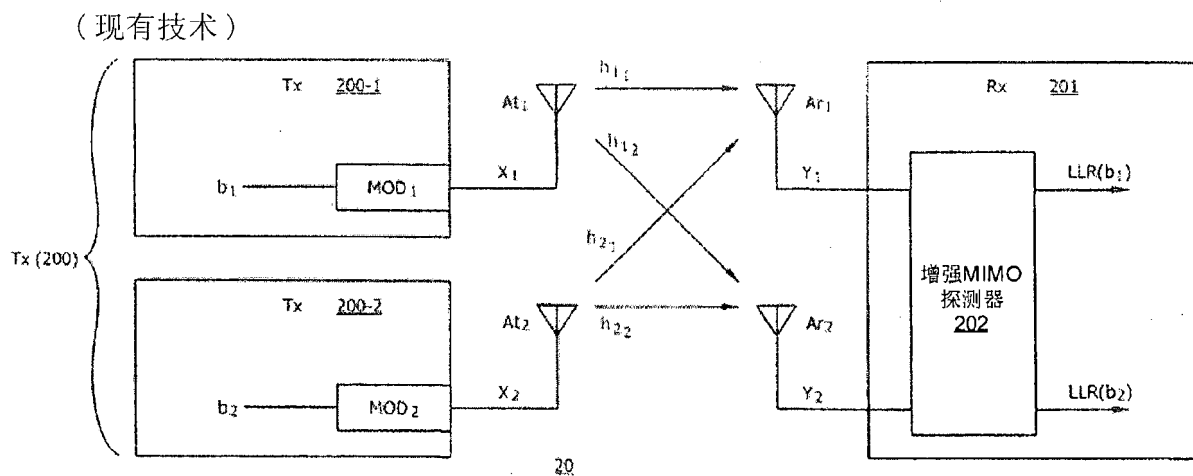


图 2

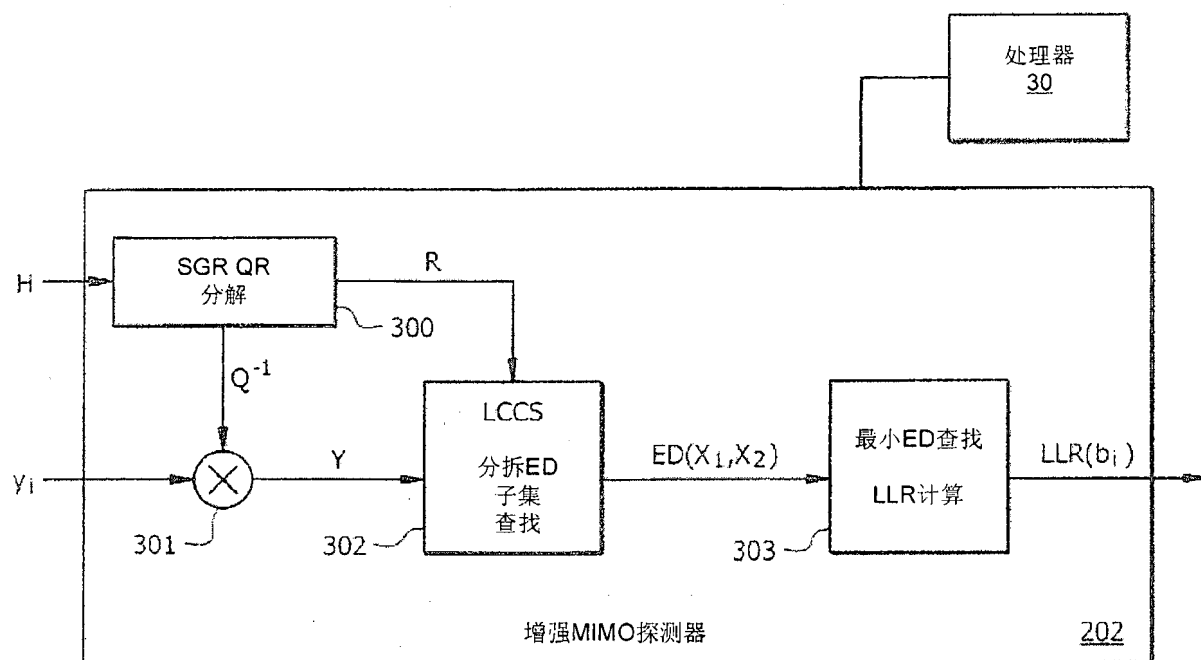


图 3

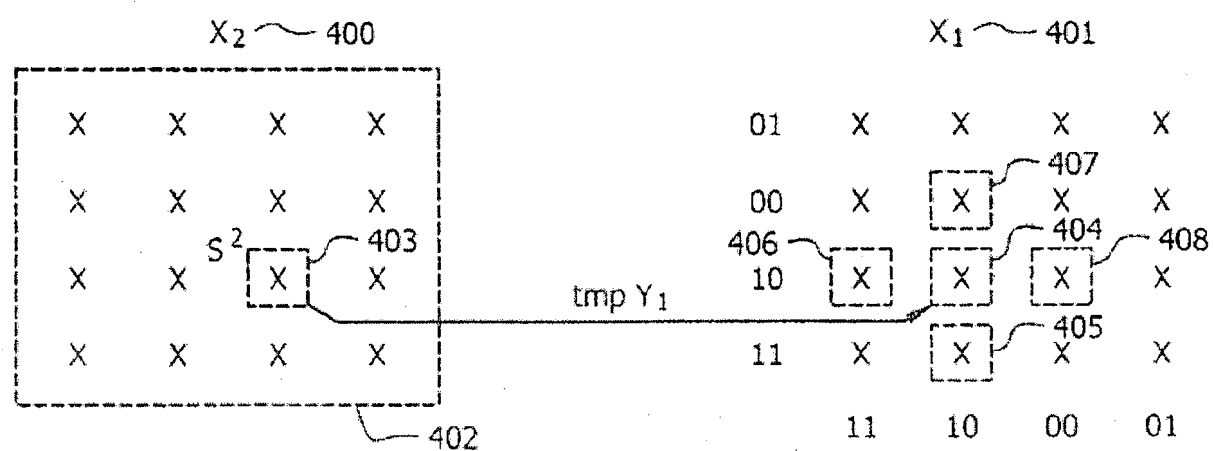


图 4A

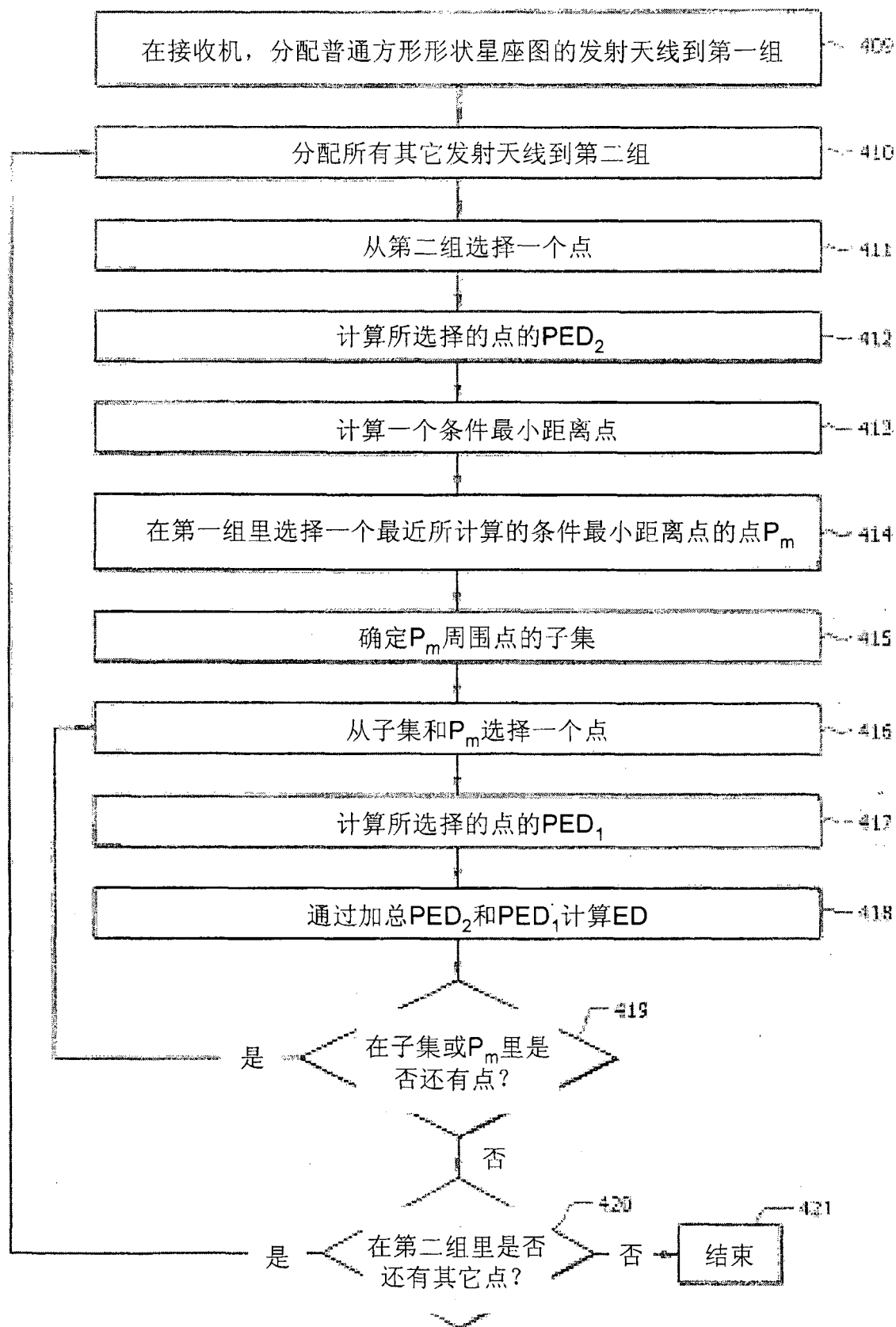


图 4B

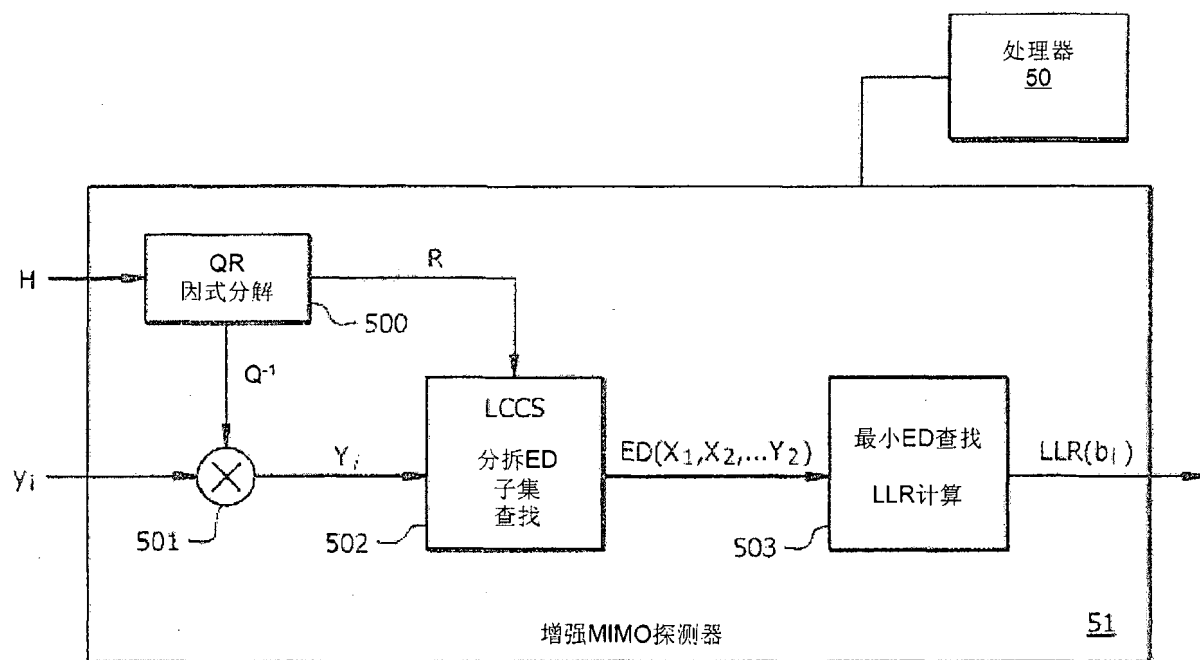


图 5

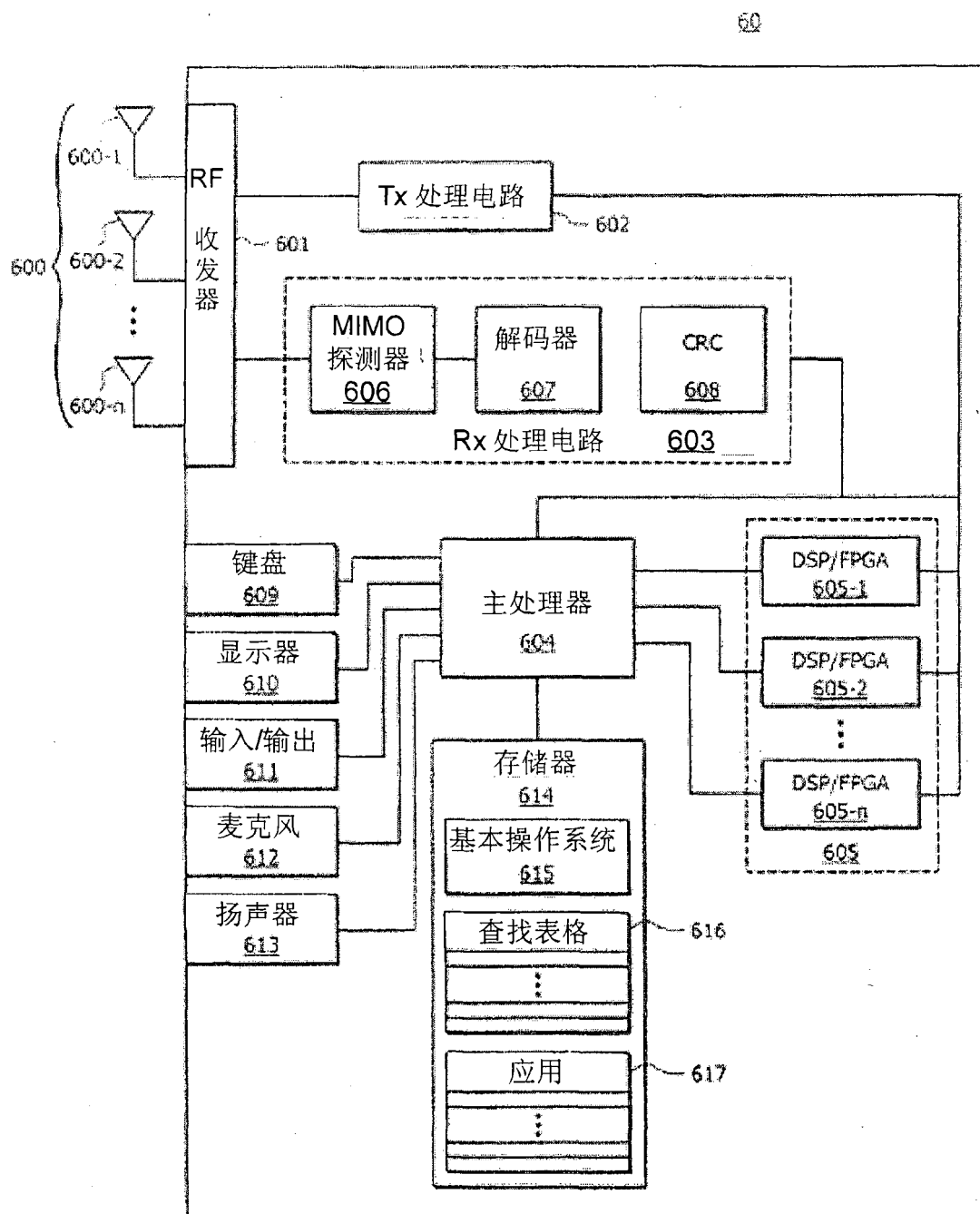


图 6

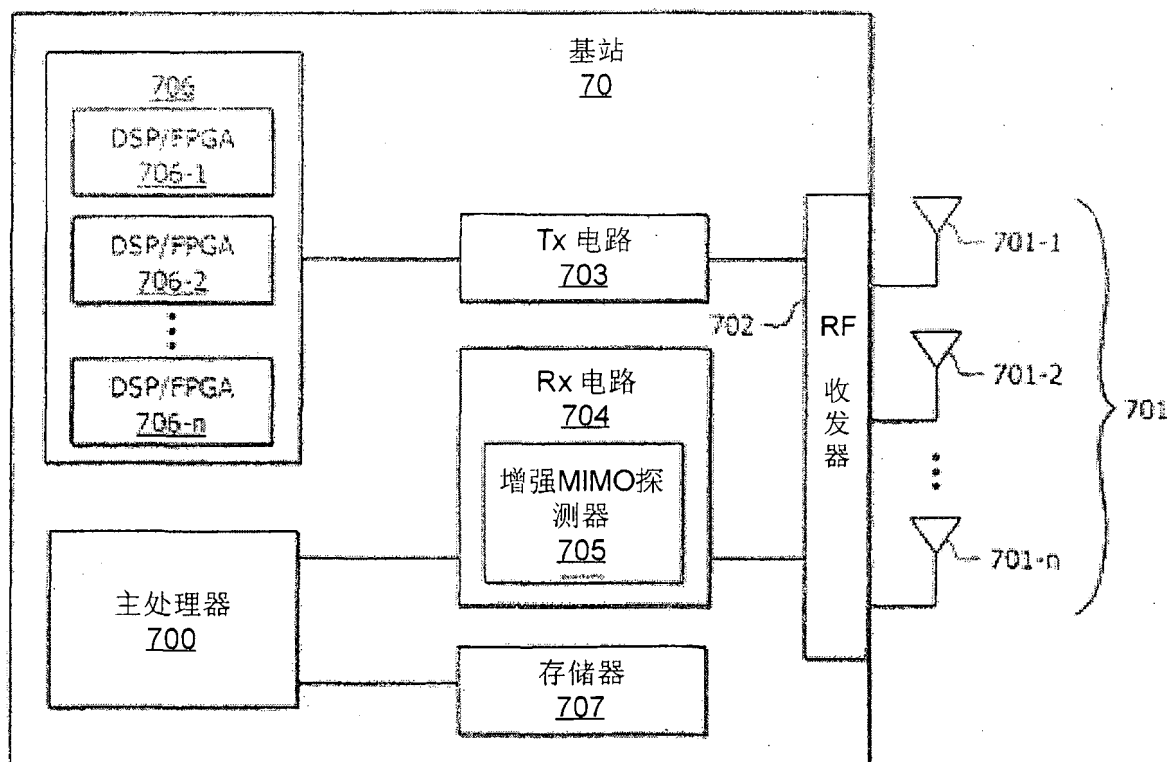


图 7

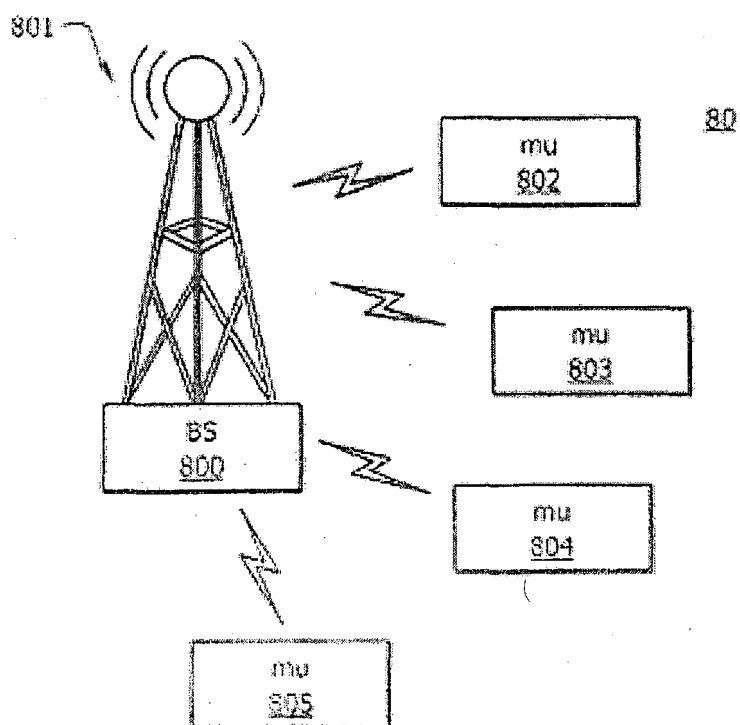


图 8

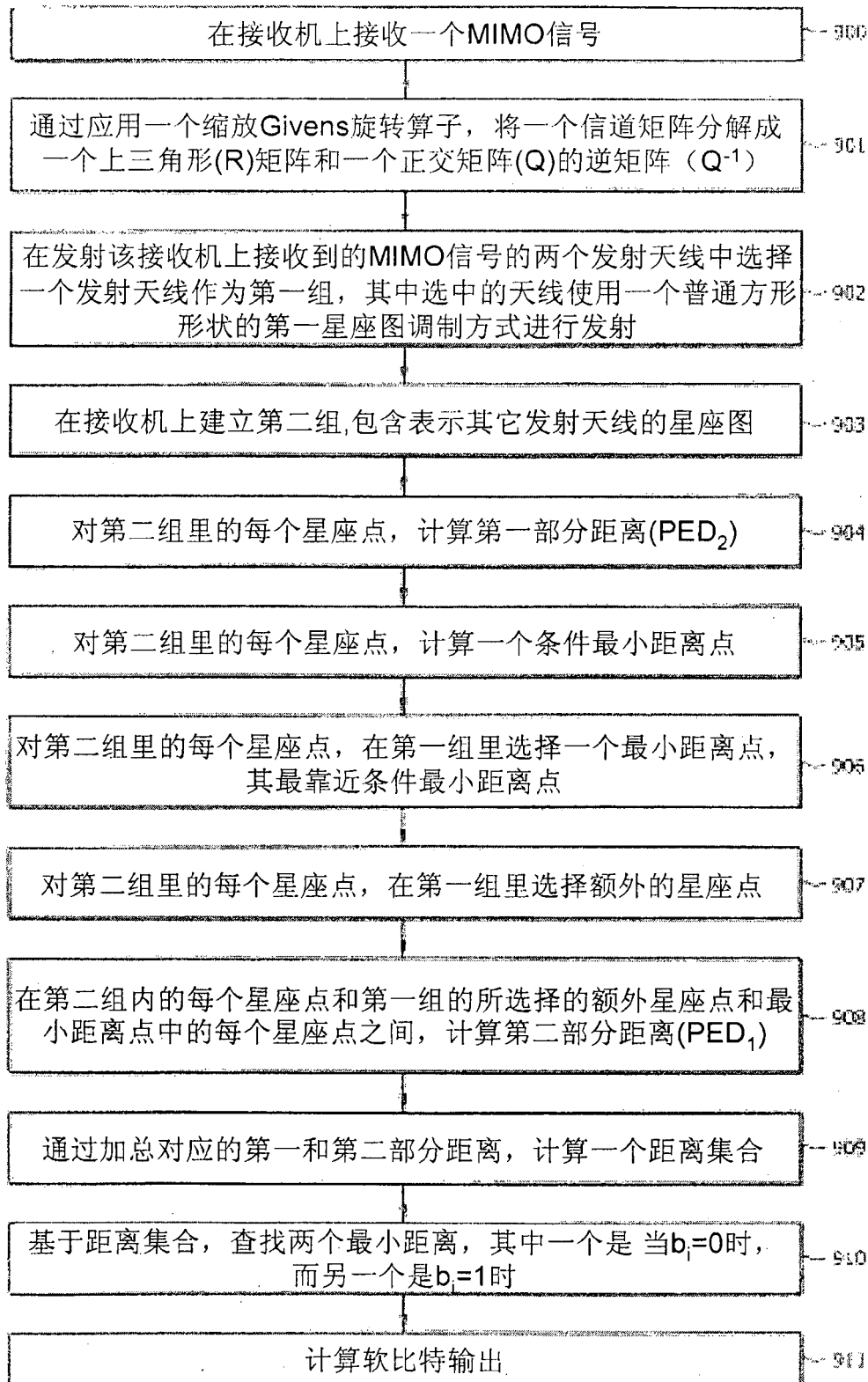


图 9