



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102017499 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 16

(21) 申请号 200980115762. 3

代理人 田喜庆

(22) 申请日 2009. 04. 27

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H04L 1/02 (2006. 01)

61/048, 011 2008. 04. 25 US

(56) 对比文件

(85) PCT申请进入国家阶段日

US 2007/0195907 A1, 2007. 08. 23, 全文.

2010. 10. 25

US 7103325 B1, 2006. 09. 05, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

审查员 肖瑜

PCT/US2009/041788 2009. 04. 27

(87) PCT申请的公布数据

W02009/132336 EN 2009. 10. 29

(73) 专利权人 美国博通公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 西里凯特·阿里亚维斯塔库

埃里克·奥贾德 郑军

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

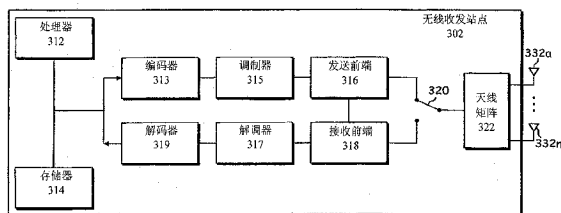
权利要求书2页 说明书13页 附图6页

(54) 发明名称

用于为 2x2 多入多出无线系统中的最大似然检测预测信道质量指数值的方法和系统

(57) 摘要

本发明提供了一种用于为 2x2 多入多出 (MIMO) 系统中的最大似然 (ML) 检测预测信道质量指数 (CQI) 值的方法和系统。根据该系统的一个方面, MIMO 通信系统的 CQI 值可以根据计算得到的信道实现矩阵来进行计算, 即将该计算得到的信道实现矩阵反向映射为对应的 CQI 值。可以根据计算得到的 CQI 值选择编码率。编码率可以从查找表中选择, 其中, 计算得到的 CQI 值可以用作查找表的索引。反向映射可以使用一个函数, 该函数可以利用径向基函数网络进行计算。根据该系统的另一个方面, 可以计算 MIMO 通信系统的联合互信息值。联合互信息值可以根据香农互信息值和匹配滤波器互信息值进行计算。



1. 一种用于无线通信系统中传送信息的方法,其特征在于,包括:  
由使用最大似然检测的多入多出接收系统中的一个或多个处理器和 / 或电路执行;  
根据通过多个接收天线同时接收的多个空间流信号计算信道实现矩阵;  
根据所述计算得到的信道实现矩阵和反向映射函数计算一个或多个信道质量指数值,  
其中所述反向映射函数根据单入单出通信系统的一个或多个信噪比值生成;以及  
根据所述计算得到的一个或多个信道质量指数值选择一个或多个编码率。
2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,包括根据所述计算得到的信道实现矩阵计算一个或多个奇异值。
3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,包括根据所述计算得到的一个或多个奇异值计算所述一个或多个信道质量指数值中的至少一个。
4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,包括根据所述计算得到的一个或多个信道质量指数值从查找表中选择所述一个或多个编码率和一个或多个调制类型。
5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,包括为仿真的多入多出接收系统生成多个仿真信道实现矩阵,其中所述仿真的多入多出接收系统是基于所述多入多出接收系统的。
6. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,包括根据所述生成的多个仿真信道实现矩阵和 / 或一个或多个选定的编码率生成多个仿真空间流信号,其中所述生成的多个仿真空间流信号由所述仿真的多入多出接收系统接收。
7. 根据权利要求 6 所述的方法,其特征在于,包括计算与所述生成的多个仿真空间流信号中选定的一个相关的多个误码率统计值。
8. 根据权利要求 7 所述的方法,其特征在于,包括为所述计算得到的多个误码率统计值的每一个,从所述一个或多个信噪比值中选择一个相对应的信噪比值。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,包括为所述计算得到的多个误码率统计值的每一个,从所述生成的多个仿真信道实现矩阵中识别相对应的一个仿真信道实现矩阵。
10. 根据权利要求 9 所述的方法,其特征在于,包括将所述选定的相应一个或多个信噪比值中的每一个与所述生成的多个仿真信道实现矩阵中所述相应的一个相关联。
11. 一种用于无线通信系统中传送信息的系统,其特征在于,包括:  
用于接收器中的一个或多个电路,所述一个或多个电路用于根据通过多个接收天线同时接收的多个空间流信号计算信道实现矩阵;  
所述一个或多个电路用于根据所述计算得到的信道实现矩阵和反向映射函数计算一个或多个信道质量指数值,其中所述反向映射函数根据单入单出通信系统的一个或多个信噪比值生成;以及  
所述一个或多个电路用于根据所述计算得到的一个或多个信道质量指数值选择一个或多个编码率。
12. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述一个或多个电路用于根据所述计算得到的信道实现矩阵计算一个或多个奇异值。
13. 根据权利要求 12 所述的系统,其特征在于,所述一个或多个电路用于根据所述计算得到的一个或多个奇异值计算所述一个或多个信道质量指数值中的至少一个。

14. 根据权利要求 11 所述的系统,其特征在于,所述一个或多个电路用于根据所述计算得到的一个或多个信道质量指数值从查找表中选择所述一个或多个编码率和一个或多个调制类型。

15. 一种用于无线通信系统中传送信息的方法,其特征在于,包括:

由使用最大似然检测的多入多出接收系统中的一个或多个处理器和 / 或电路执行:

通过多个接收天线同时接收多个空间流信号;

检测所述接收的多个空间流信号中的一个;

根据对所述检测的多个空间流信号中的一个的连续干扰抵消来检测所述接收的多个空间流信号中的下一个;

根据所述检测的多个接收的空间流信号中的一个和所述检测的多个接收的空间流信号中的下一个计算联合互信息值;

根据所述计算得到的联合互信息值选择一个或多个编码率;

通过一个或多个发射天线发送所述选定的一个或多个编码率;以及

同时接收随后的多个空间流信号,其中所述接收的随后的多个空间流信号包括基于所述选定的一个或多个编码率编码的信息。

## 用于为 $2 \times 2$ 多入多出无线系统中的最大似然检测预测信道质量指数值的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及无线通信。更具体地说,本发明涉及用于为  $2 \times 2$  多入多出 (MIMO) 无线系统中的最大似然 (ML) 检测预测信道质量指数 (CQI) 值的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 多入多出 (MIMO) 系统是利用多个发射天线发送信号和 / 或利用多个接收天线接收信号的无线通信系统。MIMO 系统间的通信基于电气和电子工程师协会 (IEEE) 中的规定。接收信号  $Y$  的 MIMO 系统可以根据接收的信号计算信道估算矩阵  $H$ 。该信号可以包括由多个信息源生成的信息。每个这样的信息源可以称作空间流。

[0003] MIMO 发送器可以组合空间流以生成一个或多个射频链。或者,每个射频链可以与一个特定的空间流相对应。一组射频链可以由发送 MIMO 系统通过多个发射天线同时发送。由多个发射天线同时发送的信号,这里称作空间流信号,可以表示为发送信号向量  $X$ 。包括信号向量  $X$  的空间流信号  $x_i$  ( $i$  是空间流指数变量),可以在从发送 MIMO 系统到接收 MIMO 系统的通信媒介途径中传播。该通信媒介的信号传输特征可以由信道矩阵  $H$  表示。接收 MIMO 系统在接收信号时可以利用多个接收天线。由多个接收天线同时接收的信号可以表示为接收信号向量  $R$ 。

[0004] MIMO 通信系统可以用以下方程表示:

$$[0005] \quad R = HX + N \quad [1]$$

[0006] 其中  $R$  表示多个  $N_{rx}$  接收天线中的每一个接收到的信号的一个列向量:  $r_1, r_2, \dots, r_{N_{rx}}$ ;  $X$  表示多个  $N_{tx}$  发射天线中的每一个发送的信号的一个列向量:  $x_1, x_2, \dots, x_{N_{tx}}$ ;  $H$  表示包含  $N_{rx}$  行和  $N_{tx}$  列的信道估算矩阵;  $N$  表示每个  $N_{rx}$  接收天线接收的噪声的一个列向量:  $n_1, n_2, \dots, n_{N_{rx}}$ 。统计上,通常认为噪声元素  $n_i$  是独立同分布的复合高斯随机变量。

[0007] 在方程 [1] 中,每个空间流信号值  $x_i$  可以由一个或多个比特位  $b_1, b_2, \dots, b_{MOD(i)}$  表示。包含比特位  $b_1, b_2, \dots, b_{MOD(i)}$  的每个空间流信号值可以称作一个“符号”。每个符号中的比特位  $MOD(i)$  的数量可以根据 MIMO 发送器中用于生成相应空间流信号  $x_i$  的调制类型确定。发送信号向量  $X$  的每个值可以表示为包括同时发送的符号集的集体位 (collective bits)。向量  $X$  中表示的总位数是由  $i = 1, 2, \dots$  和  $N_{ss}$  标识的空间流的  $MOD(i)$  值的总和。

[0008] 比较本发明后续将要结合附图介绍的系统,现有技术的其它局限性和弊端对于本领域技术人员来说是显而易见的。

### 发明内容

[0009] 本发明提供一种用于为  $2 \times 2$  多入多出 (MIMO) 无线系统中的最大似然 (maximum likelihood, 简称 ML) 检测,预测信道质量指数 (channel quality index, 简称 CQI) 值的方

法和系统,以下将结合至少一幅附图对其进行详细描述,并在权利要求书中给出更完整的介绍。

[0010] 本发明的各种优点、各个方面和创新特征,以及其中所示例的实施例的细节,将在以下的说明书和附图中进行详细介绍。

#### 附图说明

[0011] 图 1 是根据本发明一个实施例的 MIMO 收发系统的示意图;

[0012] 图 2 是根据本发明一个实施例的带 ML 检测的  $2 \times 2$  MIMO 通信系统的示意图;

[0013] 图 3 是根据本发明一个实施例的以 SNR 的函数表示的示范性 SISO 通信系统的 PER 值的曲线图;

[0014] 图 4 是根据本发明一个实施例的以 SNR 的函数表示的每个检测的比特位的平均互信息 (average mutual information) 的曲线图;

[0015] 图 5 是根据本发明一个实施例的用于利用径向基函数网络生成反向映射函数的示范性步骤的流程图;

[0016] 图 6 是根据本发明一个实施例的用于利用径向基函数网络进行 CQI 预测的示范性步骤的流程图;

[0017] 图 7 是根据本发明一个实施例的用于利用互信息进行 CQI 预测的示范性步骤的流程图。

[0018] 具体实施方方程

[0019] 本发明涉及一种用于为  $2 \times 2$  多入多出 (MIMO) 无线系统中的最大似然 (ML) 检测预测信道质量指数 (CQI) 值的方法和系统。本发明的多个实施例包括用于为 MIMO 通信系统预测 CQI 值的方法和系统。可以由 MIMO 发送器利用 CQI 预测来最大化 MIMO 发送器发送的信息与 MIMO 接收器成功接收的信息的比率。

[0020] 在本发明的各种实施例中,可以用互信息计算来确定使用 ML 检测的 MIMO 接收系统的信道容量的最小上限。互信息计算可以在 MIMO 接收器和 / 或 MIMO 发送器中根据计算得到的通信媒介的信道实现矩阵 (channel realization matrix) 来进行。互信息计算可以由 MIMO 发送器用来最大化 MIMO 发送器向 MIMO 接收器发送信息的比率。

[0021] 图 1 是根据本发明一个实施例的 MIMO 收发系统的示意图。图 1 示出了无线收发站点 302 和多个天线 332a...332n。无线收发站点 302 是示范性无线通信设备,可以用作发送器和 / 或接收器。多个天线 332a...332n 可以使无线收发站点 302 通过无线通信媒介发送和 / 或接收信号,例如射频 (RF) 信号。如图 1 所示的无线收发站点 302 还可以不失一般性地描述为包含一个或多个发射天线以及一个或多个接收天线,发射天线与发送前端 (FE) 316 相连,接收天线与接收前端 (FE) 318 相连。

[0022] 示范性无线收发站点包括处理器 312、存储器 314、编码器 313、解码器 319、调制器 315、发送 FE316、解调器 317、接收 FE318、发送和接收 (T/R) 转换开关 320 和天线矩阵 322。天线矩阵 322 可以使得在无线收发站点 302 能选择一个或多个天线 332a...332n 来发送和 / 或接收信号。T/R 转换开关 320 可以使得天线矩阵 322 与发送 FE316 或接收 FE318 通信相连。

[0023] 在发送 FE316 可以生成将要通过选定的天线 332a...332n 发送的信号。编码器 313

可以从处理器 312 和 / 或存储器 314 接收数据并生成编码的二进制数据。可以利用纠错编码方法来生成编码的二进制数据,例如二进制卷积编码

[0024] (BCC) 和 / 或比特位交错。调制器 315 可以从编码器 313 接收编码的二进制数据并根据一个或多个选定的调制类型将编码的二进制数据转换成数据符号。调制器 315 可以生成一个或多个空间流以便将数据符号发送给发送 FE316。

[0025] 在接收 FE318 可以对通过选定的天线 332a...332n 接收的信号进行处理。解调器 317 可以从接收 FE318 接收数据符号并根据一个或多个选定的调制类型生成多个软决策值。可以将软决策值发送给解码器 319。解码器 319 可以利用软决策值来生成解码的二进制数据。可以将解码的二进制数据发送给处理器 312 和 / 或存储器 314。

[0026] 图 2 是根据本发明一个实施例的带 ML 检测的  $2 \times 2$ MIMO 通信系统的示意图。图 2 示出了 MIMO 发送器 102、MIMO 接收器 106 和通信媒介 104。通信媒介 104 可以代表例如无线通信媒介。MIMO 发送器 102 可以包括多个快速傅里叶逆变换 (IFFT) 模块 110a 和 110b 以及多个天线 112a 和 112b。MIMO 接收器 106 可以包括多个天线 126a 和 126b、多个快速傅里叶变换 (FFT) 模块 124a 和 124b 以及检测模块 122。

[0027] 在本发明的一个实施例中,多个 IFFT 模块 110a 和 110b 中的每一对都可以接收多个空间流信号对  $x_1$  和  $x_2$  中相应的一对。每个空间流信号可以,例如由图 1 所示的调制模块 315 和 / 或发送和 / 或接收系统中的其它常用电路生成。这些电路可以包括,例如,用于从多个空间流的单一输入比特流中分发比特的解析电路,以及利用与调制类型相关的星座 (constellation) 来将所给空间流中的比特群转换为多个信号等级之一的星座映射电路 (constellation mapper circuitry)。每个 IFFT 模块 110a 和 110b 可以将每一个相应的空间流信号从由频域表示转换为由时域表示。信号  $x_1$  和  $x_2$  的每个时域版本可以由天线 110a 和 110b 中相对应的一个同时发送。多个同时发送的信号可以称作列向量  $X$ 。

[0028] 在本发明的各种实施例中,发送器 102 还可以利用波束成形和 / 或时空分集编码来发送信号。在这种情况下,发送器 102 可以包括空间映射矩阵。空间映射矩阵可以接收多个 NSS 空间流,以及输出多个 NTX 发送链信号 (其中 NTX 指发送器 102 用来同时发送信号的发射天线的数量)。每个发送链信号可以通过计算多个空间流信号的加权总和而生成,其中加权可以由空间映射矩阵确定。多个 NTX IFFT 模块中的每一个可以将每个相对应的发送链信号从由频域表示转换为由时域表示。发送链信号的每个时域版本可以由多个 NTX 发送天线中相对应的一个发送。在这种情况下,发送信号的有效信道估算矩阵可以根据信道估算矩阵 (其表征通信媒介的特性) 和空间映射矩阵的乘积确定。

[0029] 再来看图 2,天线 126a 和 126b 可以分别接收通过通信媒介 104 传播的信号  $r_1$  和  $r_2$ 。发送的信号向量  $X$  在通过通信媒介 104 传播的过程中可能被更改。更改后的信号可能在 MIMO 接收器作为接收的信号向量  $R$  接收。发送的信号的更改可以由信道估算  $h[i, j]$  表示。如图 2 所示,由天线 112a 发送并由天线 126a 接收的空间流信号  $x_1$  可以根据信道估算  $h[1, 1]$  更改。由天线 112b 发送并由天线 126a 接收的空间流信号  $x_2$  可以根据信道估算  $h[1, 2]$  更改。由天线 112a 发送并由天线 126b 接收的空间流信号  $x_1$  可以根据信道估算  $h[2, 1]$  更改。由天线 112b 发送并由天线 126b 接收的空间流信号  $x_2$  可以根据信道估算  $h[2, 2]$  更改。

[0030] 在 MIMO 接收器 106,每个 FFT 模块 124a 和 124b 可以将相应的接收信号  $r_1$  和  $r_2$  从

由时域表示转换为由频域表示。天线 126a 和 126b 接收的信号可以由以下方程组表示：

$$[0031] \quad r_1 = h[1,1] \cdot x_1 + h[1,2] \cdot x_2 + n_1 \quad [2]$$

$$[0032] \quad r_2 = h[2,1] \cdot x_1 + h[2,2] \cdot x_2 + n_2$$

[0033] 检测模块 122 可以使能 MIMO 接收器 106 生成多个软决策值  $L_{k(1)}$  和  $L_{k(2)}$ 。软决策值中的每一个  $L_{k(i)}$  对应于第  $i$  个空间流符号中第  $k$  比特位的软决策值。对应于软决策值  $L_{k(i)}$  的比特位可以由记号  $b_{k(i)}$  表示。这组软决策值  $L_{k(i)}$  从检测模块 122 输出并由解码器接收，解码器利用该软决策值生成解码的比特位。

[0034] 接收器 106 可以包括图 2 未示出的接收和 / 或收发系统的常用功能电路。这些电路可以包括，例如，用于根据软决策值生成比特值的解码电路，以及用于将多个空间流和 / 或接收的 RF 链中的比特合并为单一比特流的交织电路。

[0035] 由 MIMO 发送器 102 发送并由 MIMO 接收器 106 通过通信信道接收的最大信息量称作信道容量。信道容量通常以比特 / 秒为单位进行测量。信道容量可以与 MIMO 信道质量指数 (CQI) 值和 / 或 MIMO 互信息值相关联。

[0036] CQI 表示对通信信道的质量测量。CQI 通常以分贝 (dB) 为单位进行测量。SNR 值可以由 MIMO 接收器 106 根据接收的信号  $R$  计算 (如方程 [1] 所示)，而 CQI 值可以表示 SNR 的预测值，因此 CQI 值与信噪比 (SNR) 值相关。CQI 值可以根据信道估算矩阵  $H$  计算。由于计算得到的信道估算矩阵  $H$  是通信信道的代表，矩阵  $H$  还可以称作信道实现。

[0037] 如图 2 所示， $2 \times 2$  信道实现矩阵  $H$  可以表示通信信道  $h[1,1]$ 、 $h[1,2]$ 、 $h[2,1]$  和  $h[2,2]$ 。在本发明的一个实施例中，MIMO 接收器 106 可以根据从 MIMO 发送器 102 接收的信号计算信道实现矩阵  $H$ 。随后可以将计算得到的信道实现矩阵  $H$  传送给 MIMO 发送器 102。在本发明的另一个实施例中，MIMO 发送器 102 可以根据从 MIMO 接收器 106 接收的信号计算信道实现矩阵  $H$ 。在这两个例子中，MIMO 发送器 102 可以根据信道实现矩阵  $H$  计算一个或多个 CQI 值。另外，MIMO 接收器 106 可以根据信道实现矩阵  $H$  计算一个或多个 CQI 值并将计算得到的 CQI 值传送给 MIMO 发送器 102。在本发明的各种实施例中，MIMO 发送器 102 可以根据计算得到的和 / 或接收的 CQI 值选择一个或多个编码率，以便进行随后的空间流  $x_1$  和 / 或  $x_2$  的数据编码。

[0038] 在本发明的一个实施例中，MIMO 发送器 102 中的处理器 312 可以将  $2 \times 2$  信道实现矩阵  $H$  映射为多个 CQI 值  $q_1$  和  $q_2$ ，其中  $q_1$  是第一空间流  $x_1$  的 CQI 值， $q_2$  是第二空间流  $x_2$  的 CQI 值。CQI 值  $q_1$  是对应于 MIMO 发送器 102 的空间流  $x_1$  和 MIMO 接收器 106 的软决策值  $L_{k(1)}$  的 CQI 值。类似地，CQI 值  $q_2$  是对应于 MIMO 发送器 102 的空间流  $x_2$  和 MIMO 接收器 106 的软决策值  $L_{k(2)}$  的 CQI 值。

[0039] 在本发明的各种实施例中，CQI 值  $q_1$  和  $q_2$  可以通过生成信道实现矩阵  $H$  的奇异值 (singular value) 分解来确定，具体过程可以由以下方程表示：

$$[0040] \quad H = USV^H \quad [3]$$

[0041] 其中，奇异值矩阵  $S$  可以由以下方程表示：

$$[0042] \quad S = \begin{bmatrix} s_1 & 0 \\ 0 & s_2 \end{bmatrix} \quad [4a]$$

[0043] 酉矩阵 (unitary matrix)  $V$  可以由以下方程表示：

$$[0044] \quad V = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-j\theta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad [4b]$$

[0045] 其中  $\theta$  和  $\phi$  表示角度。

[0046] CQI 值  $q_1$  和  $q_2$  可以表示为奇异值  $s_1$  和  $s_2$  以及角度  $\theta$  和  $\phi$  的函数： $q_1(s_1, s_2, \theta, \phi)$  和  $q_2(s_1, s_2, \theta, \phi)$ 。所给 CQI 函数  $q_i(s_1, s_2, \theta, \phi)$  的 CQI 值可以反映基于参数  $\theta$  和  $\phi$  的对称性，可以用下列方程表示：

$$[0047] \quad q_i(s_1, s_2, \theta, \phi) = q_i(s_1, s_2, \theta + \frac{\pi}{2}, \phi)$$

$$[0048] \quad q_i(s_1, s_2, \theta, \phi) = q_i(s_1, s_2, \frac{\pi}{2} - \theta, \phi) \quad [5]$$

$$[0049] \quad q_i(s_1, s_2, \theta, \phi) = q_i(s_1, s_2, \theta, \phi + \pi)$$

$$[0050] \quad q_i(s_1, s_2, \theta, \phi) = q_i(s_1, s_2, \theta, \pi - \phi)$$

[0051] 另外，CQI 值  $q_1(s_1, s_2, \theta, \phi)$  和  $q_2(s_1, s_2, \theta, \phi)$  间的关系可以由以下方程表示：

$$[0052] \quad q_2(s_1, s_2, \theta, \phi) = q_1(s_1, s_2, \frac{\pi}{2} - \theta, \frac{\pi}{2} - \phi) \quad [6]$$

[0053] 因此，给出一个 CQI 值，例如  $q_1(s_1, s_2, \theta, \phi)$ ，就可以根据方程 [6] 计算另一个 CQI 值，例如  $q_2(s_1, s_2, \theta, \phi)$ 。相应地，根据方程 [5] 和方程 [6] 所示的对称关系，参数  $\theta$  的值可以限制于  $\theta \in [0, \pi/4]$ ，同时参数  $\phi$  的值限制于  $\phi \in [0, \pi/2]$ 。

[0054] 本发明的各种实施例包括一种用于预测 MIMO 通信系统的 CQI 值的方法和系统。CQI 预测可以由 MIMO 发送器 102 用来最大化由 MIMO 发送器 102 发送和由 MIMO 接收器 106 成功接收的信息的比率。

[0055] 在 MIMO 通信系统中，信道容量表示由 MIMO 发送器 102 发送和由 MIMO 接收器 106 成功接收的信息的最大比率。当 MIMO 发送器 102 发送信号 X 中的编码信息可在 MIMO 接收器 106 从接收信号 R 中检测出来，就表示成功接收了信息。当在接收信号中检测到误码时，就表示没有成功接收信息。MIMO 接收器 106 接收信息的成功率可以称作信息吞吐率。信道容量值与最大信息吞吐率值相关。

[0056] 根据，例如，接收信号的前导码信息，MIMO 接收器 106 可以计算信道实现矩阵 H。根据计算得到信道实现矩阵 H 和接收信号中检测到的信息，MIMO 接收器 106 可以计算信道质量测量 CQI(H)。计算得到的 CQI(H) 可以与能在接收信号中检测到误码时的比率相关。这个称作比特误码率 (BER) 的比率，表示从接收信号中检测到的给定数量的比特位中误码数量的比率。发送数据包的比率称作数据包误码率 (PER)。相应地，MIMO 通信系统的 PER 可以由信道实现 H 的函数表示：PER(H)。

[0057] 为了使 MIMO 接收器 106 在误码发生时能够检测到，由 MIMO 发送器 102 发送的信息通常与附加数据一起发送，附加数据可以由 MIMO 接收器 106 用来检测和 / 或纠正从接收信号中检测到的信息中的误码。附加数据通常包括前向纠错 (FEC) 编码 (或例如内部编码) 数据。内部代码的例子包括字块检验字符 (BCC) 和涡轮码 (turbo code)。信息比特位数量  $i_b$  与总发送比特位数量  $t_b$  (包括信息和 FEC 数据) 的比率称作编码率  $r_c$ 。信息和附加数据可以整体称作编码信息。

[0058] 由 MIMO 发送器 102 发送的以比特 / 秒为测量单位的编码信息的比率，可以根据发送符号的总比率 (aggregate rate)  $r_{sym}$  确定。因此，通过增加由每个发送符号表示的比特



位的数量  $\text{MOD}(i)$  (其中  $i$  表示空间流指数值, 且  $i \in (1, 2)$ ), 就可以增加编码信息发送率。但是, 增加 MIMO 发送器 102 的  $\text{MOD}(i)$  可能导致 MIMO 接收器的接收的 BER 增加。这将减小信息吞吐率。

[0059] 增加由 MIMO 发送器发送的 FEC 数据比特位的数量可以增强 MIMO 接收器检测和/或纠正检测到的信息中的误码的能力。但是, 尽管增加 FEC 数据比特位的数量不会改变编码信息发送率, 增加的 FEC 数据比特位的数量将减小编码率。编码率的减小相当于信息发送率的减小, 信息发送率指的是未编码信息的有效发送率。其结果又会减小 MIMO 接收器的信息吞吐率。

[0060] 因此, 给出了调制类型或  $2 \times 2$  MIMO 系统中第  $i$  个空间流 ( $i = 1$  或  $i = 2$ ) 的值  $\text{MOD}(i)$ , 最大化 MIMO 接收器 106 的信息吞吐率可以依赖于对 MIMO 发送器 102 的编码率  $r_c(i)$  的选择。在本发明的各种实施例中, 选定的编码率  $r_c(1)$  可以根据计算得到的  $2 \times 2$  MIMO 系统中第一个空间流的 CQI 值  $q_1$  来确定。编码率  $r_c(1)$  可以从查找表 (LUT) 中确定, 其中计算得到的 CQI 值  $q_1$  可以用作从 LUT 中选择编码率  $r_c(1)$  的索引值。一旦计算出 CQI 值  $q_1$ , 就可以根据方程 [6] 计算与  $2 \times 2$  MIMO 系统中的第二个空间流相关的 CQI 值  $q_2$ 。计算出 CQI 值  $q_2$ , 就可以选择对应的编码率  $r_c(2)$ 。

[0061] 在本发明的各种实施例中, MIMO 通信系统的 CQI 值可以根据 SISO 通信系统对应的 CQI 值预测。因此, MIMO 通信系统的 CQI 值  $q_1$  和  $q_2$  可以通过将如图 2 所示的  $2 \times 2$  MIMO 系统近似为两个单独的单入单出 (SISO) 通信系统进行计算。如图 2 所示, 示范性 SISO 通信系统可以包括 SISO 发送器和 SISO 接收器, SISO 发送器包括一个发射天线, 例如发射天线 112a, SISO 接收器包括一个接收天线, 例如接收天线 126a。SISO 发送器可以利用该发射天线发送来自一个空间流例如空间流  $x_1$  的数据。SISO 接收器可以利用该接收天线接收一个信号  $r_1$ 。从 SISO 发送器发送的空间流信号  $x_{\text{SISO}}$  和 SISO 接收器接收的信号  $r_{\text{SISO}}$  间的关系可以由以下方程表示:

$$[0062] \quad r_{\text{SISO}} = h_{\text{SISO}} \cdot x_{\text{SISO}} + n_{\text{AWGN}} \quad [7]$$

[0063] 其中,  $h_{\text{SISO}}$  表示 SISO 通信信道的信道实现,  $n_{\text{AWGN}}$  表示加性白高斯分布 (AWGN) 噪声。接收信号  $r_1$  可以由检测器, 例如检测器 122 检测用来生成软决策值  $L_{k(1)}$ 。SISO 通信系统的 CQI 值可以称作  $q_{\text{SISO}}$ 。

[0064] 在本发明的各种实施例中, MIMO 系统的 CQI 值  $\text{CQI}(H)$  和 SISO 系统的 CQI 值  $q_{\text{SISO}}$  间的映射可以由以下方程表示:

$$[0065] \quad \text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(H) = \text{PER}_{\text{SISO}}(q_{\text{SISO}}) \quad [8]$$

[0066] 其中  $\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(H)$  表示 PER 与空间流  $x_1$  的 MIMO 信道实现  $H$  间的函数关系,

$\text{PER}_{\text{SISO}}(q_{\text{SISO}})$  表示 PER 与 SISO CQI 值  $q_{\text{SISO}}$  间的函数关系。

[0067] 图 3 是根据本发明一个实施例的示范性 SISO 通信系统中以 SNR 的函数表示的 PER 值的曲线图。图 3 示出了  $\text{PER}_{\text{SISO}}(q_{\text{SISO}})$  相对 SISO CQI 值  $q_{\text{SISO}}$  的图形表示。如图 3 所示, 示出了多个 PER 曲线 202、204、206、208、210、212、214、216、218、220、222、224、226、228 和 230。每个 PER 曲线对应一个确定的编码率  $r_c$ 。每个 PER 曲线包括多个采样值, 这些采样值是针

对示范性 SISO 通信系统在调制类型为 16 级的正交幅度调制 (16-QAM)、内部编码方法为涡轮编码且噪声为 AWGN 分布时计算的。如图 3 所示的 SNR 值与  $q_{\text{SISO}}$  的值相关。根据图 3, 对于所给 SNR 值和 PER 值, 可以选择一个编码率, 该编码率可以在使用涡轮编码和 16-QAM 调制类型的 SISO 系统中使用。

[0068] 尽管图 3 示出的 PER 曲线是针对 16-QAM 调制类型的, 本发明并不受限于此, 而可以适用于其它调制类型, 例如 64-QAM、256-QAM 或 1024-QAM。类似地, 本发明还可以适用于除了涡轮编码 (turbo coding) 以外的其它 FEC 编码类型, 例如 BCC。

[0069] 根据方程 [8], 值  $q_{\text{SISO}}$  可以由以下方程表示:

$$[0070] \quad q_{\text{SISO}} = \text{PER}_{\text{SISO}}^{-1} \left( \text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H}) \right) \quad [9]$$

[0071] 其中  $f^{-1}(g(x))$  表示函数  $g(x)$  基于函数  $f$  的反向映射。换言之, 方程 [9] 表示 SISO CQI  $q_{\text{SISO}}$  和 MIMO 通信系统中空间流  $x_1$  的 PER 间的映射。

[0072] 在本发明的一个实施例中, 方程 [9] 和多个 SISO PER 曲线 202、204、206、208、210、212、214、216、218、220、222、224、226、228 和 230 (图 3), 可以用于建立 MIMO 系统的 PER 值

$\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H})$  和 SISO 系统的 CQI 值  $q_{\text{SISO}}$  间的关联。

[0073] 在本发明的各种实施例中, 对于  $1 \leq n \leq N_{\text{sample}}$ , 可以生成多个信道实现值  $H_n$ , 其中  $N_{\text{sample}}$  表示一个采样集内生成的信道实现的数量。对于每个生成的信道实现  $H_n$ , 可以选择 MIMO 发送器 102 发送的信息所对应的编码率值  $r_{c,n}$ 。MIMO 发送器 102 可以向 MIMO 接收器 106 发送信号。在 MIMO 接收器 106, 空间流  $x_1$  对应的 PER 值  $\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H}_n)$  可以根据接收信号进行计算。根据 MIMO 系统选定的编码率  $r_{c,n}$ , 可以选择, 例如图 3 中对应的 SISO 曲线 202、204、206、208、210、212、214、216、218、220、222、224、226、228 和 230。根据计算得到的值  $\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H}_n)$ , 可以选择, 例如图 3 中对应的 SISO PER 值。根据选定的 SISO PER 值和选定的编码率  $r_{c,n}$ , 可以选择, 例如图 3 中对应的 SISO SNR 值。值  $q_{\text{SISO}, n}$  可与选定的 SISO SNR 值相关。

[0074] 在本发明的各种实施例中, 每个计算得到的 PER 值  $\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H}_n)$  对应于一个信道实现  $H_n$ 。因此, 只要建立计算得到的值  $\text{PER}_{\text{MIMO}, x_1}(\mathbf{H}_n)$  与选定的 SISO SNR 值  $q_{\text{SISO}, n}$  间的联系, 就可以得到信道实现  $H_n$  和选定的 SISO SNR 值  $q_{\text{SISO}, n}$  间的对应关系。最后, 可以生成多个  $(q_{\text{SISO}, n}, H_n)$  数组 (tuples)。每个数组  $(q_{\text{SISO}, n}, H_n)$  可以存储在存储器 314 (图 1) 中。多个信道实现采样  $H_n$  可以表示为向量  $X$ 。

[0075] 在本发明的各种实施例中, 方程 [9] 所示的反向映射函数可以基于多个数组值  $(q_{\text{SISO}, n}, H_n)$  通过利用径向基函数 (RBF) 网络生成。在本发明的一个实施例中, 反向映射函数  $f(X)$  可以由以下方程计算:

$$[0076] \quad f(X) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^{n_r} \lambda_i \cdot \phi(\|X - c_i\|) \quad [10]$$

[0077] 其中值  $X$  与采样值  $H_n$  相关, 值  $f(X)$  与值  $q_{\text{SISO}, n}$  相关,  $c_i$  表示 RBF 的中心值,  $n_r$  表

示 RBF 中心值的数量,  $\lambda_0$  和  $\lambda_i$  表示加权系数,  $\phi(v)$  表示 RBF 基函数。符号  $\|v\|$  表示欧几里德范数 (Euclidean norm) 计算。在本发明的一个实施例中, RBF 基函数可以使用以下方程所示的高斯基函数:

$$[0078] \quad \phi(v) = \exp(-v^2/\beta^2) \quad [11]$$

[0079] 其中  $\beta$  可以表示一个常量, 例如  $\beta = 3.5$ 。

[0080] 在本发明的一个实施例中, 可以从多个采样值  $H_n$  中选择 RBF 中心值  $c_i$ 。加权系数  $\lambda_0$  和  $\lambda_i$  的值可以通过正交最小二乘学习算法计算。

[0081] 在本发明的各种实施例中, 用方程 [10] 所示的 RBF 网络计算得到的函数  $f(X)$  可以用于对带 ML 检测的 MIMO 接收器 106 进行 CQI 预测。与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以根据 MIMO 接收器 106 接收的信号计算信道实现  $H$ 。在本发明的一个实施例中, MIMO 接收器 106 可以将计算得到的信道实现  $H$  传送给 MIMO 发送器 102。与 MIMO 发送器 102 连接使用的处理器 312 可以利用由方程 [10] 计算得到的反向映射函数  $f(X)$  和接收到的信道实现  $H$  来确定对应于空间流  $x_1$  的 CQI 值  $q_1$ 。确定了 CQI 值  $q_1$ , 就可以根据方程 [6] 确定对应于空间流  $x_2$  的 CQI 值  $q_2$ 。根据确定的 CQI 值  $q_1$  和 / 或  $q_2$ , 与 MIMO 发送器 102 连接使用的处理器 312 可以分别选择空间流  $x_1$  和  $x_2$  的编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$ 。在本发明的一个实施例中, 可以使用查找表 (LUT) 来选择第  $i$  个空间流 (其中  $i = 1$  或  $i = 2$ ) 的编码率  $r_c(i)$  和 / 或调制类型 (例如根据  $MOD(i)$  值确定)。MIMO 发送器 102 可以使用选定的编码率来生成随后的编码信息, 这些编码信息由 MIMO 发送器 102 通过通信媒介 104 发送给 MIMO 接收器 106。在本发明的各种实施例中, 选定的编码率可以使 MIMO 发送器 102 最大化 MIMO 接收器 106 针对所给信道实现  $H$  的信息吞吐率, 所述信道实现  $H$  表示通信媒介 104 的信号传输性能。

[0082] 在本发明的另一个实施例中, 与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以通过上述方法计算 CQI 值  $q_1$  和 / 或  $q_2$ 。与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以选择编码率  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$ 。计算得到的 CQI 值  $q_1$  和 / 或  $q_2$  和 / 或选定的编码率  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$  可以由 MIMO 接收器 106 传送给 MIMO 发送器 102。MIMO 发送器 102 可以利用接收到的 CQI 和 / 或编码率值向 MIMO 接收器 106 发送随后的信号。

[0083] 在本发明的一个实施例中, 与发送器 102 连接使用的处理器 312 可以根据方程 [4b] 所示的预编码矩阵  $V$  来预编码发送的空间流  $x_1$  和  $x_2$  (由例如空间流向量  $X$  表示)。预编码矩阵  $V$  可以根据信道实现  $H$  的奇异值分解进行计算。与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以根据滤波矩阵  $U^H$  滤波接收到的空间流信号  $r_1$  和  $r_2$  (由例如接收信号向量  $R$  表示)。滤波矩阵  $U^H$  可以表示如方程 [4a] 所示的矩阵  $U$  的复共轭 (或埃尔米特共轭) 转换形式。矩阵  $U$  可以根据信道实现  $H$  计算。与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以根据多个空间流信号计算信道实现矩阵  $H$ , 这些空间流信号是通过多个接收天线 126a 和 126b 同时接收的。与 MIMO 发送器 102 连接使用的处理器 312 可以根据从 MIMO 接收器 106 接收的信号和 / 或根据通过接收信号传送给 MIMO 发送器 102 的信息来计算信道实现矩阵  $H$ 。

[0084] 在 MIMO 接收器 106 利用滤波矩阵  $U^H$  对接收信号进行滤波后, 与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以确定奇异值  $s_1$  和奇异值  $s_2$  的值,  $s_1$  与第一空间流相关,  $s_2$  与第二空间流相关。

[0085] 与MIMO接收器106连接使用的处理器312可以根据奇异值 $s_1$ 的反向映射函数 $f(X = s_1)$  (方程[10])来计算与第一空间流相关的CQI值 $q_1$ 。相应地, MIMO接收器106可以根据奇异值 $s_2$ 的反向映射函数 $f(X = s_2)$ 来计算与第二空间流相关的CQI值 $q_2$ 。根据CQI值 $q_1$ 和 $q_2$ ,可以分别选择编码率 $r_c(1)$ 和 $r_c(2)$ 。在本发明的一个实施例中,可以根据相应的CQI值 $q_1$ 和 $q_2$ 从LUT中选择编码率 $r_c(1)$ 和 $r_c(2)$ 。

[0086] 在本发明的各种实施例中,MIMO接收器106的信息吞吐率可以根据MIMO通信系统的互信息计算进行最大化。互信息是一个试图测量两个变量间的统计相互依赖关系的量。例如,参考上文MIMO通信系统中的方程[1],发送信号X和接收信号R间的互信息可以提供一(extent)限额指示,在这个限额内接收信号R可以认为是发送信号X的可信赖代表。X和R间的互信息 $I(X, R)$ 可以由以下方程表示:

$$[0087] \quad I(X, R) = Q(R) - Q(R|X) \quad [12]$$

[0088] 其中 $Q(R)$ 表示R的熵, $Q(R|X)$ 表示R对于给定值X的条件熵。熵值 $Q(R)$ 还可以称为自信息值并由以下方程表示:

$$[0089] \quad Q(R) = -\sum_R p_R \cdot \log_2(p_R) \quad [13]$$

[0090] 其中 $p_R$ 表示R值的概率密度分布。条件熵值 $H(R|X)$ 可以由以下方程表示:

$$[0091] \quad Q(R|X) = -\sum_R p_{R|X} \cdot \log_2(p_{R|X}) \quad [14]$$

[0092] 其中 $p_{R|X}$ 表示R值对于给定值X的条件概率密度分布。条件概率密度 $p_{R|X}$ 可以由以下方程表示:

$$[0093] \quad p_{R|X} = \frac{p_{X,R}}{p_X} \quad [15]$$

[0094] 其中 $p_{X,R}$ 表示值X和值R的联合概率密度分布, $p_X$ 表示对于值X的概率密度分布。联合概率密度 $p_{X,R}$ 可以根据信道实现H确定。因此,互信息值 $I(X, R)$ 可以根据信道实现H确定。

[0095] 对于给定的互信息值 $I(X, R)$ ,可以根据以下方程计算通信信道的容量值C:

$$[0096] \quad C = \sup_{P_X} [I(X, R)] \quad [16]$$

[0097] 其中 $\sup[z]$ 指最小上限值或上确界。如方程[15]所示,值C表示大于或等于最大 $I(X, R)$ 值的最小值,其可以根据概率密度分布 $p_X$ 内数值的范围确定。因此,当互信息最大时信道容量也是最大的。对于一给定的通信信道,其最大理论信道容量称作香农(Shannon)容量 $C_{\text{Shannon}}$ ,可以由以下方程计算:

$$[0098] \quad C_{\text{Shannon}} = \log_2 \left| 1 + \frac{H^H H}{N S S \cdot \sigma^2} \right| \quad [17a]$$

[0099] 其中I表示密度矩阵,NSS表示MIMO通信系统中使用的空间流的数量, $\sigma$ 表示信道噪声 $n$ (方程[1])的标准差,H表示信道实现矩阵, $H^H$ 表示矩阵H的复共轭转换形式。互

信息的标准化香农上限值  $I_{\text{Shannon}}$  可以由以下方程表示：

$$[0100] \quad I_{\text{Shannon}} = \frac{C_{\text{Shannon}}}{2 \cdot \log_2 M} \quad [17b]$$

[0101] 其中  $M$  表示对于给定调制类型每维的级数；例如，对于 16-QAM 调制类型， $M = 4$ 。

[0102] 图 4 是根据本发明一个实施例的以 SNR 的函数表示的每个检测的比特位的平均互信息的曲线图。图 4 示出了与 MIMO 接收器 106 连接使用的 ML 检测器 122 (图 2) 的每个检测的比特位的平均互信息。平均互信息在图 4 中以比特为单位并以 SNR 值的函数形式示出。如图 4 所示，示出了多个互信息曲线 402、404 和 406。对于每个互信息曲线，可以使用 16-QAM 调制类型。16 级的 QAM 对应于每维 4 级的脉冲幅度调制 (PAM)。互信息曲线 402 表示每比特位的平均互信息，在将检测到的符号去映射为 4-PAM 的比特位前进行计算。互信息曲线 402 在图 4 中以 SNR 值的函数示出并由函数  $g_M(\text{SNR})$  表示。互信息曲线 404 表示每比特的平均互信息，在将检测到的符号去映射为 4-PAM 的比特位后进行计算。互信息曲线 404 在图 4 中以 SNR 值的函数示出并由函数  $g_M'(\text{SNR})$  表示。互信息曲线 406 表示每比特的香农极限平均互信息。

[0103] 在本发明的各种实施例中，用于 ML 检测的检测器 122 在处理接收的信号向量  $R$  (方程 [1]) 时可以使用匹配滤波器来生成软决策值  $L_{k(1)}$  和 / 或  $L_{k(2)}$ 。在本发明的一个实施例中，检测器 122 可以使用匹配滤波器  $W_1$  来生成软决策值  $L_{k(1)}$ 。匹配滤波器  $W_1$  可以表示为单位矩阵 (unity matrix)，这样匹配滤波器  $W_1$  和信道实现矩阵  $H$  的乘积就是如以下方程所示的三角矩阵：

$$[0104] \quad W_1 H = \begin{bmatrix} a & 0 \\ b & c \end{bmatrix} \quad [18]$$

[0105] 其中  $a$ 、 $b$  和  $c$  是三角矩阵的系数，并且：

$$[0106] \quad W_1^H W_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [19]$$

[0107] 由匹配滤波器  $W_1$  对接收的信号向量  $R$  进行处理而得到的三角矩阵可以实现从接收的信号向量  $R$  中检测到第一空间流，以及实现随后基于 ML 检测方法生成软决策值  $L_{k(1)}$ 。检测到第一空间流后，可以根据连续干扰抵消 (SIC) 方法检测第二空间流。

[0108] 在本发明的各种实施例中，对于一个  $2 \times 2$  MIMO 系统，在该系统中 MIMO 接收器 106 利用 ML 检测第一空间流并使用连续干扰抵消 (SIC) 处理第二空间流的 ML 检测，它的互信息最小上限值可以作为 SNR 值的函数确定。这个最小上限值  $I_{\text{ML-SIC}(1)}$  可以由以下方程确定：

$$[0109] \quad I_{\text{ML}} \leq I_{\text{ML-SIC}(1)} \equiv \frac{C_{\text{Shannon}}}{2 \cdot \log_2 M} - g_M \cdot \left( \frac{c^2}{\sigma^2} \right) \quad [20]$$

[0110] 其中， $I_{\text{ML}}$  表示第一空间流的 ML 检测的互信息， $I_{\text{ML-SIC}(1)}$  表示抵消第一空间流后的第二空间流的 ML 检测的互信息。 $C_{\text{Shannon}}$  表示香农容量 (方程 [17a])， $M$  表示对于给定调制类型每维的级数， $g_M$  表示在去映射前计算的互信息 (图 4，曲线 402)， $c$  表示如方程 [18] 所示的三角矩阵的系数， $\sigma^2$  表示信道噪声功率的标准差 (方程 [1])。

[0111] 参照方程 [20],  $I_{ML}$  的上限值可以等于香农极限值  $I_{Shannon}$  (方程 [17b])。方程 [20] 右边的第一项表示香农上限互信息值。比率  $(c^2/\sigma^2)$  表示匹配滤波器的 SNR 值。因此, 乘积  $g_M \times (c^2/\sigma^2)$  相当于与匹配滤波器相关的互信息值。

[0112] 在本发明的各种实施例中,  $2 \times 2$ MIMO 通信系统中互信息的最小上限值可以确定为一个小于香农上限的值, 这个值至少等于与匹配滤波器相关的互信息值。换言之, 对于使用匹配滤波器的带 ML 检测的 MIMO 接收器 106,  $2 \times 2$ MIMO 通信系统中第一个检测到的空间流的互信息的最小上限值可以等于香农上限互信息值减去与匹配滤波器相关的互信息值, 该值可以用来检测第二空间流。

[0113] 在本发明的各种实施例中, 信道容量值  $C_{ML-SIC(1)}$  可以根据由方程 [20] 计算得到的最小上限互信息值进行计算。根据计算得到的值  $C_{ML-SIC(1)}$ , 可以选择 MIMO 发送器 102 的编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$ , 以便最大化 MIMO 接收器 106 的信息吞吐率。在本发明的一个实施例中, 可以根据计算得到的互信息值  $I_{ML-SIC(1)}$  (方程 [20]) 从 LUT 中选择编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$ 。

[0114] 图 5 是根据本发明一个实施例的用于利用径向基函数网络生成反向映射函数的方法的流程图。如图 5 所示, 在步骤 502, 处理器 312 可以用来计算 SISO 通信系统的作为 SNR 的函数的多个数据包误码率 (PER) 的值。PER 的值可以根据多个选定的编码率的值进行计算。多个 PER 值和 SNR 值可以存储在存储器 314 中。

[0115] 在步骤 504, 处理器 312 可以用来计算  $2 \times 2$ MIMO 通信系统的多个信道实现矩阵 (H)。在步骤 506, 处理器 312 可以用来选择一个或多个编码率并根据选定的编码率和计算得到的信道实现矩阵计算  $2 \times 2$ MIMO 通信系统的多个 PER 值。在本发明的一个实施例中, 计算得到的 MIMO PER 值可以与  $2 \times 2$ MIMO 通信系统中选定的空间流相关, 例如第一空间流  $x_1$ 。 $2 \times 2$ MIMO 通信系统的多个 PER 值可以存储在存储器 314 中。

[0116] 在步骤 508 中, 处理器 312 可以用于根据选定的编码率通过选择一个相当于 MIMO PER 值的 SISO SNR 值将各个的 MIMO PER 值与相应的 SISO SNR 值相关联。处理器可以生成多个数组, 每个数组包括 MIMO 信道实现矩阵 (H) 和基于选定编码率对应的 SISO SNR 值。在步骤 510, 处理器 312 可以利用生成的数组来生成使用 RBF 网络的反向映射函数。

[0117] 图 6 是根据本发明一个实施例的用于利用径向基函数网络进行 CQI 预测的方法的流程图。在图 6 中, 如图 5 所述的反向映射函数可以用于 CQI 预测。在步骤 512, MIMO 接收器 106 可以从 MIMO 发送器 102 接收空间流信号。在步骤 514, MIMO 接收器 106 可以计算信道实现矩阵, 信道实现矩阵表征通信媒介 104 的性能, 通信媒介 104 用于 MIMO 发送器 102 和 MIMO 接收器 106 间的通信。

[0118] 在步骤 516, 与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以根据计算得到的信道实现矩阵利用生成的反向映射函数来计算一个或多个相应的 CQI 值  $q_1$  和  $q_2$ 。在步骤 518, 处理器 312 可以根据计算得到的 CQI 值选择一个或多个编码率。在步骤 520, MIMO 接收器 106 可以向 MIMO 发送器 102 发送选定的编码率。在步骤 522, MIMO 接收器 106 随后可以根据选定的编码率接收编码信息。

[0119] 图 7 是根据本发明一个实施例的用于利用互信息进行 CQI 预测的方法的流程图。参考图 6, 在步骤 602, 处理器 312 可以用于计算带 ML 检测的 MIMO 接收器 106 的第一空间流检测的香农上限互信息值。在步骤 604, 处理器 312 可以用于计算匹配滤波器的互信息值, 该值可以用于检测 MIMO 接收器 106 的第二空间流。匹配滤波器互信息值可以根据使用

SIC 抵消第一空间流后的匹配滤波器的 SNR 值确定。在步骤 606, 处理器 312 可以用于根据香农上限互信息值和匹配滤波器互信息值计算  $2 \times 2$ MIMO 通信系统的联合互信息值。在步骤 608, 处理器 312 可以根据计算得到的联合互信息值选择一个或多个编码率。在步骤 610, MIMO 接收器 106 可以向 MIMO 发送器 102 发送选定的编码率。在步骤 612, MIMO 接收器 106 随后可以根据选定的编码率接收编码信息。

[0120] 在本发明的各种实施例中, 根据反向映射函数 (例如方程 [10] 所示的) 选择的编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$  可以根据计算得到的联合互信息值  $I_{ML-SIC(1)}$  (例如由方程 [20] 计算) 进行调整。在本发明的一个实施例中, 根据基于反向映射函数选择的编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$ , 与 MIMO 接收器 106 连接使用的处理器 312 可以计算 MIMO 发送器 102 同时发送的信号的总数据传输率  $C_{TX}(r_c(1), r_c(2))$ 。处理器 312 可以根据下述条件调整  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$  的值。

$$[0121] \quad C_{TX}(r_c(1), r_c(2)) \leq C_{ML-SIC(1)} \quad [21]$$

[0122] 其中  $C_{ML-SIC(1)}$  表示 MIMO 信道容量, 该值是根据计算得到的互信息值  $I_{ML-SIC(1)}$  进行计算的。换言之, 处理器 312 可以调整编码率值  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$ , 使 MIMO 发送器 102 发送的信号的总数据传输率  $C_{TX}(r_c(1), r_c(2))$  不会超出信道容量值  $C_{ML-SIC(1)}$ , 信道容量值是根据计算得到的联合互信息值  $I_{ML-SIC(1)}$  进行计算的。

[0123] 在本发明的一个实施例中, 处理器 312 可以根据方程 [21] 所示的条件增大编码率  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$ 。在本发明的一个实施例中, 处理器 312 可以根据方程 [21] 所示的条件减小编码率  $r_c(1)$  和 / 或  $r_c(2)$ 。在本发明的一个实施例中, 处理器 312 可以根据方程 [21] 所示的条件增大编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$  中的一个, 同时减小编码率  $r_c(1)$  和  $r_c(2)$  中的另一个。

[0124] 本发明的另一个实施例可以提供一种机器和 / 或计算机可读存储器和 / 或媒介, 其存储的机器代码和 / 或计算机程序包括至少一个代码段, 所述至少一个代码段由机器和 / 或计算机执行, 从而使该机器和 / 或计算机执行上述预测  $2 \times 2$ MIMO 无线系统中最大似然检测 (ML) 的信道质量指数 (CQI) 值的步骤。

[0125] 因此, 本发明可以通过硬件、软件, 或者软、硬件结合来实现。本发明可以在至少一个计算机系统中以集中方方程实现, 或者由分布在几个互连的计算机系统不同部分以分散方方程实现。任何可以实现方法的计算机系统或其它设备都是可适用的。常用软硬件的结合可以是安装有计算机程序的通用计算机系统, 通过安装和执行程序控制计算机系统, 使其按方法运行。

[0126] 本发明还可以通过计算机程序产品进行实施, 程序包含能够实现本发明方法的全部特征, 当其安装到计算机系统中时, 可以实现本发明的方法。本文件中的计算机程序所指的是: 可以采用任何程序语言、代码或符号编写的一组指令的任何表达方程, 该指令组使系统具有信息处理能力, 以直接实现特定功能, 或在进行下述一个或两个步骤之后实现特定功能: a) 转换成其它语言、解码或符号; b) 以不同的格方程再现。

[0127] 虽然本发明是通过具体实施例进行说明的, 本领域技术人员应当明白, 在不脱离本发明范围的情况下, 还可以对本发明进行各种变换及等同替代。另外, 针对特定情形或材料, 可以对本发明做各种修改, 而不脱离本发明的范围。因此, 本发明不局限于所公开的具体实施例, 而应当包括落入本发明权利要求范围内的全部实施方方程。

[0128] 相关申请的交叉引用

[0129] 本申请引用并要求申请日为 2008 年 4 月 25 日、申请号为 61/048,011 的美国专利申请的优先权。

[0130] 本申请引用以下专利申请：

[0131] 申请日为 2009 年 4 月 27 日、申请号为 \_\_\_\_\_ (代理案号 :19474US02) 的美国专利申请；

[0132] 申请日为 2008 年 9 月 10 日、申请号为 12/207,721 的美国专利申请。

[0133] 上述每一专利申请均全文引入本申请中。



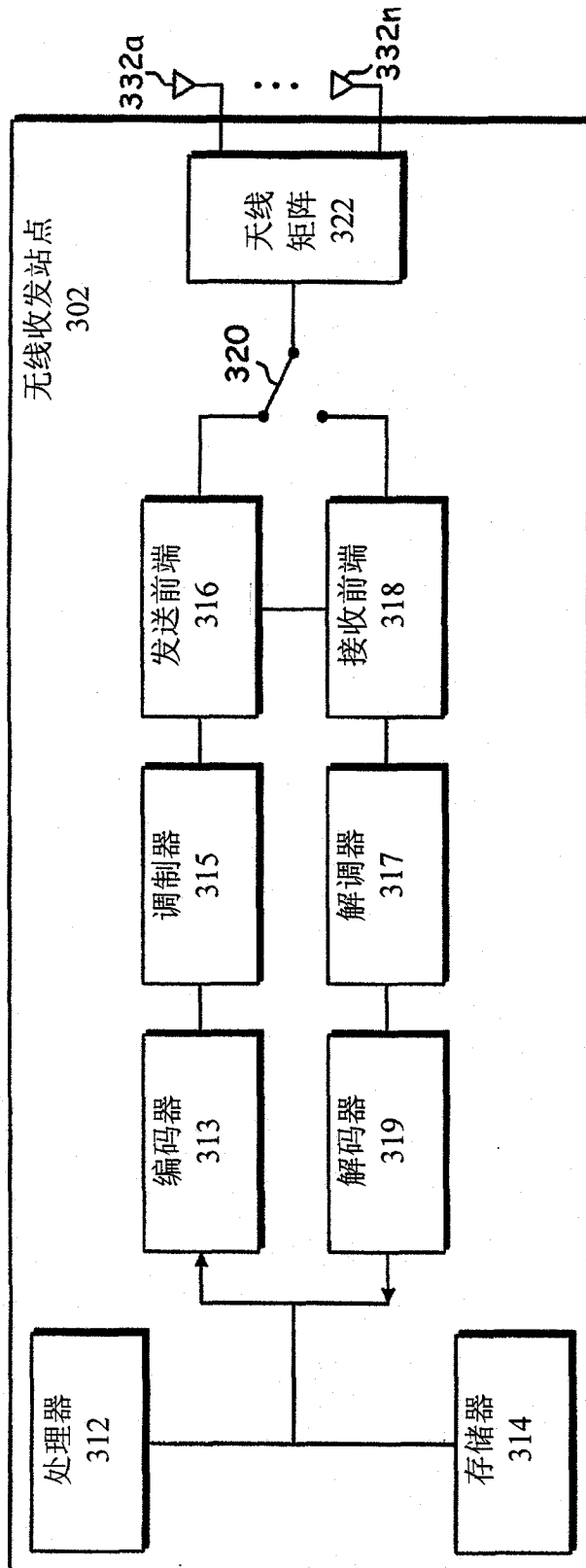


图 1

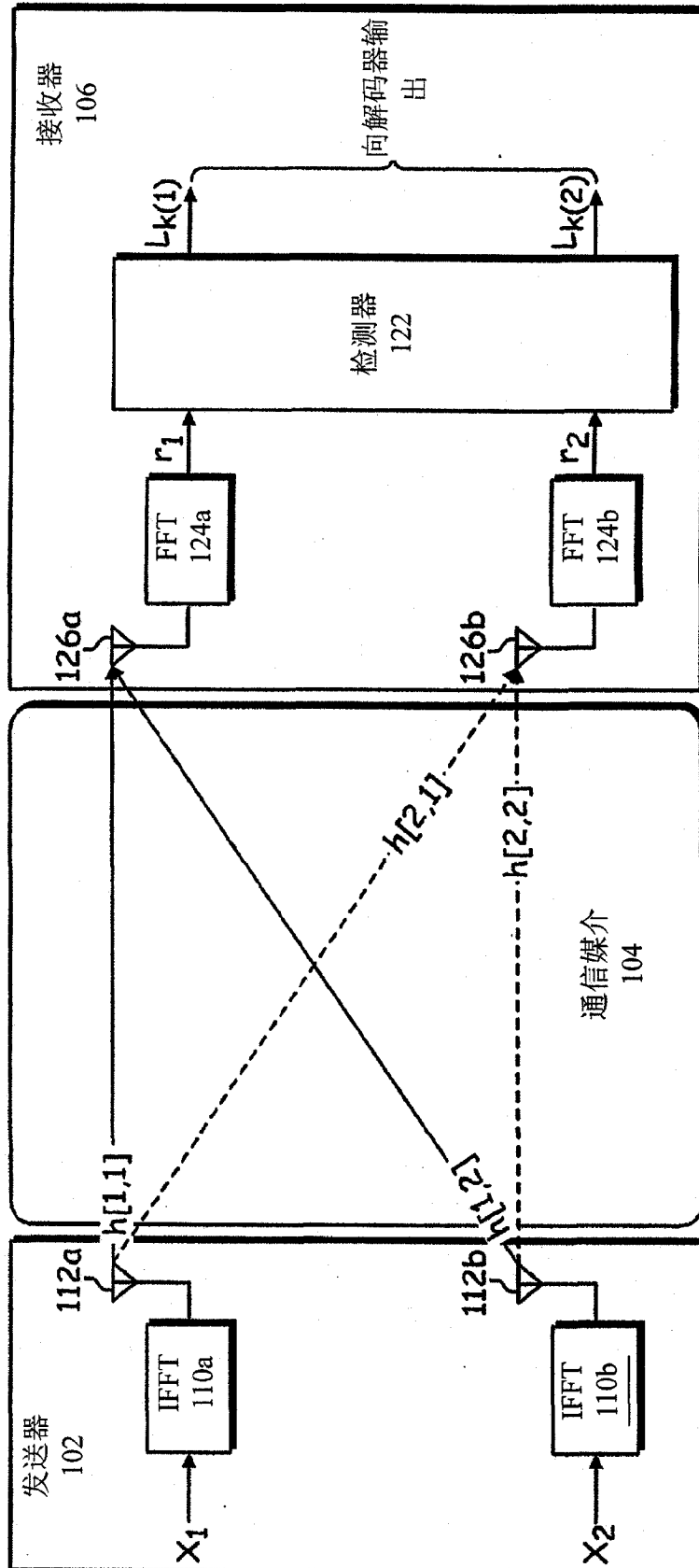


图 2

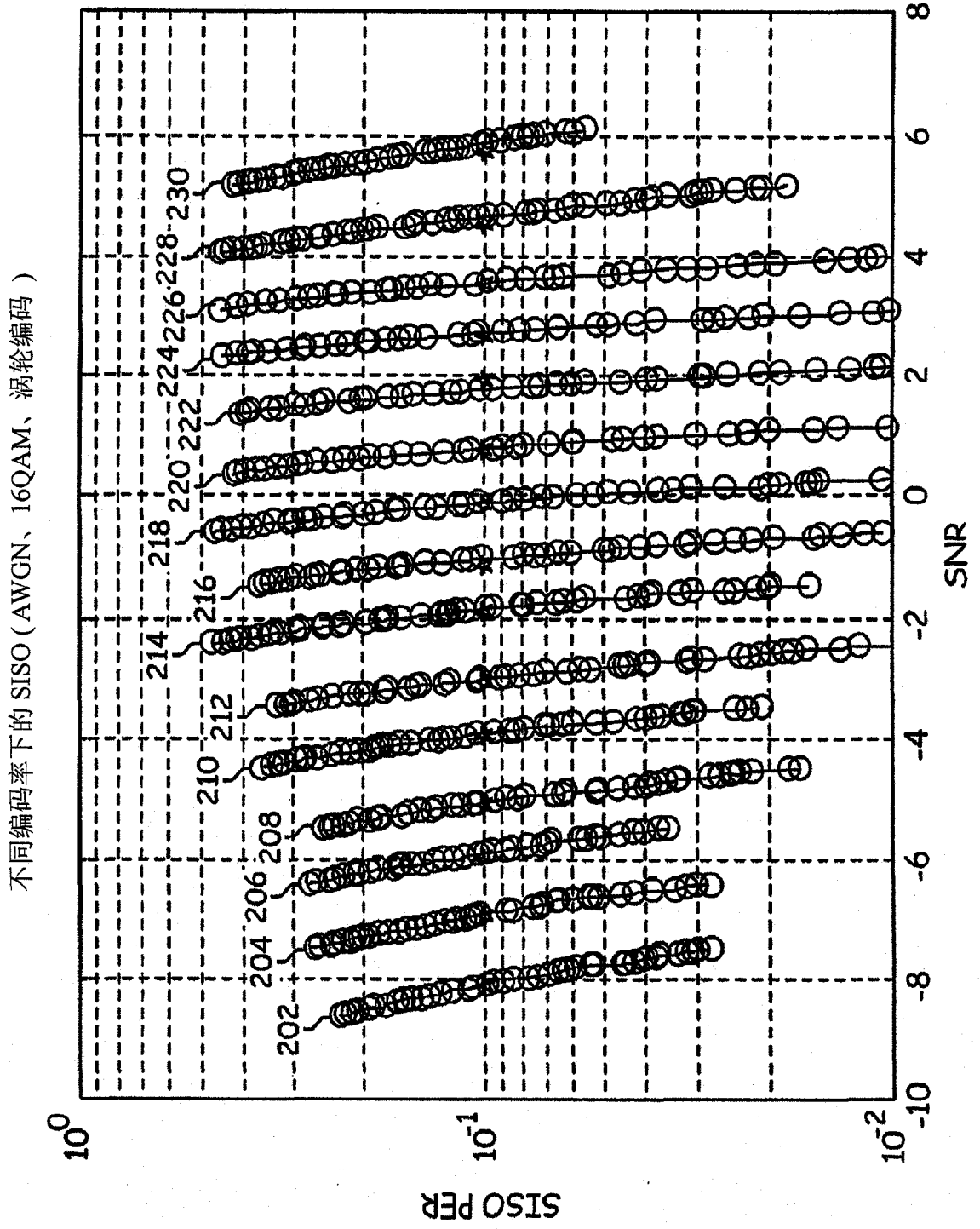


图 3

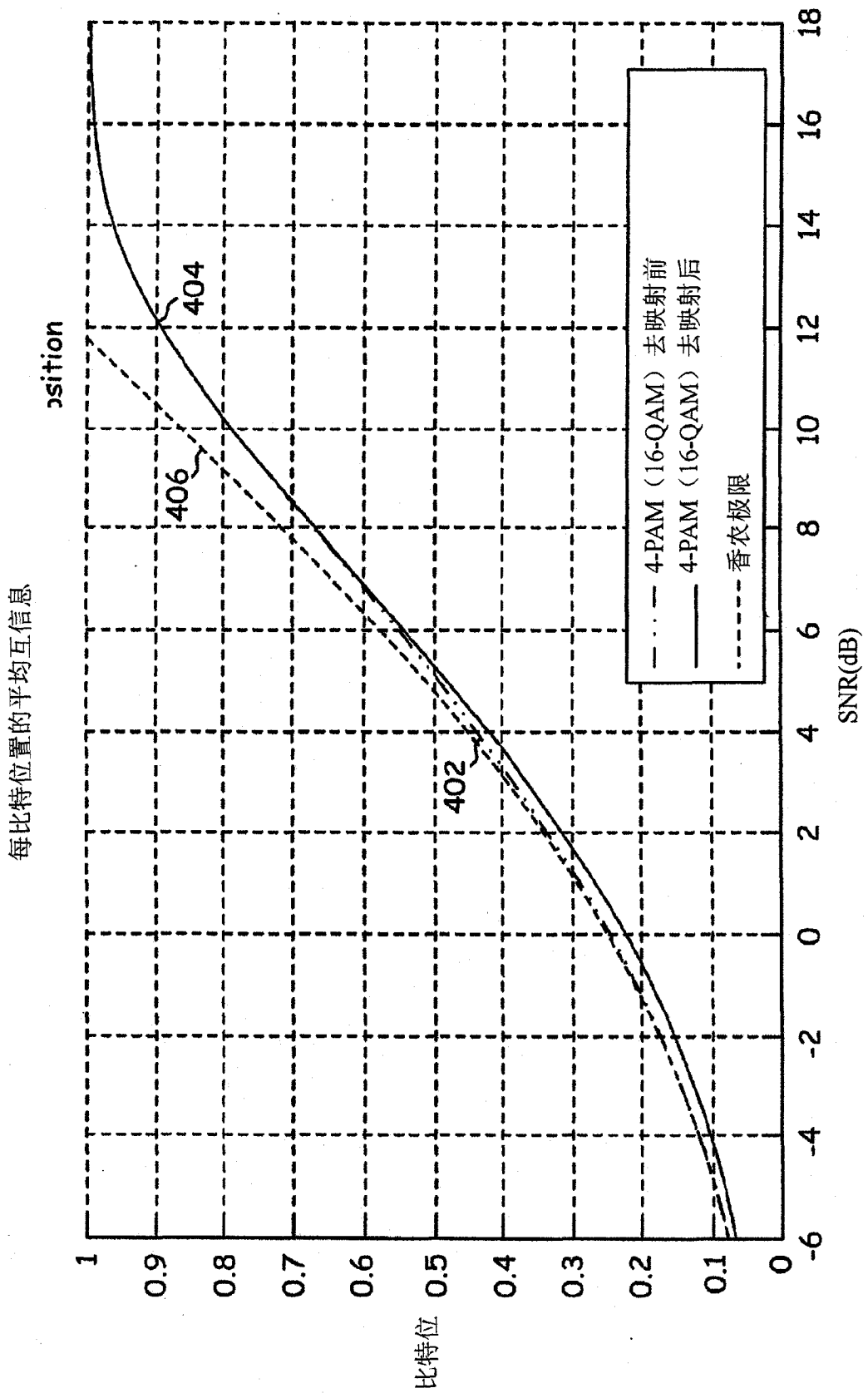


图 4

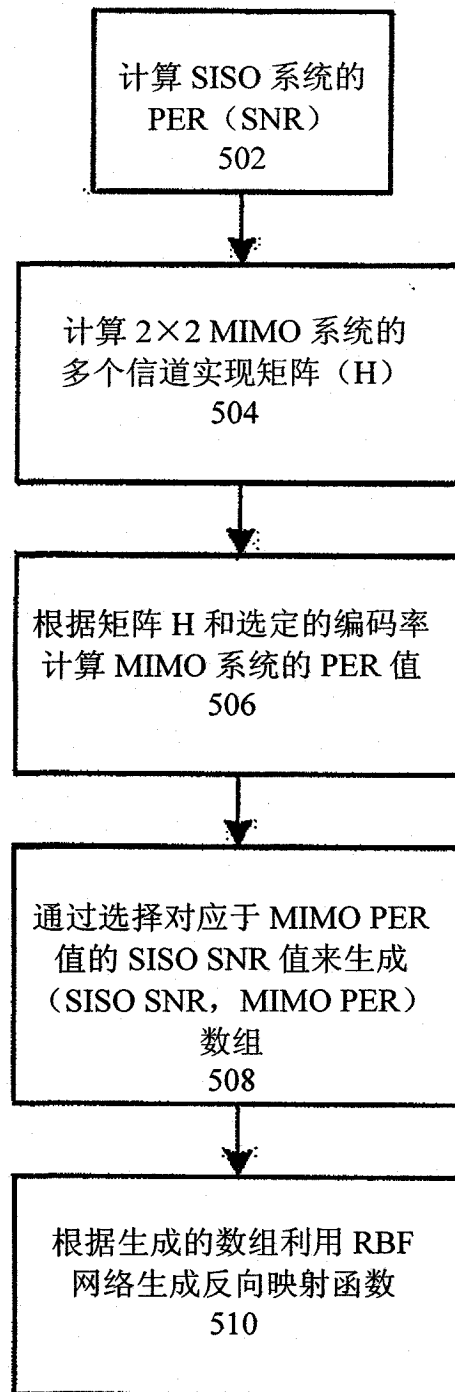


图 5

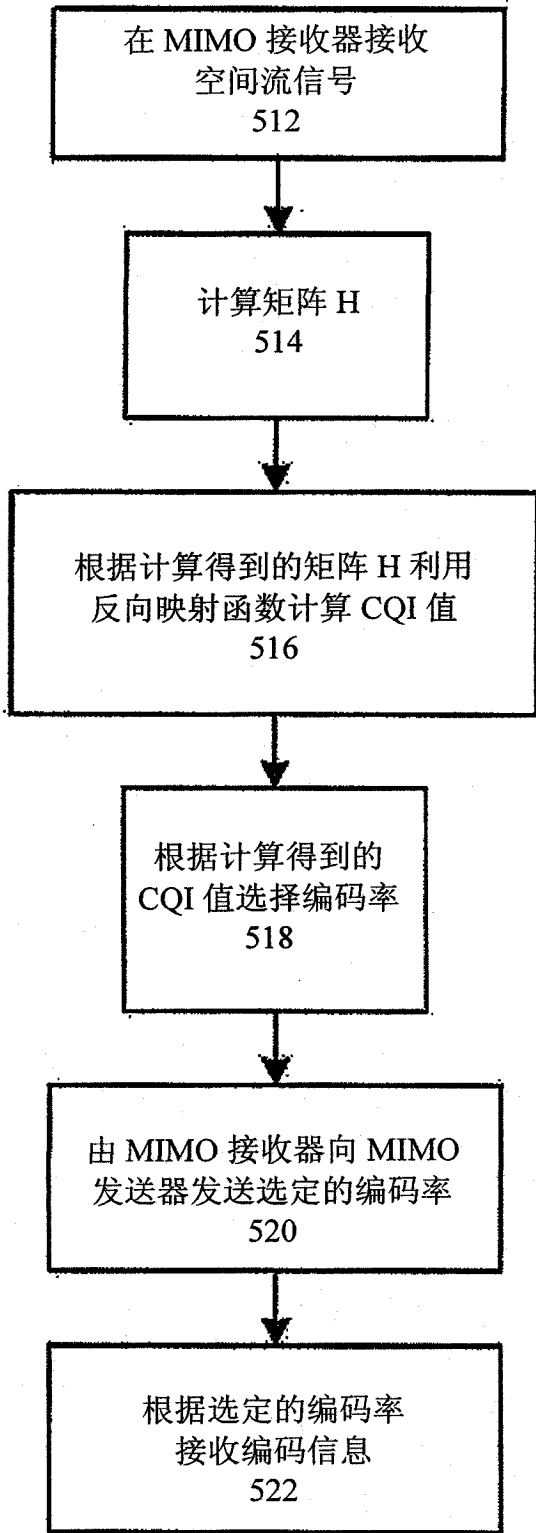


图 6

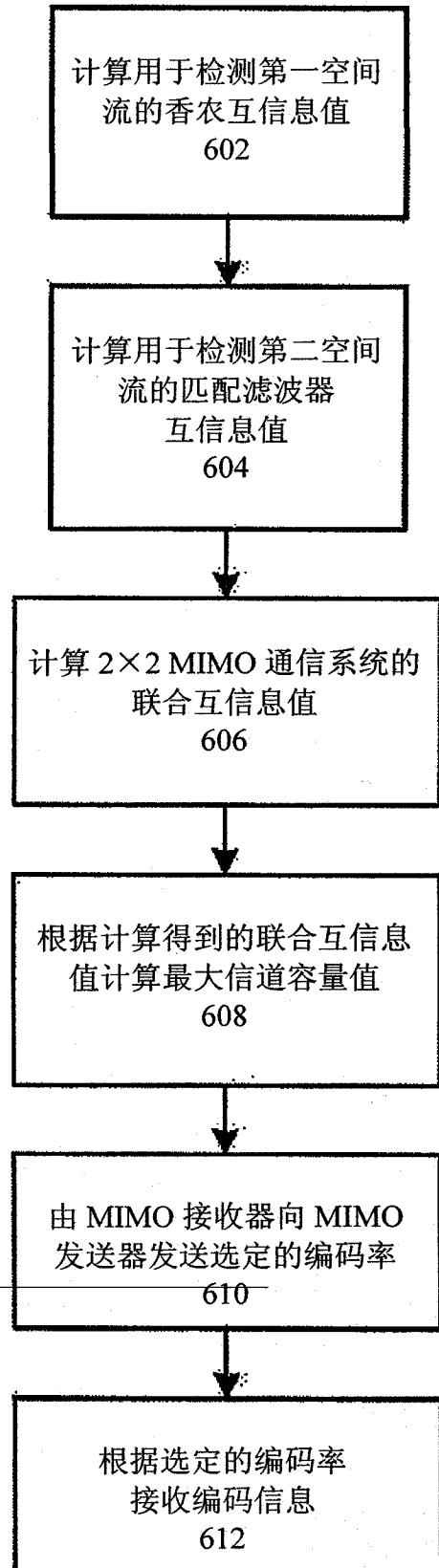


图 7