



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101371537 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 18

(21) 申请号 200780002519. 1

(22) 申请日 2007. 01. 17

(30) 优先权数据

60/759, 453 2006. 01. 17 US

11/521, 182 2006. 09. 14 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 07. 17

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/001233 2007. 01. 17

(87) PCT申请的公布数据

W02007/084562 EN 2007. 07. 26

(73) 专利权人 马维尔国际贸易有限公司

地址 巴巴多斯圣迈克尔

(72) 发明人 康斯坦蒂诺斯·萨里乔尔季迪斯

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 宋鹤

(51) Int. Cl.

H04L 25/02 (2006. 01)

H04L 25/03 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2005185738 A1, 2005. 08. 25, 参加说明书
第 35, 56, 59 — 61 段, 附图 2, 5, 10.

US 2005249303 A1, 2005. 11. 10, 参见说明书

第 17, 20 — 23, 36 — 37, 127 段, 附图 1.

CN 1463083 A, 2003. 12. 24, 全文.

Lok Tiing Tie, Arumugam Nallanathan, Yong
Huat Chew. Decoupled Maximum Likelihood
Multiuser Channel Estimation for
Asynchronous DS-CDMA System. 《Spread
Spectrum Techniques and Applications, 2004
IEEE Eighth International Symposium
on》. 2004, 参见第 92 页左栏第 1 行至第 95 页右
栏第 25 行、图 2.

Lok Tiing Tie, Arumugam Nallanathan, Yong
Huat Chew. Decoupled Maximum Likelihood
Multiuser Channel Estimation for
Asynchronous DS-CDMA System. 《Spread
Spectrum Techniques and Applications, 2004
IEEE Eighth International Symposium
on》. 2004, 参见第 92 页左栏第 1 行至第 95 页右
栏第 25 行、图 2.

审查员 李玉萍

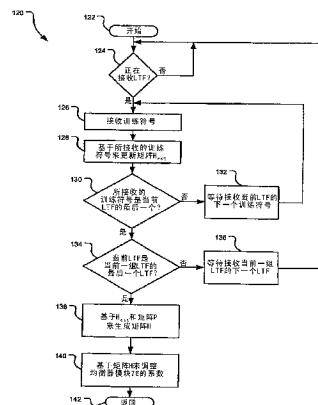
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 7 页

(54) 发明名称

用于 MIMO 均衡器的信道矩阵递归计算

(57) 摘要

一种接收机模块, 包括从无线通信信道接收
数据消息的输入。数据消息具有多个训练字段和
数据。信道估计器模块基于所述多个训练字段来
递归地估计表示所述信道的矩阵 H。递归估计在
所述多个训练字段正在被接收时执行。均衡器模
块基于矩阵 H 对所述数据应用系数。



1. 一种接收机模块,包括:

输入,该输入从无线通信信道接收数据消息,所述数据消息具有多个训练字段和数据,所述多个训练字段在被发送到所述接收机模块之前被根据导引矩阵 P 来处理;

信道估计器模块,该信道估计器模块估计表示所述信道的矩阵 H ,并且基于所述多个训练字段、所述导引矩阵 P 和所述矩阵 H 来递归计算均衡器参数,所述递归计算是在所述多个训练字段正在被接收时被执行的;以及

均衡器模块,该均衡器模块基于所述均衡器参数对所述数据应用系数,

其中所述均衡器参数包括基于第一矩阵的第一组参数、基于第二矩阵的第二组参数和子流信号噪声比向量,其中所述第一矩阵是基于所述矩阵 H 的递归 QR 分解的正交矩阵的共轭转置的,并且所述第二矩阵是基于所述 QR 分解的上三角矩阵的逆的。

2. 如权利要求 1 所述的接收机模块,其中,所述信道估计器模块在接收所述多个训练字段中的第一个训练字段时开始所述递归计算,并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束所述递归计算。

3. 如权利要求 1 所述的接收机模块,其中,所述信道估计器模块在接收到所述多个训练字段中的相应一个训练字段之后执行所述递归计算的每一次迭代。

4. 如权利要求 1 所述的接收机模块,还包括多个 FFT 模块,所述 FFT 模块将所述数据从时域信号转换为频域信号。

5. 如权利要求 4 所述的接收机模块,其中,所述多个 FFT 模块的各个输出与所述均衡器模块的相应输入进行通信。

6. 如权利要求 5 所述的接收机模块,还包括维特比解码器模块,该维特比解码器模块基于从所述均衡器模块的输出传送而来的所述频域信号来生成数据符号。

7. 如权利要求 1 所述的接收机模块,其中,所述多个训练字段符合 IEEE 802.11n。

8. 一种收发机模块,包括如权利要求 1 所述的接收机模块,并且还包括发送机模块。

9. 如权利要求 8 所述的收发机模块,其中,所述发送机模块生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号,并且包括将所述训练符号乘以所述导引矩阵 P 的乘法器模块,其中,所述导引矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

10. 一种操作接收机的方法,包括:

从无线通信信道接收数据消息,所述数据消息具有多个训练字段和数据,所述多个训练字段在被发送之前被根据导引矩阵 P 来处理;

估计表示所述信道的矩阵 H ;以及

基于所述多个训练字段、所述导引矩阵 P 和所述矩阵 H 来递归计算均衡器参数,所述递归计算是在所述多个训练字段正在被接收时被执行的;以及

基于所述均衡器参数对所述数据应用系数,

其中所述均衡器参数包括基于第一矩阵的第一组参数、基于第二矩阵的第二组参数和子流信号噪声比向量,其中所述第一矩阵是基于所述矩阵 H 的递归 QR 分解的正交矩阵的共轭转置的,并且所述第二矩阵是基于所述 QR 分解的上三角矩阵的逆的。

11. 如权利要求 10 所述的方法,其中,所述递归计算在接收所述多个训练字段中的第一个训练字段时开始,并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束。

12. 如权利要求 10 所述的方法,其中,所述递归计算的每一次迭代是在接收所述多个

训练字段中的相应一个训练字段之后执行的。

13. 如权利要求 10 所述的方法,还包括将所述数据从时域信号转换到频域信号。

14. 如权利要求 13 所述的方法,还包括将所述频域信号传送到所述应用系数的步骤。

15. 如权利要求 14 所述的方法,还包括基于从所述应用系数的步骤输出的频域信号来生成数据符号。

16. 如权利要求 10 所述的方法,其中,所述多个训练字段符合 IEEE802.11n。

17. 一种操作收发机模块的方法,包括如权利要求 10 所述的方法,并且还包括经由所述无线通信信道来发送无线信号。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其中,所述发送步骤包括生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号,以及将所述训练符号乘以所述导引矩阵 P ,其中,所述导引矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

用于 MIMO 均衡器的信道矩阵递归计算

技术领域

[0001] 本公开涉及无线通信系统中的信道估计。

背景技术

[0002] 这里所提供的背景描述是为了一般性地给出本公开的上下文。在本背景技术部分所描述的工作的范围内的当前所列发明人的工作以及在申请时可能没有另行界定为现有技术的一些描述方面,既没有明确地也没有隐含地被认同为相对于本公开的现有技术。

[0003] 一些多输入多输出 (MIMO) 无线通信系统可以估计在发送天线和接收天线之间的通信路径中的信道条件或增益。信道估计过程可以包括发送已知的训练符号,接收已知的训练符号,以及对所接收的符号进行处理以估计信道条件。这种估计是基于已知训练符号和所接收的符号之间的差异的。关于信道条件的信息随后可以用于编排接收机均衡器的系数。均衡器于是对信道条件进行补偿。

[0004] 现在参考图 1,示出了 MIMO 通信系统 10 的一个示例,该 MIMO 通信系统 10 符合电气和电子工程师学会 (IEEE) 802.11n 规范,该规范通过引用而全部结合于此。发送机模块 12 经由无线通信信道 16 与接收机模块 14 进行通信。矩阵 H 表示通过信道 16 的信号增益。

[0005] 发送机模块 12 周期性地生成多个长训练字段 (LTF) 18-1, ..., 18-j, 这些长训练字段统称为 LTF 18。每个 LTF 18 都包括多个训练符号 20-1, ..., 20-k, 这些训练符号统称为训练符号 20。乘法器模块 22 将每个训练符号 20 乘以前导导引矩阵 P 的相应列。矩阵 P 的行数目 n 与发送天线 26-1, ..., 26-n 的数目相对应,发送天线 26-1, ..., 26-n 统称为天线 26。矩阵 P 的列数目 j 与 LTF 18 的数目相对应。矩阵 P 确保了训练符号 20 从天线 26 发送时的正交性。矩阵 P 具有条件数 1, 即, $\text{cond}(P) = 1$ 。

[0006] 接收机模块 14 包括经由信道 16 来接收训练符号的接收机天线 30-1, ..., 30-n, 这些接收机天线统称为天线 30。在接收到所有训练符号之后,接收机模块 14 基于已知训练符号 20、矩阵 P 和所接收的训练符号来生成矩阵 H。接收机模块 14 随后可以使用矩阵 H、针对来自天线 30 的信号来调整内部均衡模块的系数。一般希望接收机模块 14 尽可能快地生成矩阵 H。

[0007] 现在将描述矩阵 H 的样本估计。假设 $n = 3$ 并且 $j = 4$ 。发送机模块 12 于是发送 4 个 LTF 18, 并且矩阵 P 是 3×4 矩阵。

$$[0008] \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

[0009] 在接收机模块 14 处估计得到的有效 MIMO 信道用 $\mathbf{H}_{\text{est}} = \mathbf{H}\mathbf{P} \Rightarrow \mathbf{H} = \mathbf{H}_{\text{est}}\mathbf{P}^{-1}$ 来给出, 其中, $\mathbf{H}_{\text{est}}$ 表示对矩阵 H 的估计。对于与每个 LTF 18 相关联的数据, 发送机到接收机通信模型可以用 $\mathbf{y} = \mathbf{H}_{\text{est}}\mathbf{P}^{-1}\mathbf{x} + \mathbf{n}$ 来描述, 其中, $\mathbf{x}$ 表示所发送的数据符号。ZF 解法适用于矩阵 $\mathbf{H}_{\text{est}}\mathbf{P}^{-1}$ 。

[0010] 如果不使用矩阵 P, 则 $y=Hx+n \Rightarrow \hat{x}=R^{-1}Q^*y$, 其中, y 表示所接收的数据符号。在利用矩阵 P 的情况下, $y = H_{\text{est}}P^{-1}x+n$ 。接收机模块 14 使用每个 LTF 18 来估计矩阵 H_{est} 的列。因此, 可以通过等待直到所有列都被估计到并随后估计矩阵 $H_{\text{est}}P^{-1}$ 来估计矩阵 H。接收机模块 14 随后可以对 $H_{\text{est}}P^{-1}$ 执行正交三角分解 (QR), 即, $QR(H_{\text{est}}P^{-1})$ 。但是, 计算密度 (computational density) 增加至 n^3 阶, 即, $O(n^3)$ 。为了满足处理等待时间, 硬件负荷也将基于 $O(n^3)$ 而增加。

[0011] 现在将描述矩阵 P 的效果以清楚地表明以上等式。令 $H_{\text{est}} = QR$ 。在没有矩阵 P 的情况下, 经过均衡的向量由下式给出:

$$[0012] \quad \hat{x} = \frac{1}{\text{diag}(R^{-1}R^{-*})} R^{-1}Q^*y$$

$$[0013] \quad \text{其中, } W_{\text{ll}} = \frac{1}{\text{diag}(R^{-1}R^{-*})}。$$

[0014] 在利用矩阵 P 的情况下, 经过均衡的向量由下式给出:

$$[0015] \quad \hat{x} = \frac{1}{\text{diag}((RP^{-1})^{-1}(RP^{-1})^{-*})} PR^{-1}Q^*y$$

$$[0016] \quad \text{其中, } W_{\text{ll}} = \frac{1}{\text{diag}((RP^{-1})^{-1}(RP^{-1})^{-*})}。$$

[0017] 等效矩阵 RP^{-1} 是全矩阵 (full matrix), 并且对于 $n \times n$ 的计算系统而言, 很难计算其逆。

发明内容

[0018] 一种接收机模块, 包括从无线通信信道接收数据消息的输入。数据消息具有多个训练字段和数据。信道估计器模块基于所述多个训练字段来递归地估计表示所述信道的矩阵 H。递归估计在所述多个训练字段正在被接收时执行。均衡器模块基于矩阵 H 对所述数据应用系数。

[0019] 在其它特征中, 信道估计器模块在接收所述训练字段中的第一个训练字段时开始递归估计, 并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束递归估计。信道估计器模块基于矩阵 P 来估计所述矩阵 H, 其中, 所述多个训练符号在被发送到接收机模块之前被根据矩阵 P 来处理。对矩阵 H 的递归估计包括基于所述多个训练字段来递归地估计矩阵 H_{est} , 以及基于矩阵 P 的逆和矩阵 H_{est} 的最终值来估计矩阵 H。对矩阵 H_{est} 的递归估计的每一次迭代都发生在接收到所述多个训练字段中的相应一个训练字段之后。

[0020] 在其它特征中, 接收机模块还包括多个 FFT 模块, 所述 FFT 模块将所述数据从时域信号转换为频域信号。这些多个 FFT 模块的各个输出与均衡器模块的相应输入进行通信。接收机模块包括维特比解码器模块, 该维特比解码器模块基于从均衡器模块的输出传送而来的频域信号来生成数据符号。所述多个训练字段符合 IEEE 802.11n。

[0021] 在其它特征中, 一种收发机模块包括所述接收机模块, 并且还包括发送机模块。发送机模块生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号, 并且包括将所述训练符号乘以矩阵 P 的乘法器模块。矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

[0022] 一种操作接收机的方法, 包括: 从无线通信信道接收数据消息。该数据消息具有多

个训练字段和数据。该方法包括基于所述多个训练字段来递归地估计表示所述信道的矩阵 H 。递归估计是在所述多个训练字段正在被接收时被执行。该方法还包括基于矩阵 H 对所述数据应用系数。

[0023] 在其它特征中,递归估计步骤在接收所述训练字段中的第一个训练字段时开始,并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束。矩阵 H 基于矩阵 P ,并且所述多个训练符号在被发送之前被根据矩阵 P 来处理。对矩阵 H 的递归估计包括:基于所述多个训练字段来递归地估计矩阵 H_{est} ,以及基于矩阵 P 的逆和矩阵 H_{est} 的最终值来估计矩阵 H 。对矩阵 H_{est} 的递归估计的每一次迭代发生在接收到多个训练字段中的相应一个训练字段之后。

[0024] 在其它特征中,所述方法包括将所述数据从时域信号转换到频域信号。所述方法包括将所述频域信号传送到所述应用系数的步骤。所述方法包括基于从所述应用系数的步骤输出的频域信号来生成数据符号。所述多个训练字段符合 IEEE 802.11n。

[0025] 在其它特征中,所述方法通过包括经由无线通信信道来发送无线信号而适用于操作收发机模块。所述发送步骤包括生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号,以及将所述训练符号乘以矩阵 P 。矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

[0026] 一种接收机模块包括用于从无线通信信道接收数据消息的输入装置。该数据消息具有多个训练字段和数据。信道估计器装置基于所述多个训练字段来递归地估计表示所述信道的矩阵 H 。递归估计在所述多个训练字段正在被接收时执行。均衡器装置基于矩阵 H 对所述数据应用系数。

[0027] 在其它特征中,信道估计器装置在接收所述训练字段中的第一个训练字段时开始递归估计,并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束递归估计。信道估计器装置基于矩阵 P 来估计矩阵 H 。所述多个训练符号在被发送到接收机模块之前被根据矩阵 P 来处理。对矩阵 H 的递归估计包括基于所述多个训练字段来递归地估计矩阵 H_{est} ,以及基于矩阵 P 的逆和矩阵 H_{est} 的最终值来估计矩阵 H 。对矩阵 H_{est} 的递归估计的每一次迭代都发生在接收到所述多个训练字段中的相应一个训练字段之后。

[0028] 在其它特征中,所述接收机模块包括用于将所述数据从时域信号转换为频域信号的多个 FFT 装置。FFT 装置的各个输出与均衡器装置的相应输入进行通信。所述接收机模块包括维特比解码器模块,该维特比解码器模块基于从均衡器模块的输出传送而来的所述频域信号来生成数据符号。所述多个训练字段符合 IEEE 802.11n。

[0029] 在其它特征中,一种收发机模块包括所述接收机,并且还包括用于经由无线通信信道来发送无线信号的发送机装置。该发送机装置生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号,并且包括将所述训练符号乘以矩阵 P 的乘法器装置。矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

[0030] 在其它特征中,由与接收机相关联的处理器执行的计算机程序包括从无线通信信道接收数据消息。数据消息具有多个训练字段和数据。该计算机程序包括基于所述多个训练字段来递归地估计表示所述信道的矩阵 H 。递归估计在所述多个训练字段正在被接收时执行。该计算机程序还包括基于矩阵 H 对所述数据应用系数。

[0031] 在其它特征中,递归估计步骤在接收所述训练字段中的第一个训练字段时开始,并且在接收所述多个训练字段中的最后一个训练字段时结束。矩阵 H 基于矩阵 P ,并且所述多个训练符号在被发送之前被根据矩阵 P 来处理。对矩阵 H 的递归估计包括基于所述多

个训练字段来递归地估计矩阵 H_{est} ，以及基于矩阵 P 的逆和矩阵 H_{est} 的最终值来估计矩阵 H 。对矩阵 H_{est} 的递归估计的每一次迭代发生在接收到所述多个训练字段中的相应一个训练字段之后。

[0032] 在其它特征中，所述计算机程序包括将所述数据从时域信号转换到频域信号。该计算机程序包括将频域信号传送到所述应用系数的步骤。该计算机程序包括基于从所述应用系数的步骤输出的频域信号来生成数据符号。所述多个训练字段符合 IEEE 802.11n。

[0033] 在其它特征中，所述计算机程序通过包括经由无线通信信道来发送无线信号而适用于操作收发机模块。该发送步骤包括生成将包括在所述多个训练字段中的训练符号，并且将训练符号乘以矩阵 P 。矩阵 P 具有等于 1 的条件数。

[0034] 在其它特征中，以上所描述的系统和方法通过由一个或多个处理器执行的计算机程序来实现。计算机程序可以位于计算机可读介质中，该计算机可读介质例如但不限于存储器、非易失性数据存储装置和 / 或其它合适的有形存储介质。

[0035] 从下文所提供的详细描述中，本公开的其它适用领域将变得很清楚。应当了解，虽然详细描述和具体示例指示出本公开的优选实施例，但是它们仅仅是用于例示性的目的的，并且不意图限制本公开的范围。

附图说明

[0036] 从具体实施方式和附图中将更加彻底地理解本公开，在附图中：

[0037] 图 1 是根据现有技术的多输入、多输出 (MIMO) 通信系统的功能框图；

[0038] 图 2 是一种 MIMO 通信系统的功能框图，该 MIMO 通信系统包括采用递归信道估计方法的接收机；

[0039] 图 3 是包括图 2 的接收机的 MIMO 收发机的功能框图；

[0040] 图 4 是由图 2 的通信系统的发送机模块发送的现有技术数据消息的数据示图；

[0041] 图 5 是递归信道估计方法的流程图；

[0042] 图 6A 是高清电视的功能框图；

[0043] 图 6B 是车辆控制系统的功能框图；

[0044] 图 6C 是蜂窝电话的功能框图；

[0045] 图 6D 是机顶盒的功能框图；以及

[0046] 图 6E 是媒体播放器的功能框图。

具体实施方式

[0047] 以下描述实质上仅仅是示例性的，并且决不意图限制本公开、其应用或使用。为了清楚起见，在附图中将使用相同的标号来标识类似元件。这里所使用的术语模块、电路和 / 或设备指的是专用集成电路 (ASIC)、电子电路、执行一个或多个软件或固件程序的处理器（共享的、专用的、或群组）和存储器、组合逻辑电路、和 / 或提供所描述的功能的其它合适组件。这里所使用的短语 A、B 和 C 中的至少一个应当被理解为指使用非排他性逻辑或的逻辑（A 或 B 或 C）。应当了解，方法中的步骤可以在没有改变本公开的原理的情况下以不同顺序来执行。

[0048] 现在参考图 2，MIMO 通信系统 50 的功能框图被示出。通信系统 50 包括采用递归

信道估计方法（在图 5 中示出）的接收机模块 52。递归信道估计算法对无线通信信道 54 中的条件进行估计。递归估计方法从由发送机模块 56 发送的第一长训练序列开始。递归估计方法通过在最后的长训练序列被接收到时生成信道估计矩阵 H 而结束。因为递归估计方法开发了用于在正在接收长训练序列时生成矩阵 H 的基本原理，而不是在接收到长训练序列之后才开始生成矩阵 H ，所以递归估计方法可以比先前已知的方法更快地生成矩阵 H 。矩阵 H 随后可以用于执行接收机模块 52 中的信道均衡，以补偿通信信道 54 的效果。

[0049] 现在将在相关部分中描述通信系统 50。基带模块 58 基于进入数据流来生成数据消息。基带模块 58 将数据消息（在图 4 中示出）传送到编码器模块 60。该数据消息包括符合 IEEE 802.11n 的各个长训练字段。编码器模块 60 基于矩阵 P （在图 1 中示出）将长训练字段编码为 n 个数据流。编码器模块 60 将这 n 个数据流分别传送到 n 个发送信道 62-1, ..., 62- n ，这 n 个发送信道统称为发送信道 62。每个发送信道 62 包括各自的调制模块 64，该调制模块 64 例如利用正交幅度调制 (QAM) 来调制其各自的数据流，并将调制后的数据流传送到各自的反向快速傅立叶变换 (IFFT) 模块 66。IFFT 模块 66 将它们各自的数据流从频域信号转换到时域信号。IFFT 模块 66 将时域信号传送到由天线 68 表示的各自的射频 (RF) 发送机。

[0050] 所发送的数据流通过通信信道 54 来传播。通信信道 54 由于诸如反射、信号衰落等的现象而干扰所发送的数据流。这些干扰可以用矩阵 H 来表示。

[0051] 接收机模块 52 包括用天线 70-1, ..., 70- n 表示的 n 个 RF 接收机。这些 RF 接收机接收所发送的数据流，并将受干扰的时域信号传送到信道估计器模块 72。信道估计器模块 72 基于矩阵 P 和在所接收的数据流中包括的长训练字段来估计矩阵 H 。在一些实施例中，信道估计器模块 72 包括用于存储和 / 或执行以下将描述的递归信道估计方法的处理器 73 和相关联的存储器 75。

[0052] 信道估计器模块 72 将 n 个所接收的数据流分别传送到 n 个快速傅立叶变换 (FFT) 模块 74，并调整均衡器模块 76 的增益。FFT 模块 74 将时域数据流转换为频域数据流，并将它们传送到均衡器模块 76。均衡器模块 76 基于增益来补偿各个数据流，并将补偿后的增益传送到维特比 (Viterbi) 解码器模块 78。维特比解码器模块 78 对这 n 个数据流进行解码以生成所接收的数据流 y_m 。

[0053] 现在参考图 3，图 3 示出了收发机 80 的功能框图，收发机 80 包括发送机模块 56 和接收机模块 52。收发机 80 可以经由天线 82-1, ..., 82- n 与其它收发机 80 进行通信。天线切换模块 84 基于收发机 80 是正在发送还是正在接收而选择性地 将天线 82 连接到发送机模块 56 或接收机模块 52。

[0054] 现在参考图 4，该图示出了 IEEE 802.11n 数据消息 90 的数据示图。数据消息 90 包括数据 92 和包含多个训练字段的前导 94。前导 94 被划分为第一部分 96 和第二部分 98。第一部分 96 可以为既有系统（例如，非 MIMO、IEEE 802.11 通信系统）所使用。第二部分 98 包括信号归档字段 100、短训练字段 102、和 x 个长训练字段 (LTF) 104-1, ..., 104- x ，其中， x 是整数。每个 LTF 104 包括 k 个训练符号 106 或音节 (tone)。短训练字段 102 一般被接收机模块 52 用于建立数据消息 90 的符号定时。信道估计器模块 72 使用 LTF 104 和它们各自的 k 个训练符号 106、基于以下将描述的方法来估计矩阵 H 。

[0055] 现在参考图 5，该图示出了用于估计矩阵 H 的方法 120。方法 120 可以被信道估计

器模块 72 执行。在一些实施例中,方法 120 可以实现为存储在存储器 75 中并由处理器 73 执行的计算机程序或固件。

[0056] 控制从块 122 开始,并前进到判决块 124。在判决块 124 中,控制判断是否正在接收 LTF 104。如果不是,则控制返回到块 122。如果正在接收 LTF 104,则控制从判决块 124 分支到块 126。在块 126 中,控制接收与当前 LTF 104 相关联的训练符号 106。控制随后前进到块 128,并基于当前训练符号 106 来更新矩阵 H_{est} ,这将在以下得到更详细描述。控制随后前进到判决块 130,并判断当前训练符号 106 是否为当前 LTF 104 的最后训练符号 106。如果不是,则控制分支到块 132,并等待当前 LTF 104 的下一个训练符号 106。当下一个训练符号 106 被接收时,控制返回到块 126,并对新的训练符号 106 重复上述步骤。另一方面,如果在判决块 130 中训练符号 106 是当前 LTF 104 的最后训练符号 106,则控制分支到判决块 134。

[0057] 在判决块 134 中,控制判断当前 LTF 104 是否为当前一组 LTF 104 的最后一个 LTF 104(即, LTF 104-x)。如果不是,则控制分支到块 136,并在返回到块 126 之前等待下一个 LTF 104 的开始。另一方面,如果当前 LTF 104 是最后的 LTF 104-x,则控制从判决块 134 分支到块 138。在块 138 中,控制基于矩阵 H_{est} 和矩阵 P 来生成矩阵 H。控制随后前进到块 140,并基于矩阵 H 来调整均衡器模块 76 的增益。控制随后经由终止块 142 返回到其它处理。

[0058] 在信道估计器模块 72 执行方法 120 时,其对 LTF 104 执行分布式 QR。即, $QR(H_{est})$ 。计算密度因而增加为 $O(n^2)$,并且相关硬件和/或处理器 73 的处理等待时间将增加约 $O(n^2)$ 。这表示相对现有技术的改进,例如,降低了对处理功率的需求。现在将提供针对各种 MIMO 维度的通信系统 50 的矩阵 H_{est} 示例估计。

[0059] 2×2 和 2×3 MIMO 情况

[0060] 在 2×2 和 2×3 MIMO 情况中,经过均衡的向量由下式给出:

$$[0061] \quad \hat{x} = \frac{1}{\text{diag}(P_{2 \times 2} R_{2 \times 2}^{-1} R_{2 \times 2}^{-*} P_{2 \times 2}^T)} P_{2 \times 2} R_{2 \times 2}^{-1} Q^* y$$

[0062] 可见

$$[0063] \quad \hat{x} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^2 r_{22}^2}{r_{22}^2 + \|r_{11} + r_{12}\|^2} & 0 \\ 0 & \frac{r_{11}^2 r_{22}^2}{r_{22}^2 + \|r_{11} - r_{12}\|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{r_{11}} & -\frac{r_{12}}{r_{11} r_{22}} \\ 0 & \frac{1}{r_{22}} \end{bmatrix} Q^* y, \text{ 其中}$$

$$[0064] \quad W_{||} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^2 r_{22}^2}{r_{22}^2 + \|r_{11} + r_{12}\|^2} & 0 \\ 0 & \frac{r_{11}^2 r_{22}^2}{r_{22}^2 + \|r_{11} - r_{12}\|^2} \end{bmatrix},$$

$$[0065] \quad P_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{ 并且}$$

$$[0066] \quad R_{2 \times 2}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_{11}} & -\frac{r_{12}}{r_{11}r_{22}} \\ 0 & \frac{1}{r_{22}} \end{bmatrix}。$$

[0067] 4×4 空间复用 (SM) MIMO 情况

[0068] 对于一般性的 $n \times n$ MIMO 通信系统 50, 经过均衡的向量由下式给出:

$$[0069] \quad \hat{x}_n = \frac{1}{\text{diag}(P_n R_n^{-1} R_n^* P_n^T)} P_n R_n^{-1} Q_n^* y, \text{ 其中 } H_{\text{est}, n} = Q_n R_n。$$

[0070] 用于递归解出上式的 $Q_n^* y$ 项的方法是本领域已知的。现在将描述上式的 $P_n R_n^{-1}$ 和 $w_{ll,n} = 1./\text{diag}(P_n R_n^{-1} R_n^* P_n^T)$ 项的递归计算。

[0071] 4×4 SM MIMO 情况——子流 (substream) 信号噪声比 (SNR) 递归令 $w_{ll,n} = 1./\text{diag}(P_{n \times n} R_{n \times n}^{-1} R_{n \times n}^* P_{n \times n}^T)$ 。可见, 对于 $1 \leq j < n$ 而言, 针对 n 个流的 w_{ll} 向量的第 j 个元素可以如下所示地递归计算得到:

$$[0072] \quad \frac{1}{w_{ll,n}^j} = \frac{1}{w_{ll,n-1}^j} + k_j, \text{ 其中, } k_j = (P_{n \times n} \underline{v} \underline{v}^* P_{n \times n}^T)_{jj}, R_{n \times n}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{n-1 \times n-1}^{-1} & \underline{v} \\ \underline{0} & \underline{v} \end{bmatrix}。$$

$$[0073] \quad \text{对于 } j = n, w_{ll,n}^n = \frac{1}{\lambda_n + k_n}$$

$$[0074] \quad \text{其中, } \lambda_n = P(n, 1:n-1) R_{n-1}^{-1} R_{n-1}^* P(n, 1:n-1)^T。$$

[0075] 现在将提供对紧接在前的式子的证明。

$$[0076] \quad R_{n \times n}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{n-1 \times n-1}^{-1} & \underline{v} \\ \underline{0} & \underline{v} \end{bmatrix}$$

$$[0077] \quad \text{diag}(P_{n \times n} R_{n \times n}^{-1} R_{n \times n}^* P_{n \times n}^T) =$$

$$[0078] \quad \text{diag}(P_n \begin{bmatrix} R_{n-1}^{-1} & \underline{v} \\ \underline{0} & \underline{v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{n-1}^{-1} & \underline{v} \\ \underline{0} & \underline{v} \end{bmatrix}^* P_n^T)$$

$$[0079] \quad = \text{diag}(P_n (\begin{bmatrix} R_{n-1}^{-1} R_{n-1}^* & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} \end{bmatrix} + \underline{v} \underline{v}^*) P_n^T)$$

$$[0080] \quad = \text{diag}(P_{n-1} R_{n-1}^{-1} R_{n-1}^* P_{n-1}^T, P_{(n,1:n-1)} R_{n-1}^{-1} R_{n-1}^* P_{(n,1:n-1)}^T) + \text{diag}(P_n \underline{v} \underline{v}^* P_n^T)$$

[0081] 4×4 SM MIMO 情况——处理第 2 个 LTF 104 计算 $R_{2 \times 2}$ 。

$$[0082] \quad \text{计算 } R_{2 \times 2}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/r_{11} & -r_{12}/r_{11}r_{22} \\ 0 & 1/r_{22} \end{bmatrix}。$$

$$[0083] \quad \text{计算 } 1/w_{ll,1} = (r_{22}^2 + \|r_{11} + r_{12}\|^2)/r_{11}^2 r_{22}^2。$$

$$[0084] \quad \text{计算 } 1/w_{ll,2} = (r_{22}^2 + \|r_{11} - r_{12}\|^2)/r_{11}^2 r_{22}^2。$$

$$[0085] \quad \text{令 } \lambda = 1/w_{ll,2}。$$

[0086] 4×4SM MIMO 情况——处理第 3 个 LTF 104

[0087] 基于下式来更新三角矩阵的逆：

$$[0088] \quad R_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} R_{2 \times 2} & [r_{13} & r_{23} & r_{33}]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}, R_{3 \times 3}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{2 \times 2}^{-1} & [\rho_1 & \rho_2 & \rho_3]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$$

[0089] 其中, $\rho_1 = (r_{12}r_{23} - r_{13}r_{22})/r_{11}r_{22}r_{33}$, $\rho_2 = -r_{23}/r_{22}r_{33}$, $\rho_3 = 1/r_{33}$ 。

[0090] 基于以下的式子来更新子流 SNR：

$$[0091] \quad 1/w_{11,1} \rightarrow 1/w_{11,1} + ||\rho_1 - \rho_2 + \rho_3||^2$$

$$[0092] \quad 1/w_{11,2} \rightarrow 1/w_{11,2} + ||\rho_1 + \rho_2 - \rho_3||^2$$

$$[0093] \quad 1/w_{11,3} \rightarrow \lambda + ||\rho_1 + \rho_2 + \rho_3||^2$$

[0094] 基于下式来更新 λ 因子：

$$[0095] \quad \lambda = 1/w_{11,1} + 1/w_{11,2} - 1/w_{11,3} + 8\text{real}(\rho_2)\rho_3。$$

[0096] 4×4SM MIMO 情况——处理第 4 个 LTF 104

[0097] 基于下式来更新三角矩阵的逆：

$$[0098] \quad R_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & [r_{14} & r_{24} & r_{34} & r_{44}]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$$

$$R_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & [r_{14} & r_{24} & r_{34} & r_{44}]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$$

[0099] 其中

$$[0100] \quad \rho_1 = (r_{33}(r_{12}r_{24} - r_{14}r_{22}) - (r_{12}r_{23} - r_{13}r_{22})r_{34})/r_{11}r_{22}r_{33}r_{44},$$

$$[0101] \quad \rho_2 = (r_{34}r_{23} - r_{24}r_{33})/r_{22}r_{33}r_{44}, \rho_3 = -r_{33}/r_{33}r_{44}, \rho_4 = 1/r_{44}。$$

[0102] 基于以下的式子来更新子流 SNR：

$$[0103] \quad 1/w_{11,2} \rightarrow 1/w_{11,2} + ||\rho_1 + \rho_2 - \rho_3 + \rho_4||^2$$

$$[0104] \quad 1/w_{11,3} \rightarrow 1/w_{11,3} + ||\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 - \rho_4||^2$$

$$[0105] \quad 1/w_{11,4} \rightarrow \lambda + ||-\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4||^2$$

$$[0106] \quad 1/w_{11,4} \rightarrow \lambda + ||-\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4||^2。$$

[0107] 计算它们的逆,并将它们存储在可包括在信道估计器模块 72 中的存储器中。

[0108] 3×3SM MIMO 情况——处理第 4 个 LTF 104

[0109] 3×3MIMO 情况采用非四方阵 P。对于三个流而言,发送机模块 56 发送 4 个 LTF 104,并采用以下矩阵 P：

$$[0110] \quad P_3 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}。$$

[0111] 信道估计器模块 72 估计信道矩阵 $H_{\text{est}3 \times 4}$,并且实际矩阵为 $H = H_{\text{est}3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp$ 。所接收的向量可以基于 $y = H_{\text{est}3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp x = Hx$ 。

[0112] 也可以通过直接对 $H_{\text{est}3 \times 4}$ 进行操作来采用分布式解 (distributed solution),而没有形成 H。在分布式解中,令

$$[0113] \quad H_{\text{est}3 \times 4} = QR_{3 \times 4} \text{ 并且}$$

[0114] $H_{\text{est}3 \times 4} = [H_{\text{est}3 \times 3} \ h_4]$

[0115] 于是, $Q^* H_{\text{est}3 \times 4} = [R \ Q^* h_4]$, 其中 $QR = H_{\text{est}3 \times 3}$ 。

[0116] 在一些实施例中, 经过均衡的向量可以基于下式:

[0117] $\hat{x} = (H_{\text{est}, 3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp)^\perp y$ 。

[0118] 可见

[0119] $\hat{x} = P_1^{-1} \underline{z} - \mu \underline{v}$, 其中 $\underline{u} = R^{-1} Q^* h_4$, 并且 $\mu = [1 \ -1 \ 1] \underline{u}$ 。

[0120] 向量 v 基于:

[0121] $\underline{v} = k P_1^{-1} \underline{u}$, 其中, $\underline{u} = R^{-1} Q^* h_4$ 。

[0122] 标量 k 基于:

[0123] $k = 1 / (1 + [1 \ -1 \ 1] \underline{u})$ 。

[0124] 矩阵 P_1^{-1} 基于:

[0125]
$$P_1^{-1} = 2 \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}。$$

[0126] 现在将提供对紧接在前的式子的证明。

[0127] 解由 $\hat{x} = (H_{\text{est}, 3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp)^{-1} y$ 给出。

[0128] 令 $P_{3 \times 4}^\perp = \begin{bmatrix} P_1 \\ p_1 \end{bmatrix}$, 并且将矩阵写为:

[0129] $(H_{\text{est}, 3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp)^{-1} = [H_{\text{est}, 3 \times 3} P_1 + h_4 p_1]^{-1} = [Q R P_1 + h_4 p_1]^{-1}$

[0130] $= P_1^{-1} R^{-1} Q^* - \frac{P_1^{-1} R^{-1} Q^* h_4 p_1 P_1^{-1} R^{-1} Q^*}{1 + p_1 P_1^{-1} R^{-1} Q^* h_4} = [I - \frac{v p_1}{1 + p_1 v}] P_1^{-1} R^{-1} Q^*$

[0131] 其中, $v = P_1^{-1} R^{-1} Q^* h_4$

[0132]
$$P_1^{-1} = 2 \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad p_1 P_1^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

[0133] 3×3 MIMO 情况——求解 W_{II}

[0134] 信道估计器模块 72 基于项 $v = k P_1^{-1} R^{-1} Q^* h_4$ 和 $R^{-1} R^{-*}$ 来计算:

[0135] $W_{\text{II}} = 1 / ((H_{\text{est}, 3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp)^* (H_{\text{est}, 3 \times 4} P_{3 \times 4}^\perp))^{-1}$ 。

[0136] 令矩阵

[0137]
$$R^{-1} R^{-*} = \begin{bmatrix} I_{11} + jQ_{11} & I_{21} - jQ_{21} & I_{31} - jQ_{31} \\ I_{21} + jQ_{21} & I_{22} + jQ_{22} & I_{32} - jQ_{32} \\ I_{31} + jQ_{31} & I_{32} + jQ_{32} & I_{33} + jQ_{33} \end{bmatrix}$$

[0138] 并且, 在 LTF 104 期间, 计算:

[0139] $S_1 = 4(I_{11} - 2I_{21} + I_{22})$

[0140] $S_2 = 4(I_{11} - 2I_{31} + I_{33})$

[0141] $S_3 = 4(I_{22} + 2I_{32} + I_{33})$

$$[0142] \quad S = (I_{11} + I_{22} + I_{33}) - 2(I_{21} + I_{31} - I_{32})$$

$$[0143] \quad S_4 = I_{11} - 2I_{21} + I_{22} - I_{31} + I_{32} + j(Q_{11} + Q_{22} + Q_{31} - Q_{32})$$

$$[0144] \quad S_5 = I_{11} - I_{21} + I_{32} - 2I_{31} + I_{33} + j(Q_{11} + Q_{21} + Q_{32} + Q_{33})$$

$$[0145] \quad S_6 = I_{21} - I_{22} + I_{31} - 2I_{32} - I_{33} + j(Q_{21} - Q_{22} + Q_{31} - Q_{33})$$

[0146] 可见

$$[0147] \quad W_{//1} = 1/(S_1 + S\|v_1\|^2 - 4\text{real}(S_4 v_1^*))$$

$$[0148] \quad W_{//2} = 1/(S_2 + S\|v_2\|^2 - 4\text{real}(S_5 v_2^*))$$

$$[0149] \quad W_{//3} = 1/(S_3 + S\|v_3\|^2 - 4\text{real}(S_6 v_3^*))$$

[0150] 并且 $\underline{v} = kP_1^{-1}\underline{u}$ 。

[0151] 现在将提供以上对 W_{II} 的解的证明。令

$$[0152] \quad H = [QR \quad h_4] P_{3 \times 4}^\perp \Rightarrow Q^* H = [R \quad Q^* h_4] P_{3 \times 4}^\perp = R(P_1 + \underline{u} p_1),$$

$$[0153] \quad \underline{u} = R^{-1} Q^* h_4$$

[0154] 则

$$[0155] \quad (H^* H)^{-1} = (P_1 + \underline{u} p_1)^{-1} R^{-1} R^* (P_1^T + p_1^T \underline{u}^*)^{-1} =$$

$$[0156] \quad (I - \frac{P_1^{-1} \underline{u} p_1}{1 + [1 \quad -1 \quad -1] \underline{u}}) P_1^{-1} R^{-1} R^* P_1^{-T} (I - \frac{p_1^T \underline{u}^* P_1^{-T}}{1 + [1 \quad -1 \quad -1] \underline{u}}) =$$

$$[0157] \quad (P_1^{-1} - v [1 \quad -1 \quad -1]) R^{-1} R^* (P_1^{-T} - [1 \quad -1 \quad -1]^T v^*) =$$

$$[0158] \quad P_1^{-1} R^{-1} R^* P_1^{-T} + v [1 \quad -1 \quad -1] R^{-1} R^* [1 \quad -1 \quad -1]^T v^*$$

$$[0159] \quad -2\text{real}(P_1^{-1} R^{-1} R^* [1 \quad -1 \quad -1] v^*)$$

$$[0160] \quad v = k P_1^{-1} R^{-1} Q^* h_4$$

[0161] 在如上所述确定 $\underline{v} = k P_1^{-1} \underline{u}$ 之后, 信道估计器模块 72 仍然需要递归地更新 $R^{-1} R^*$ 。

在时间 n , 令

$$[0162] \quad R_n^{-1} = [R_{n-1}^{-1} \quad \rho]$$

[0163] 并应用以下恒等式:

$$[0164] \quad R_n^{-1} R_n^* = R_{n-1}^{-1} R_{n-1}^* + \rho \rho^*$$

[0165] 例如,

$$[0166] \quad R_{3 \times 3}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{2 \times 2}^{-1} & [\rho_1 \quad \rho_2 \quad \rho_3]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$$

$$[0167] \quad \rho_1 = (r_{12} r_{23} - r_{13} r_{22}) / r_{11} r_{22} r_{33} \quad \rho_2 = -r_{23} / r_{22} r_{33} \quad \rho_3 = 1 / r_{33}$$

[0168] 3×3 SM MIMO 情况——处理第 1 个 LTF 104

[0169] 信道估计器模块 72 通过计算 $R_1^{-1} = 1/r_{11}$ 来执行第一列消零操作 (nulling)。

[0170] 3×3 SM MIMO 情况——处理第 2 个 LTF 104

[0171] 信道估计器模块 72 基于下式来执行第二列 QR 处理:

[0172] $R_{2 \times 2}^{-1} = \begin{bmatrix} R_1^{-1} & [\rho_1 \ \rho_2]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$, 其中, $\rho_1 = -r_{12}/r_{11}r_{22}$, 并且 $\rho_2 = 1/r_{22}$ 。

[0173] 信道估计器模块 72 随后计算 $||\rho_1||^2, ||\rho_2||^2, \rho_1 \rho_2^*$, 并基于下式来更新 $R^{-1}R^{-*}$:

$$[0174] \quad R_{2 \times 2}^{-1} R_{2 \times 2}^{-*} = \begin{bmatrix} 1/r_{11} + \|\rho_1\|^2 & \rho_1 \rho_2^* \\ \rho_1^* \rho_2 & \|\rho_2\|^2 \end{bmatrix}。$$

[0175] 3×3 SM MIMO 情况——处理第 3 个 LTF 104

[0176] 信道估计器模块 72 通过递归地更新下式来执行第三列 QR 处理 :

$$[0177] \quad R_{3 \times 3}^{-1} = \begin{bmatrix} R_{2 \times 2}^{-1} & [\rho_1 \ \rho_2 \ \rho_3]^T \\ \underline{0} & \end{bmatrix}$$

[0178] 其中, $\rho_1 = (r_{12}r_{23} - r_{13}r_{22})/r_{11}r_{22}r_{33}$ $\rho_2 = -r_{23}/r_{22}r_{33}$ $\rho_3 = 1/r_{33}$ 。

[0179] 信道估计器模块 72 随后可以计算 :

[0180] $||\rho_1||^2, ||\rho_2||^2, ||\rho_3||^2, \rho_1 \rho_2^*, \rho_1 \rho_3^*, \rho_2 \rho_3^*$

[0181] 并基于下式来更新 $R^{-1}R^{-*}$:

$$[0182] \quad R_{3 \times 3}^{-1} R_{3 \times 3}^{-*} = R_{2 \times 2}^{-1} R_{2 \times 2}^{-*} + \rho \rho^*$$

[0183] 信道估计器模块 72 随后可以计算总和 :

$$[0184] \quad S_1 = 4(I_{11} - 2I_{21} + I_{22})$$

$$[0185] \quad S_2 = 4(I_{11} - 2I_{31} + I_{33})$$

$$[0186] \quad S_3 = 4(I_{22} + 2I_{32} + I_{33})$$

$$[0187] \quad S = (I_{11} + I_{22} + I_{33}) - 2(I_{21} + I_{31} - I_{32})$$

$$[0188] \quad S_4 = I_{11} - 2I_{21} + I_{22} - I_{31} + I_{32} + j(Q_{11} + Q_{22} + Q_{31} - Q_{32})$$

$$[0189] \quad S_5 = I_{11} - I_{21} + I_{32} - 2I_{31} + I_{33} + j(Q_{11} + Q_{21} + Q_{32} + Q_{33})$$

$$[0190] \quad S_6 = I_{21} - I_{22} + I_{31} - 2I_{32} - I_{33} + j(Q_{21} - Q_{22} + Q_{31} - Q_{33})$$

[0191] 3×3 SM MIMO 情况——处理第 4 个 LTF 104

[0192] 信道估计器模块 72 计算 :

$$[0193] \quad \underline{u} = R^{-1}Q^* h_4,$$

$$[0194] \quad k = 1/(1 + [1 \ -1 \ 1]\underline{u}), \text{ 和}$$

$$[0195] \quad \underline{v} = kP_1^{-1}\underline{u}。$$

[0196] 信道估计器模块可以将 $\underline{v}$ 存储在存储器 75 中。

[0197] 信道估计器模块 72 基于下式来计算子流 SNR :

$$[0198] \quad W_{u1} = 1/(S_1 + S\|\underline{v}_1\|^2 - 4\text{real}(S_4 \underline{v}_1^*))$$

$$[0199] \quad W_{u2} = 1/(S_2 + S\|\underline{v}_2\|^2 - 4\text{real}(S_5 \underline{v}_2^*))$$

$$[0200] \quad W_{u3} = 1/(S_3 + S\|\underline{v}_3\|^2 - 4\text{real}(S_6 \underline{v}_3^*))$$

[0201] 并且将子流 SNR 存储在存储器 75 中。

[0202] 3×3 SM MIMO 情况——处理数据 92

[0203] 信道估计器模块 72 可以计算 :

$$[0204] \quad \underline{z} = R^{-1}Q^* \underline{y} \text{ 和 } \underline{\mu} = [1 \ -1 \ 1]\underline{z}$$

[0205] 并从存储器 75 读取 $\underline{v}$ 。信道估计器模块 72 随后可以计算：

$$[0206] \quad \hat{\underline{x}} = P_1^{-1} \underline{z} - \mu \underline{v}$$

[0207] 并从存储器 75 读取子流 SNR。均衡器模块 76 可以基于 SNR 来缩放经过均衡的向量。

[0208] 现在参考图 6A-6E, 接收机模块的各种示例性实现方式被示出。现在参考图 6A, 接收机模块可以在高清电视 (HDTV) 420 中实现。接收机模块可以实现 WLAN 接口 429 或者在 WLAN 接口 429 中实现。HDTV 420 接收有线或者无线格式的 HDTV 输入信号, 并生成用于显示器 426 的 HDTV 输出信号。在一些实现方式中, HDTV 420 的信号处理电路和 / 或控制电路 422 和 / 或其它电路 (未示出) 可以处理数据、执行编码和 / 或加密、执行计算、格式化数据和 / 或执行可能需要的任何其它类型的 HDTV 处理。

[0209] HDTV 420 可以与以非易失性方式存储数据的大容量数据存储装置 427 (例如, 光和 / 或磁存储设备) 进行通信。大容量数据存储装置 427 可以包括至少一个硬盘驱动器 (HDD) 和 / 或至少一个数字多功能盘 (DVD) 驱动器。HDD 可以是包括一个或多个直径小于约 1.8" 的盘片的 mini HDD。HDTV 420 可以连接到存储器 428, 存储器 428 例如是 RAM、ROM、诸如闪存之类的低等待时间非易失性存储器和 / 或其它合适的电子数据存储装置。HDTV 420 还可以支持经由 WLAN 网络接口 429 与 WLAN 的连接。HDTV 420 还包括电源 423。

[0210] 现在参考图 6B, 接收机模块可以实现车辆 430 的 WLAN 接口 448 或在其中实现。在一些实现方式中, WLAN 接口 448 与动力传动系控制系统 432 进行通信, 动力传动系控制系统 432 从一个或多个传感器接收输入。传感器的示例包括温度传感器、压力传感器、旋转传感器、气流传感器和 / 或其它合适的传感器, 并且 / 或者生成诸如引擎操作参数、传动装置操作参数和 / 或其它控制信号之类的一个或多个输出控制信号。

[0211] 接收机模块也可以在车辆 430 的其它控制系统 440 中实现。控制系统 440 类似地可以从输入传感器 442 接收信号, 和 / 或向一个或多个输出设备 444 输出控制信号。在一些实现方式中, 控制系统 440 可以是下述系统的一部分: 防抱死刹车系统 (ABS)、导航系统、信息服务系统、车辆信息服务系统、车道偏离系统、自适应巡航控制系统、诸如立体声音响、DVD、光盘之类的车辆娱乐系统等。还可以想到其它实现方式。

[0212] 动力传动系控制系统 432 可以与以非易失性方式存储数据的大容量数据存储装置 446 进行通信。大容量数据存储装置 446 可以包括至少一个 HDD 和 / 或至少一个 DVD 驱动器。HDD 可以是包括一个或多个直径小于约 1.8" 的盘片的 mini HDD。动力传动系控制系统 432 可以连接到存储器 447, 存储器 447 例如是 RAM、ROM、诸如闪存之类的低等待时间非易失性存储器和 / 或其它合适的电子数据存储装置。动力传动系控制系统 432 还可以支持经由 WLAN 网络接口 448 与 WLAN 的连接。控制系统 440 也可以包括大容量数据存储装置、存储器和 / 或 WLAN 接口 (全部均未示出)。车辆 430 还可以包括电源 433。

[0213] 现在参考图 6C, 接收机模块可以在蜂窝电话 450 中实现, 蜂窝电话 450 可以包括蜂窝天线 451。接收机模块可以实现 WLAN 接口 468, 或者在 WLAN 接口 468 中实现。在一些实现方式中, 蜂窝电话 450 包括麦克风 456、诸如扬声器和 / 或音频输出插孔之类的音频输出 458、显示器 460 和 / 或诸如键盘、定点设备、语音激励和 / 或其它输入设备之类的输入设备 462。蜂窝电话 450 中的信号处理和 / 或控制电路 452 和 / 或其它电路 (未示出) 可以处理数据、执行编码和 / 或加密、执行计算、格式化数据和 / 或执行其它蜂窝电话功能。

[0214] 蜂窝电话 450 可以与以非易失性方式存储数据的大容量数据存储装置 464 进行通信。大容量数据存储装置 450 可以包括至少一个 HDD 和 / 或至少一个 DVD 驱动器。HDD 可以是包括一个或多个直径小于约 1.8" 的盘片的 mini HDD。蜂窝电话 450 可以连接到存储器 466, 存储器 466 例如是 RAM、ROM、诸如闪存之类的低等待时间非易失性存储器和 / 或其它合适的电子数据存储装置。蜂窝电话 450 还可以支持经由 WLAN 网络接口 468 与 WLAN 的连接。蜂窝电话 450 还可以包括电源 433。

[0215] 现在参考图 6D, 接收机模块可以在机顶盒 480 中实现。接收机模块可以实现 WLAN 接口 496 和 / 或在 WLAN 接口 496 中实现。机顶盒 480 从诸如广播源之类的源接收信号, 并输出适合显示器 488 的标准和 / 或高清音视频信号, 显示器 488 例如是电视机和 / 或监视器和 / 或其它视频和 / 或音频输出设备。机顶盒 480 的信号处理和 / 或控制电路 484 和 / 或其它电路 (未示出) 可以处理数据、执行编码和 / 或加密、执行计算、格式化数据和 / 或执行任何其它机顶盒功能。

[0216] 机顶盒 480 可以与以非易失性方式存储数据的大容量数据存储装置 490 进行通信。大容量数据存储装置 490 可以包括至少一个 HDD 和 / 或至少一个 DVD 驱动器。HDD 可以是包括一个或多个直径小于约 1.8" 的盘片的 mini HDD。机顶盒 480 可以连接到存储器 494, 存储器 494 例如是 RAM、ROM、诸如闪存之类的低等待时间非易失性存储器和 / 或其它合适的电子数据存储装置。机顶盒 480 还可以支持经由 WLAN 网络接口 496 与 WLAN 的连接。机顶盒 480 还可以包括电源 483。

[0217] 现在参考图 6E, 接收机模块可以在媒体播放器 500 中实现。接收机模块可以实现 WLAN 接口 516 和 / 或在 WLAN 接口 516 中实现。在一些实现方式中, 媒体播放器 500 包括显示器 507 和 / 或诸如键盘、触摸屏等的用户输入 508。在一些实现方式中, 媒体播放器 500 可以采用图形用户界面 (GUI), 该图形用户界面一般经由显示器 507 和 / 或用户输入 508 来利用菜单、下拉菜单、图标和 / 或点击界面。媒体播放器 500 还包括诸如扬声器和 / 或音频输出插孔之类的音频输出 509。媒体播放器 500 的信号处理和 / 或控制电路 504 和 / 或其它电路 (未示出) 可以处理数据、执行编码和 / 或加密、执行计算、格式化数据和 / 或执行任何其它媒体播放器功能。

[0218] 媒体播放器 500 可以与大容量数据存储装置 510 进行通信, 大容量数据存储装置 510 以非易失性方式存储诸如经过压缩的音频和 / 或视频内容之类的数据。在一些实现方式中, 经过压缩的音频文件包括符合 MP3 格式或其它合适的经过压缩的音频和 / 或视频格式的文件。大容量数据存储装置 510 可以包括至少一个 HDD 和 / 或至少一个 DVD 驱动器。HDD 可以是包括一个或多个直径小于约 1.8" 的盘片的 mini HDD。媒体播放器 500 可以连接到存储器 514, 存储器 514 例如是 RAM、ROM、诸如闪存之类的低等待时间非易失性存储器和 / 或其它合适的电子数据存储装置。媒体播放器 500 还可以支持经由 WLAN 网络接口 516 与 WLAN 的连接。媒体播放器 500 还可以包括电源 513。除了上述那些之外, 还可以想到其它实现方式。

[0219] 本领域技术人员现在可以从以上描述中了解到, 本公开的广泛教导可以以各种形式来实现。因此, 虽然本公开包括特定示例, 但是本公开的实际范围不应当如此限制, 因为在研究附图、说明书和以下权利要求之后, 其它变形例对专业人员来说将变得显而易见。

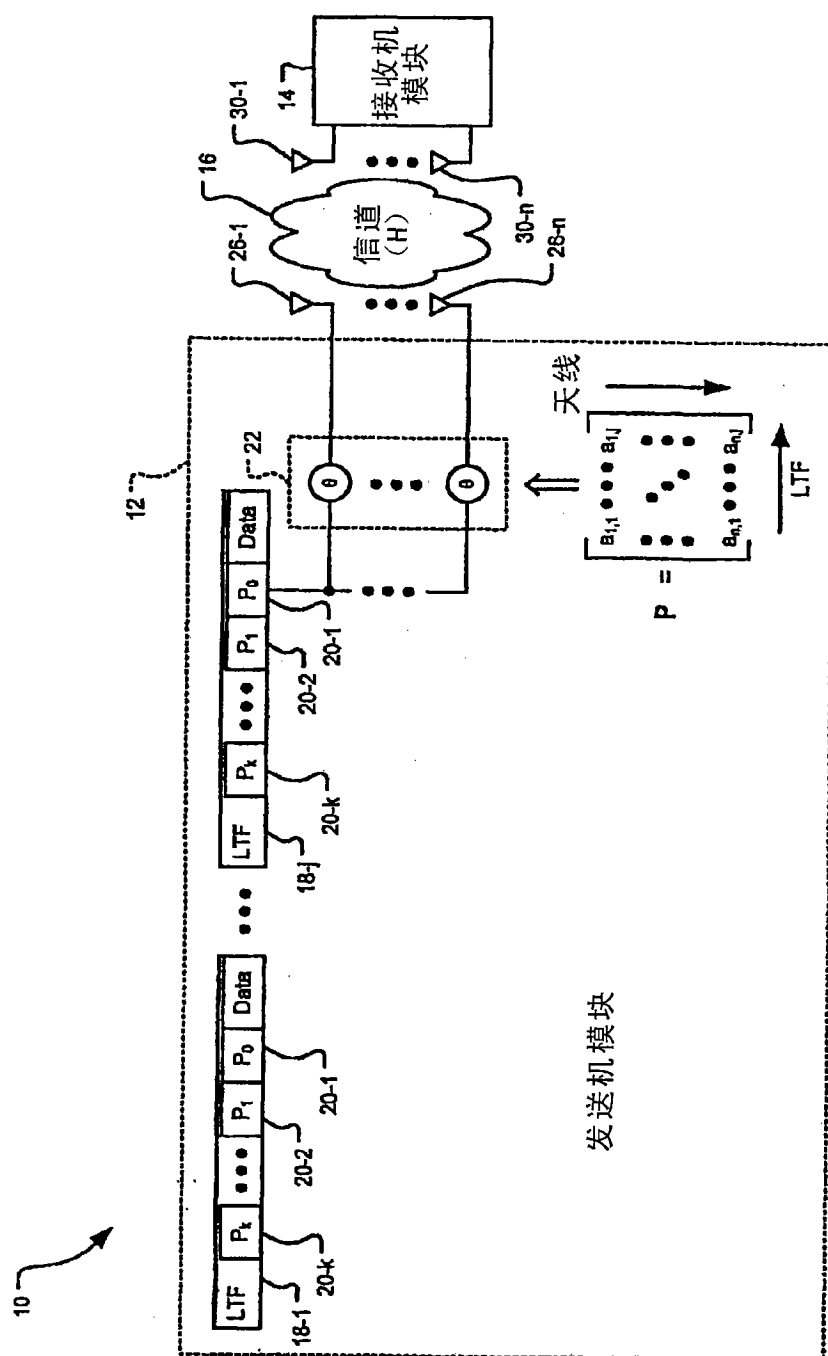
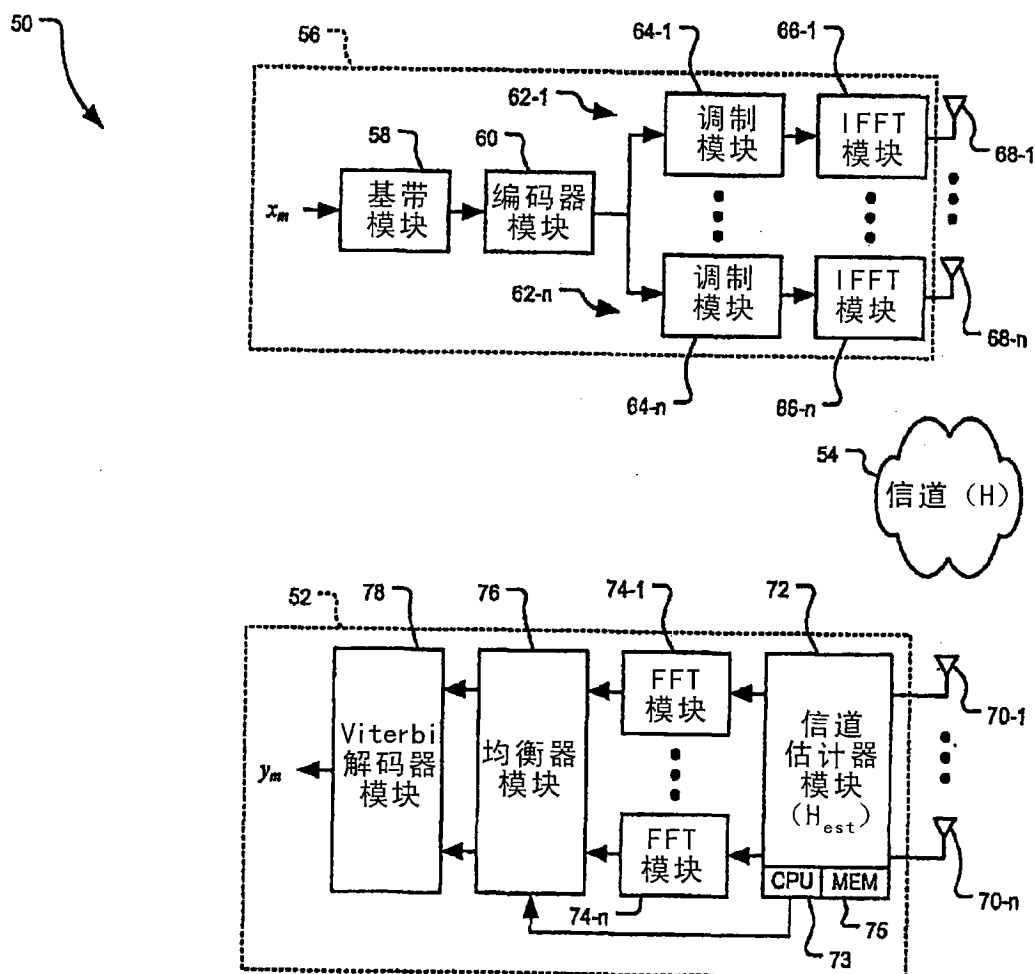


图1
(现有技术)



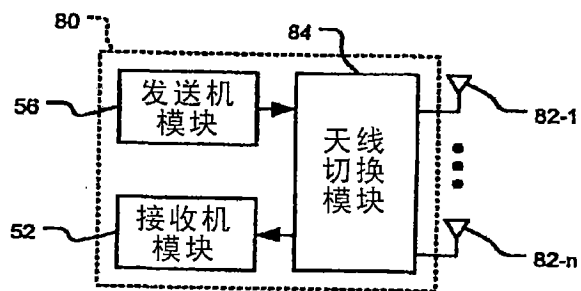


图 3

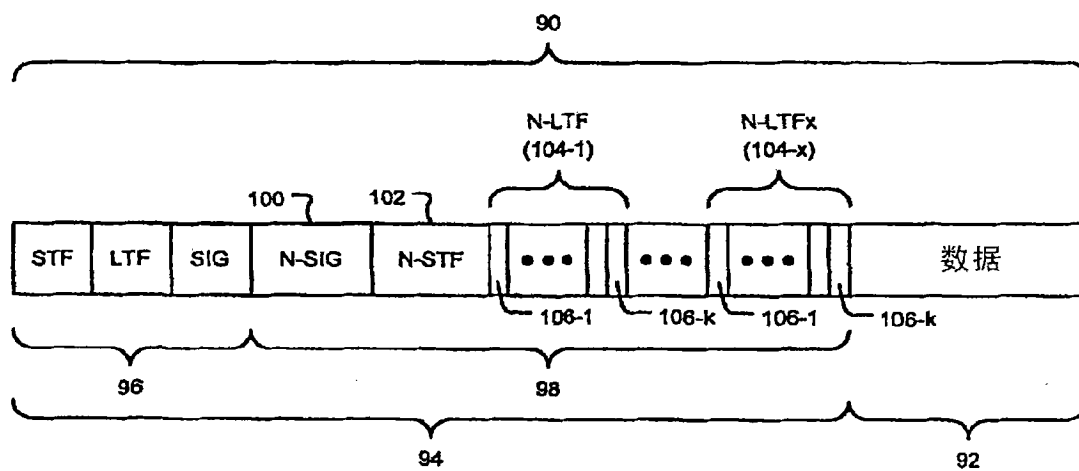


图 4

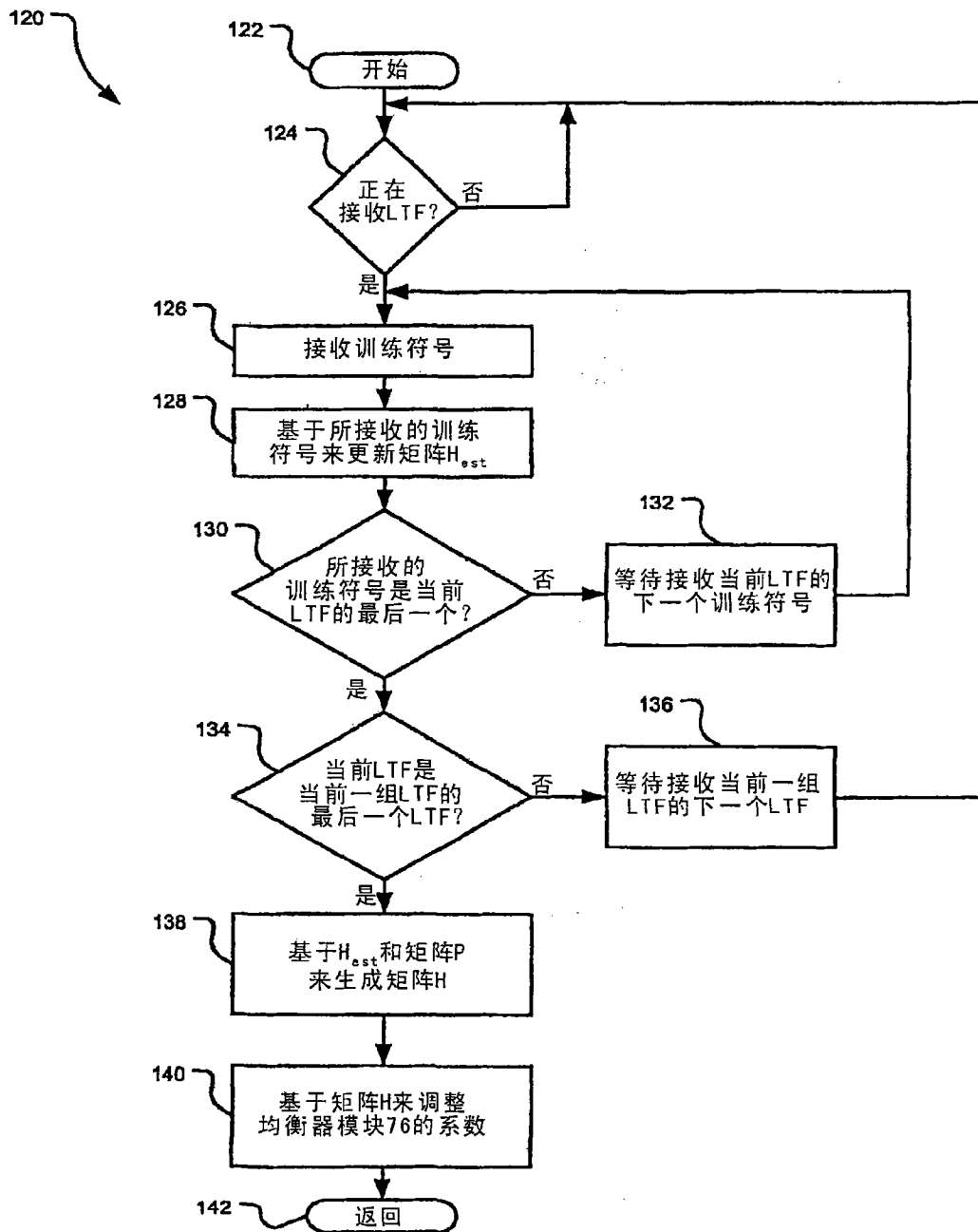


图 5

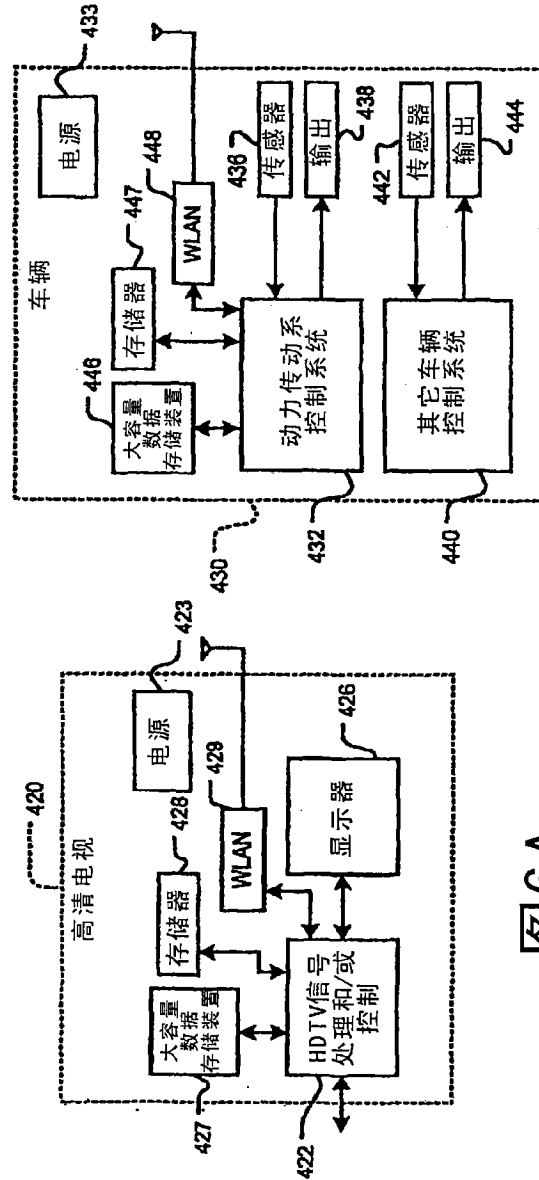


图6A

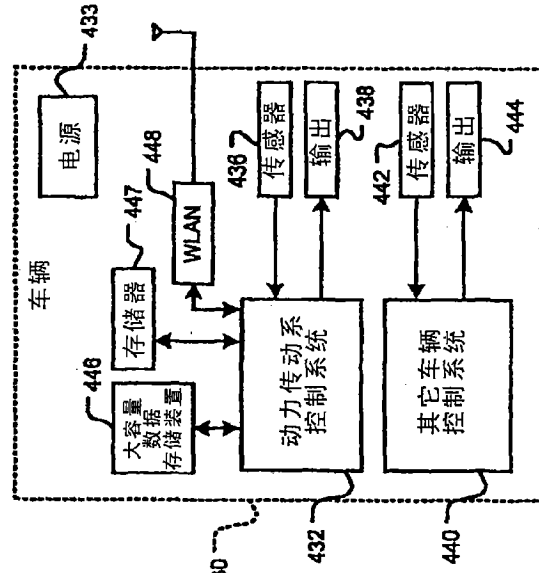


图6B

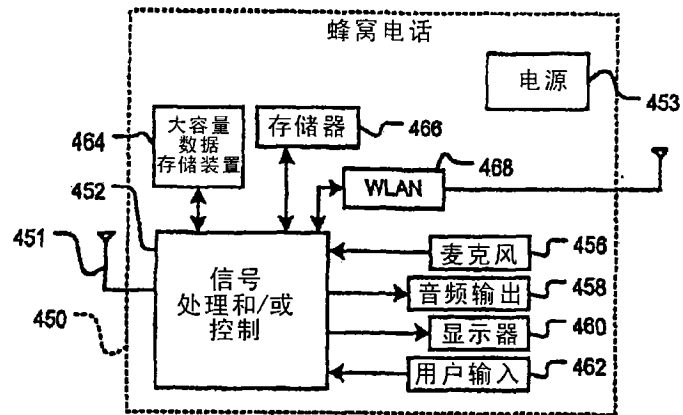


图6C

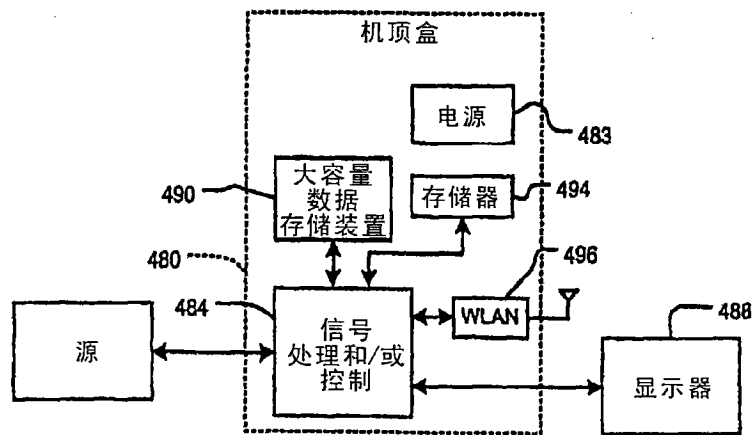


图6D

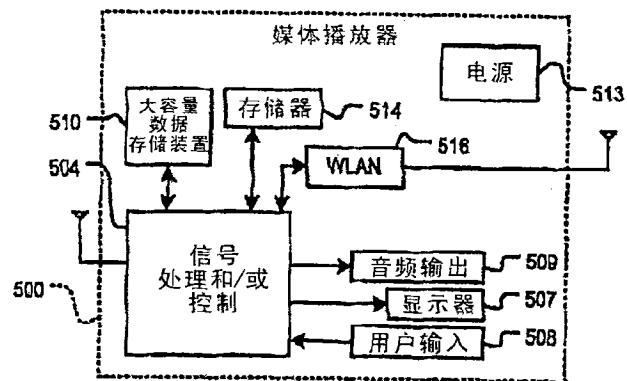


图6E