

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
H04B 7/04 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200780025632.1

[43] 公开日 2009年7月15日

[11] 公开号 CN 101485105A

[22] 申请日 2007.5.16

[21] 申请号 200780025632.1

[30] 优先权

[32] 2006.5.22 [33] US [31] 11/439,040

[86] 国际申请 PCT/IB2007/001275 2007.5.16

[87] 国际公布 WO2007/135520 英 2007.11.29

[85] 进入国家阶段日期 2009.1.6

[71] 申请人 诺基亚公司

地址 芬兰埃斯波

[72] 发明人 J·埃斯卡拉

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所  
代理人 冯 谱 郑 菊

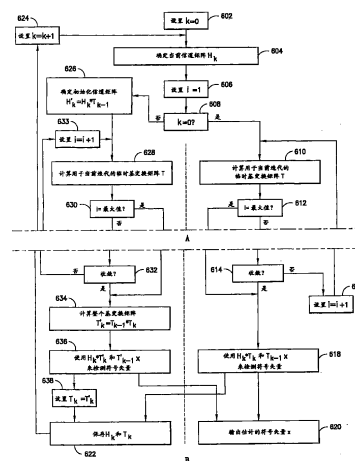
权利要求书4页 说明书15页 附图7页

## [54] 发明名称

低复杂度的格基规约计算

## [57] 摘要

通过多个信道接收信号矢量。确定代表多个信道矩阵中至少一个信道的信道矩阵  $H$ 。迭代算法如 Lenstra - Lenstra - Lovasz 用来确定基变换矩阵  $T$ ，该基变换矩阵在与信道矩阵  $H$  相乘时收敛于比信道矩阵  $H$  更正交的矩阵  $H * T$ 。在一个方面中，为了确定基变换矩阵  $T$  针对任何具体信道实现可以执行迭代算法的迭代次数具有上界(例如 20 或者 30 次迭代)。在另一方面中，利用从先前确定的基变换矩阵导出的矩阵来初始化算法。可以在单个方法或者设备中组合这两个方面或者分别利用这两个方面。



1. 一种用于检测信号的方法，包括：  
通过多个信道接收信号矢量；  
确定代表所述多个信道中至少一个信道的信道矩阵  $\mathbf{H}$ ；  
使用迭代算法、确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ ，所述基变换矩阵在与所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ ，其中所述迭代算法的迭代次数的上界由预定最大值限定；以及  
使用所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  和所述基变换矩阵  $\mathbf{T}$  来检测所接收的信号矢量。
2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述预定最大值等于或者小于所述算法的三十次迭代。
3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中所述迭代算法包括 Lenstra-Lenstra-Lovasz 算法。
4. 根据权利要求 1 所述的方法，其中确定所述基变换矩阵  $\mathbf{T}$  包括利用从所述当前信道矩阵  $\mathbf{H}_k$  和来自先前信道实现的基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$  导出的初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_k$  在首次迭代中初始化所述迭代算法。
5. 一种机器可读指令程序，有形地实施于信息承载介质上并且可由数字信号处理器执行，用以执行与确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$  有关的动作用于对接收的信号进行解码，所述动作包括：  
通过多个信道接收信号矢量；  
确定代表所述多个信道中至少一个信道的信道矩阵  $\mathbf{H}$ ；以及  
使用迭代算法、确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ ，所述基变换矩阵在与所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ ，其中所述迭代算法的迭代次数的上界由预定最大值限定。
6. 根据权利要求 5 所述的程序，其中所述预定最大值存储于所述信息承载介质上并且不大于所述算法的三十次迭代。
7. 根据权利要求 5 所述的程序，其中所述迭代算法存储于所述信息承载介质上并且包括 Lenstra-Lenstra-Lovasz 算法。

8. 根据权利要求5所述的程序，其中确定所述基变换矩阵  $\mathbf{T}$  包括利用从所述当前信道矩阵  $\mathbf{H}_k$  和来自先前信道实现的基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$  导出的初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_k$  在首次迭代中初始化所述迭代算法。

9. 一种接收器，包括：

多个接收天线端口；

信道估计器，具有耦合到所述多个接收天线端口中各接收天线端口的输出的输入和耦合到处理器的输入并且适于确定用于信道实现的信道矩阵  $\mathbf{H}$ ；

矩阵生成器，具有耦合到所述信道估计器的输出的输入并且适于根据迭代算法来确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ ，所述基变换矩阵在与所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比所述信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ ；

寄存器，耦合到所述矩阵生成器并且适于存储所述算法可以执行的迭代次数的上界；以及

存储器，适于存储所述迭代算法，其中一旦达到所述上界，所述处理器终止用于当前信道实现的所述算法的进一步迭代。

10. 根据权利要求9所述的接收器，其中所述存储器适于存储来自先前信道实现的先前基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$ ，而所述处理器利用从所述先前基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$  导出的值来启动所述迭代算法的首次迭代。

11. 根据权利要求10所述的接收器，其中从所述先前基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$  导出的所述值包括通过将当前信道矩阵  $\mathbf{H}_k$  与所述先前基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k-1}$  相乘而导出的初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_k$ 。

12. 一种用于检测信号的方法，包括：

通过多个信道接收信号矢量；

对于第一信道实现，确定代表所述多个信道中至少一个信道的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$ ；

使用迭代算法、确定第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ ，所述第一基变换矩阵在与所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩阵  $\mathbf{H}_1^*\mathbf{T}_1$ ；

对于第二信道实现，确定代表所述多个信道中至少一个信道的

第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ ;

利用从所述第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵来初始化所述迭代算法;

使用所述初始化的迭代算法、确定第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ , 所述第二基变换矩阵在与所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_2$ ; 以及

使用所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  和所述第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$  来检测在所述第二信道实现中接收的信号。

13. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中所述迭代算法的迭代次数的上界由预定最大值限定。

14. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中所述迭代算法包括 Lenstra-Lenstra-Lovasz 算法。

15. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中从所述第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的所述矩阵包括初始信道矩阵  $\mathbf{H}'_2$ , 使得  $\mathbf{H}'_2 = \mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_1$ 。

16. 一种机器可读指令程序, 有形地实施于信息承载介质上并且可由数字信号处理器执行, 用以执行与确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$  有关的动作以用于对接收的信号进行解码, 所述动作包括:

通过多个信道接收信号矢量;

对于第一信道实现, 确定代表所述多个信道中至少一个信道的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$ ;

使用迭代算法、确定第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ , 所述第一基变换矩阵在与所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩阵  $\mathbf{H}_1 * \mathbf{T}_1$ ;

对于第二信道实现, 确定代表所述多个信道中至少一个信道的第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ ;

利用从所述第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵来初始化所述迭代算法;

使用所述初始化的迭代算法、确定第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ , 所述第二基变换矩阵在与所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比所述第二信

道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_2$ ; 以及

使用所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  和所述第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$  来检测在所述第二信道实现中接收的信号。

17. 根据权利要求 16 所述的程序, 其中所述迭代算法的迭代次数的上界由预定最大值限定。

18. 根据权利要求 16 所述的程序, 其中所述迭代算法包括 Lenstra-Lenstra-Lovasz 算法。

19. 根据权利要求 16 所述的程序, 其中从所述第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的所述矩阵包括初始信道矩阵  $\mathbf{H}'_2$ , 使得  $\mathbf{H}'_2 = \mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_1$ 。

20. 一种接收器, 包括:

多个接收天线端口;

信道估计器, 具有耦合到所述多个接收天线端口中各接收天线端口的输出的输入和耦合到处理器的输入并且适于确定用于第一信道实现的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  和用于第二信道实现的第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ ;

矩阵生成器, 具有耦合到所述信道估计器的输出的输入并且适于根据迭代算法来确定用于第一信道实现的第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ , 所述第一基变换矩阵在与所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比所述第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩阵  $\mathbf{H}_1 * \mathbf{T}_1$ , 以及适于根据利用从所述第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵而初始化的所述迭代算法来确定用于所述第二信道实现的第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ , 所述第二基变换矩阵在与所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比所述第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_2$ 。

## 低复杂度的格基规约计算

### 技术领域

这里详述的教导涉及在无线系统中使用规约的格基进行信号检测以检测被发送信号并且对于在多输入/多输出 MIMO 通信系统中检测发送而言特别地有利。

### 背景技术

尽管 MIMO 系统带来了增加数据吞吐量而不增加带宽的可能，但是经由多个天线发送信号和/或在多个天线处接收信号的事实使信号检测与利用单个发送和单个接收天线的系统相比计算复杂。具体而言，发送的信号  $x$  在移动经过无线信道之时受到干扰和噪声。检测接收的信号  $y$  并且通过去除信道干扰来确定它的值以便求解对发送的信号  $x$  是什么的最好估计。代数上为  $y=Hx+n$ ，其中  $H$  是信道矩阵而  $n$  是噪声。根据信道的测量或者估计参数来确定信道干扰以确定信道矩阵  $H$ 。在单个天线的系统中（一个发送天线和一个接收天线），在它们之间有一个信道（忽略多径检测）并且  $H$  是一行。在通过多个信道接收接收的信号  $y$  时、比如当从多个发送天线发送和/或在多个接收天线处接收时，信道不仅仅是加性的，因为  $H$  按行和列扩展，因而为了根据该同一单个信号来确定和从那些多个信道去除影响而涉及到的对应计算随着天线的数目而增加而非线性地增加。为了在 MIMO 系统中求解接收的信号  $y$ ，就对于单个信道的同一置信水平（误比特率）而言，利用了一种比基线单信道场景的要求高许多倍的复杂和迭代过程。由于无线系统使用与更大、固定和交流供电的基站收发器相比电源有限而计算容量减少/更慢的便携收发器，所以增加 MIMO 数据速率的理论因本来最可能从它受益的移动设备的这些实际限制而多少受挫。

考虑从 Nokolai Nefedov 等人的美国专利公开号 2005/0175122 A1 的图 3a 中获得的可以用于 MIMO 信号检测的一种现有技术，在图 1 中示出。如该公开物中详述，图 3a 图示了一种球解码器信号检测方法的简化流程图并且为了简洁而假设相同的发送和接收天线数目  $N_t$ 。在 301 初始化计数器  $i$ ，而在 302 在减少复杂度的球解码器中通过考虑发送的符号  $x_i$  的调制 302a 和关于发送的符号  $x_i$  的先验可靠度信息 302b 来确定发送的符号  $x_i$ 。球解码器的复杂度之所以减少是因为它没有搜索整个信号星座或者网格而是仅搜索其球面子集以求解符号  $x_i$ 。调制方案通常影响球的如下区域，球解码器在该区域中搜寻符号  $x_i$  的值。可以从对当前符号  $x_i$  进行运算的信道解码器或者检错器、从先前检测的符号或者从外部源如另一用户或者服务的信道解码器或者检错器获得先验信息。确定的符号  $x_i$  保持软值直至所有符号  $x_i$  被确定，在该情况下它们被组装成矢量  $\mathbf{x}$  并且在 305 作为硬输出来输出，在 306 针对该硬输出来确定可靠度信息。

Nefedov 公开物描述了在估计  $x_i$  时，按照方程 9 递归地和迭代地更新如方程 6-8 中阐述的估计符号  $x_i$  的上界和下界直至确定  $x_i$  的值或者对  $x_i$  的搜索从不同的初始参数  $x_{i-1}$  再次开始。可见这样执行起来可能在计算上密集。当接收的符号是语音时，必须实时或者接近实时完成符号解码。当接收的符号是大的数据文件（例如视频或者图像数据）时，符号解码无需按照发送的时间顺序，但是通常有量大得多的符号要检测。

除了 Nefedov 在少于整个信号星座的有限球内的搜索之外，格基规约是一种用以减少这一计算密集度的方式。具体而言，在 MIMO 检测系统中的格基规约计算信道  $\mathbf{H}$  的基变换矩阵  $\mathbf{T}$ ，从而  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$  比  $\mathbf{H}$  更接近于正交矩阵。基变换矩阵  $\mathbf{T}$  是幺模整数矩阵，这意味着它的元素仅为整数并且其行列式  $\text{DET}(\mathbf{T})=\pm 1$ 。然后通过利用  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$  和  $\mathbf{T}^{-1}\mathbf{x}$  而不是  $\mathbf{H}$  和  $\mathbf{x}$  进行运算来执行 MIMO 符号检测，其中  $\mathbf{x}$  是发送的符号矢量。 $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$  的接近正交性的性质以线性检测技术（零强制、最小均方误差）获得相对小的噪声增强，因而维持良好的检测性能。

格基规约也可以用来提高低复杂度的非线性 MIMO 检测器如串行干扰消除 (SIC) 检测器的性能。

一种计算基变换矩阵  $\mathbf{T}$  的方法是利用 Lenstra-Lenstra-Lovasz (LLL) 算法。LLL 算法在通过援引结合于此的 A.K. Lenstra, H.W. Lenstra 和 L Lovasz 在 *Math Ann* 261 第 515-534 页 (1982 年) 的标题为 FACTORING POLYNOMIALS WITH RATIONAL COEFFICIENTS 的论文中有具体详述。LLL 算法广泛地使用于无线通信领域, 但是在某些条件之下它也可能强加高的计算负担。

在本领域中需要的是一种符号检测方法和装置, 其以与现有技术相比有所减少的复杂度来进行操作以便就功率消耗、计算容量和时间而言对于在 MIMO 系统中操作的移动平台中求解接收的符号是可行的。

### 发明内容

根据这些教导的当前描述实施例来克服前述和其它问题并且实现其它优点。

根据本发明的一个示例实施例, 提供一种用于检测信号的方法。首先通过多个信道接收信号矢量。确定代表多个信道中至少一个信道的信道矩阵  $\mathbf{H}$ 。使用迭代算法, 确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ , 该基变换矩阵在与信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ 。迭代算法的迭代次数的上界由预定最大值限定。信道矩阵  $\mathbf{H}$  和基变换矩阵  $\mathbf{T}$  用来检测接收的信号矢量。

根据本发明的另一示例实施例, 提供一种机器可读指令程序, 该程序有形地实施于信息承载介质上并且可由数字信号处理器执行、用以执行与确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$  有关的动作以用于对接收的信号进行解码。这些动作包括: 通过多个信道接收信号矢量; 确定代表多个信道中至少一个信道的信道矩阵  $\mathbf{H}$ ; 然后使用迭代算法、确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ , 该基变换矩阵在与信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ 。迭代算法的迭代次数的上界由预定最大

值限定。

根据本发明的另一示例实施例，提供一种接收器，该接收器包括：多个接收天线端口、信道估计器、矩阵生成器、寄存器、存储器和处理器。信道估计器具有耦合到多个接收天线端口中各接收天线端口的输出的输入和耦合到处理器的输入并且适于确定用于信道实现的信道矩阵  $\mathbf{H}$ 。矩阵生成器具有耦合到信道估计器的输出的输入并且适于根据迭代算法来确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$ ，该基变换矩阵在与信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘时收敛于比信道矩阵  $\mathbf{H}$  更正交的矩阵  $\mathbf{H}*\mathbf{T}$ 。这简化了检测。寄存器耦合到矩阵生成器并且适于存储算法可以执行的迭代次数的上界。存储器适于存储迭代算法。一旦达到上界，处理器终止用于当前信道实现的算法的进一步迭代。

根据本发明的另一示例实施例，提供一种用于检测信号的方法。在这一方法中，通过多个信道接收信号矢量。对于第一信道实现，确定代表多个信道中至少一个信道的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$ 。迭代算法用来确定第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ ，该第一基变换矩阵在与第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩阵  $\mathbf{H}_1*\mathbf{T}_1$ 。对于第二信道实现，确定代表多个信道中至少一个信道的第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ 。利用从第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵来初始化迭代算法，而初始化的迭代算法用来确定第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ ，该第二基变换矩阵在与第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2*\mathbf{T}_2$ 。第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  和第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$  用来检测在第二信道实现中接收的信号。

根据本发明的另一示例实施例，提供一种机器可读指令程序，其有形地实施于信息承载介质上并且可由数字信号处理器执行、用以执行与确定基变换矩阵  $\mathbf{T}$  有关的动作以用于对接收的信号进行解码。这些动作包括：通过多个信道接收信号矢量；对于第一信道实现，确定代表多个信道中至少一个信道的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$ ；并且使用迭代算法以确定第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ ，该第一基变换矩阵在与第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩

阵  $\mathbf{H}_1 * \mathbf{T}_1$ 。另外，这些动作继续对于第二信道实现来确定代表多个信道中至少一个信道的第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ 。利用从第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵来初始化迭代算法，而初始化的迭代算法用来确定第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ ，该第二基变换矩阵在与第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_2$ 。第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  和第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$  用来检测在第二信道实现中接收的信号。

根据本发明的另一示例实施例，提供一种接收器，该接收器包括多个接收天线端口、信道估计器、处理器和矩阵生成器。信道估计器具有耦合到多个接收天线端口中各接收天线端口的输出的输入和耦合到处理器的输入并且适于确定用于第一信道实现的第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  和用于第二信道实现的第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$ 。矩阵生成器具有耦合到信道估计器的输出的输入并且适于根据迭代算法来确定用于第一信道实现的第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$ ，该第一基变换矩阵在与第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  相乘时收敛于比第一信道矩阵  $\mathbf{H}_1$  更正交的第一组合矩阵  $\mathbf{H}_1 * \mathbf{T}$ 。矩阵生成器也适于根据利用从第一基变换矩阵  $\mathbf{T}_1$  导出的矩阵而初始化的迭代算法来确定用于第二信道实现的第二基变换矩阵  $\mathbf{T}_2$ ，该第二基变换矩阵在与第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  相乘时收敛于比第二信道矩阵  $\mathbf{H}_2$  更正交的第二组合矩阵  $\mathbf{H}_2 * \mathbf{T}_2$ 。

下文详述关于各种实施例和实现方式的更多细节。

## 附图说明

这些教导的前述和其它方面在结合附图来阅读时的以下具体描述中变得更清楚，在附图中：

图 1 是从美国公开号 2005/0175122 A1 的图 3a 取得的用于信号检测的球解码器的现有技术简化流程图。

图 2 是包括 MIMO 发送设备和 MIMO 接收设备的 MIMO 系统的示意图，各设备具有通过由矩阵  $\mathbf{H}$  表征的信道进行通信的四个操作天线。

图 3 是根据本发明一个实施例的收发器设备的示意图。

图4是针对8×8MIMO系统示出了平均条件数和最大条件数的条件数比对LLL外算法循环的曲线图。

图5是在Lenstra-Lenstra-Lovasz算法中CDF比对迭代的曲线图。

图6是图示了在执行本发明的示例实施例时的步骤的处理流程图。

### 具体实施方式

在图2中以简化示意的形式示出了广义MIMO通信系统10，其中发送设备12如移动电话网络的基站收发器从四个发送天线14(标记为 $T_1$ 至 $T_4$ )中的各发送天线发送符号矢量 $x=\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_i\}$ ，而接收设备16如移动台通过MIMO信道20接收发送的符号矢量 $y=\{y_0, y_1, y_2, \dots, y_i\}$ 。信道20由信道矩阵 $H$ 表征。从一个发送天线14到一个接收天线18的各子信道表示为信道矩阵的一个元素 $h_{ij}$ ，其中下标表示从发送天线到接收天线的路径，从而对于图2中所示四个发送天线14和四个

$$H = \begin{Bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \end{Bmatrix}$$

接收天线18而言信道矩阵是。注意在图2中仅示出了发自发送天线1和4的子信道以免混乱。当包括多径效应时，更多元素 $h$ 存在于信道矩阵中。在接收设备14的接收天线阵列18处接收的信号矢量于是表示为 $y=Hx+n$ ，其中 $n$ 是加性(高斯)噪声矢量。当系统10是时分多址系统时，信道矩阵 $H$ 可以代表如下多个路径，符号矢量 $x$ 沿着这些路径将途中路由传递到接收天线。在码分多址系统中，符号矢量 $x$ 的元素代表利用特定码来扩展的符号。

如上所述，一种用以在接收设备中用于检测符号矢量 $y$ 时减少复杂度的方式是使用LLL算法或者其它技术将矩阵 $H$ 转换成更正交的矩阵。一般而言，实正交矩阵是其转置为它的逆矩阵的方阵 $Q$ 。在代数上这可以记为 $Q^T Q = Q Q^T = I$ 或者 $Q^T = Q^{-1}$ (其中上标 $T$ 代表矩阵转置而 $I$ 是单位矩阵)。矩阵 $H$ 到更接近于这一理想正交性的矩阵的任何有意转换是到更正交的矩阵的转换。LLL算法计算称之为基变换

矩阵  $\mathbf{T}$  的矩阵（可以利用整数变换来调节）并且将它与信道矩阵  $\mathbf{H}$  相乘产生更正交的矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$ 。一般而言，LLL 算法的各相继迭代有意地将用于该迭代的组合矩阵  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}$  与上一次迭代相比（或者在首次迭代的情况下与原始矩阵  $\mathbf{H}$  相比）更接近于理想正交性进行转换。尽管一次或者两次迭代偶尔可能产生正交性低于前一次迭代的矩阵，但是经过数次迭代的趋势是朝着正交性。发明人认识到现有技术中在利用 LLL 算法以借助计算基变换矩阵  $\mathbf{T}$  来减少复杂度的一些问题在于 LLL 算法本身用以计算该基变换矩阵的复杂度依赖于它的输入。由于用于计算基变换矩阵  $\mathbf{T}$  所需的最大可能时间预先未知，于是实现利用 LLL 算法进行运算的接收器将需要针对如下最坏情况的场景来设计该接收器，在该最坏情况的场景中 LLL 算法在收敛于一个解之前遍历非常多次的迭代。即使在实践中 LLL 算法可能仅偶尔需要这样的软件/硬件投入，但是可变的计算时间使接收器的设计变复杂、尤其是在考虑如上所述检测语音和/或大量数据的时间限制时，其中针对这些时间限制，现有技术的设计者认为 LLL 算法可能需要非常多次的迭代。

基变换矩阵  $\mathbf{T}$  的计算是基于格基规约的 MIMO 检测中计算要求最高的步骤。因此，降低格基规约步骤的复杂度、即基变换矩阵  $\mathbf{T}$  的计算复杂度可以明显减少整个基于格基规约的 MIMO 检测的复杂度。本发明的实施例通过将 LLL 算法的计算复杂度限制于已知量来解决这一问题。具体而言，LLL 算法迭代地运算，而迭代次数依赖于对该算法的输入。在一个示例实施例中，本发明的运用将 LLL 算法执行的迭代次数限制于某一最大量（例如二十或者三十次迭代）。将这一最大量确定为在所需最大计算复杂度和由过早终止 LLL 算法而造成的性能损失之间的折衷。

图 4 以曲线图的形式针对使用八个发送天线和八个接收天线的 MIMO 系统 10 图示了一组仿真结果集，该图示出了依赖于 LLL 算法的迭代索引（水平轴）的  $\mathbf{H}^*\mathbf{T}_k$  平均和最大条件数（竖直轴）。下标  $k$  用来表示计算的基变换矩阵  $\mathbf{T}_k$  例如在 OFDM 系统中有效的时间瞬

间或者频率子载波。信道矩阵  $\mathbf{H}$  对于依赖于信道本身的可以跨越多个分组或者符号矢量的一些相干区间而言有效。当基变换矩阵针对子信道时，下标  $k$  可以表示基变换矩阵对于该子信道的相干区间而言有效。图 4-5 的仿真针对 1000 个信道实现。 $\mathbf{H}^* \mathbf{T}_k$  的条件数用作格基规约辅助 MIMO 检测的性能的指示符，因为噪声增强与条件数有关。条件数越小，低复杂度的检测方法性能越好。图 4 示出了与针对所有仿真信道完成 LLL 算法而需要的五十次以上迭代相比，平均条件数在约二十次迭代之后接近于它的最小值。二十次迭代也接近于针对这一仿真数据集完成 LLL 算法而需要的平均十九次迭代。

图 5 以曲线图的形式图示了完成 LLL 算法而需要的迭代次数的累积分布函数 (CDF)。在二十次迭代之后，图 5 示出了已经针对几乎 70% 的信道实现完成了 LLL 算法。回到图 4，在二十次迭代之后， $\mathbf{H}^* \mathbf{T}_k$  的最大条件数已经减少到在 LLL 算法过程中遇到的最大条件数的一半。在约 28 次迭代的明显条件数下降 (图 4) 清楚地表明需要约三十次迭代以将最大条件数限制于它的最小值附近。在三十与四十次迭代之间的更少的条件数下降在收益递减点以外，图 5 更清楚地图示了这一点 (在 20 与 30 次迭代之间约 22% 的信道实现、但是在 30 与 40 次迭代之间仅约 8% 的信道迭代)。

尽管以上描述使用 LLL 算法来计算基变换矩阵，但是本发明的实施例和这里的教导也可以应用于其迭代地运算并且一般在每个迭代步骤都朝着最终解收敛的任何格基规约算法。目前看起来 LLL 算法使用最广泛，但是 Korkin-Zolotarev 格基规约算法也可以适应于这里描述的本发明的诸多方面。可以在 C.P. Schnorr 和 M. Euchner 标题为 LATTICE BASIS REDUCTION: IMPROVED PRACTICAL ALGORITHMS AND SOLVING SUBSET SUM PROBLEMS 的论文中 (1993 年 7 月) 的中发现关于这些算法和其它算法的更多细节。

无论对于 LLL 算法还是另一迭代收敛算法，实现方式都需要对执行的迭代次数进行计数、然后针对限制来检测该计数。如果达到最大限制，则终止进一步的算法迭代并且接受在最终迭代之后的结

果。尽管这没有进行算法的所有迭代那样准确，但是这被视为针对算法时间和计算量可预测性的合理权衡以便更有效地设计接收器的其它部件（例如 RAM 存储器、处理器能力、电池大小等）。对于算法在达到最大迭代次数之前收敛于一个解的那些实例则无准确度损失。尽管在算法在完全地收敛于一个解之前被终止的那些实例中与现有技术相比损失了一些性能，但是预先知道计算基变换矩阵  $T_k$  的最大计算工作量/时间的优点被认为在弥补该性能损失方面绰绰有余。

针对收敛算法最大地限制迭代次数适用于基变换矩阵  $T_k$  的计算结束。尽管该技术本质上并且自然而言有价值，但是如下所述也可以在算法的起始点获得效率。

无论为之计算基变换矩阵  $T$  的信道何时表现相关性都可以利用以下技术。通常，相关性将视时间和/或频率而定。在本发明的另一方面中，信道的相关性质用来初始化对规约的格基的计算。尽管现有技术每当需要进行计算时（例如对于每个时间瞬间或者频率子载波）独立于基变换矩阵  $T$  的先前计算来计算  $T$ ，但是本发明的这一方面从先前计算的基变换矩阵  $T_{k-1}$  开始用于计算当前基变换矩阵  $T_k$  的算法，从而规约的基比无初始化时更易于计算。该先前计算的基变换矩阵  $T_{k-1}$  可以是针对同一子信道在先前时间计算的或者可以是针对紧密对准的子信道紧接在当前基变换矩阵  $T_k$  的当前计算之前（或者甚至与之部分并行）计算的。算法的这一初始化使用先前计算的格基规约作为它的起始点从而造成针对当前信道实现来计算规约的格基的平均复杂度明显减少。

算法初始化与先前计算的格基规约的组合以及截去算法在预定最大次数之后的迭代对于系统性能均互有益处。前者的操作减少了其中完全的算法收敛原本会超过最大算法迭代次数的实例数目，因而组合的本发明两个方面互有促进。例如，如果具体的所选最大迭代次数会造成截去当未使用初始化时的基变换矩阵计算的 10%，则利用先前计算的基变换矩阵来初始化算法在几乎所有实例中将 10%

的诱错因子（其中少于完全收敛意味着误差）减少到某一更小数字。

考虑具有两个信道实现  $\mathbf{H}_k$  和  $\mathbf{H}_{k+1}$  的 MIMO 通信系统 10，其中索引  $k$  例如在 OFDM 系统中可以指代时间瞬间或者频率子载波。这两个信道  $\mathbf{H}_k$  和  $\mathbf{H}_{k+1}$  常常很相似但是并不完全相同。现有技术的格基规约 MIMO 检测器单独地针对  $\mathbf{H}_k$  和  $\mathbf{H}_{k+1}$  并且相互独立地计算格基规约。单独的格基规约计算输出基变换矩阵  $\mathbf{T}_k$  和  $\mathbf{T}_{k+1}$ 。本发明的这一方面通过利用  $\mathbf{H}_k$  和  $\mathbf{H}_{k+1}$  的相似性来实现复杂度更低的  $\mathbf{T}_{k+1}$  计算。

正如将要预期的那样，在第一时间瞬间的第一信道实现不能利用上述算法初始化方面的优点。对于所有其它信道实现，无论信道实现何时表现相关性，针对第二时间瞬间向格基规约算法的输入都是从第一信道实现导出的矩阵。有用以实施这一算法初始化的若干方式：可以直接使用先前信道矩阵、可以直接使用先前基变换矩阵或者其某一混合。在一个示例实施例中，称之为初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_{k+1} = \mathbf{H}_{k+1} * \mathbf{T}_k$  的矩阵用来针对下一信道实现来初始化算法，其如上文所示是当前信道矩阵  $\mathbf{H}_{k+1}$  与先前基变换矩阵  $\mathbf{T}_k$  相乘。由于先前信道矩阵  $\mathbf{H}_k$  与当前信道矩阵  $\mathbf{H}_{k+1}$  之间的相关性，初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_{k+1}$  常常几乎被规约，因此格基规约计算的复杂度通常明显低于使用现有技术的输入  $\mathbf{H}_{k+1}$ 。初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_{k+1}$  的格基规约然后输出基变换矩阵  $\mathbf{T}_{k+1}$ ，据此计算整个基变换矩阵  $\mathbf{T}'_{k+1} = \mathbf{T}_{k+1} * \mathbf{T}_k$ 。

下表 1 示出了在独立计算各信道实现的现有技术格基规约与上文详述的根据使用初始化信道矩阵  $\mathbf{H}'_{k+1}$  和基变换矩阵  $\mathbf{T}'_{k+1}$  的算法初始化的格基规约之间的计算量比较。结果针对于 FFT 大小等于 512 的 OFDM 系统的 100 个仿真信道实现。信道实现是独立的。针对各 OFDM 子载波  $\mathbf{H}_k$  单独地计算现有技术的格基规约，而初始化的格基规约利用  $\mathbf{H}_{k+1} * \mathbf{T}_k$  来初始化各格基规约，其中  $k=1$  除外。结果表明复杂度减少因子根据天线的数目约为三至五。

	实数加法	实数乘法	共计	改进
4TX-4RX 规约 $H_K$	831	972	1803	-

4TX-4RX 规约 $H_{K+1} * T_K$	262	299	561	3.21
8TX-8RX 规约 $H_K$	4817	5626	10443	-
8TX-8RX 规约 $H_{K+1} * T_K$	1016	1092	2108	4.95

表 1: 现有技术和算法初始化的平均计算复杂度的比较

本发明的算法初始化方面的实施对于任何格基规约算法而言应用起来简单直接。首先针对当前信道实现来计算初始化信道矩阵  $H'_{k+1} = H_{k+1} * T_k$ 、然后将格基规约算法应用于初始化信道矩阵  $H'_{k+1}$ 。格基规约针对当前信道实现或者时间瞬间输出基变换矩阵  $T_{k+1}$ 。然后，将整个基变换矩阵计算为  $T'_{k+1} = T_k * T_{k+1}$ 。在这些步骤之后，现有技术基于格基规约的 MIMO 检测方法可以与  $H'_{k+1} * T_{k+1}$  和  $T'_{k+1}$  一起使用。

尽管需要附加的矩阵乘法以计算初始化信道矩阵  $H'_{k+1} = H_{k+1} * T_k$  和整个基变换矩阵  $T'_{k+1} = T_k * T_{k+1}$ ，但是格基规约复杂度减少因子对于四个和八个天线的系统而言约为三至五。如表 1 中所示，对于具有四个或者更多发送天线和接收天线的信道而言，格基规约复杂度的减少明显多于由实施本发明的算法初始化方面所必需的附加矩阵乘法带来的附加复杂度。尽管少于四个或者八个天线将产生较少的计算节省净获益，但是仍然看出将产生净节省。此外，当结合本发明的初始化方面来使用最大迭代次数限制时，初始化算法有望几乎总是减少由于算法的非完全收敛而产生的误差。

图 6 以处理图的形式图示了上文详述的本发明的组合方面。在启动通信会话时，在块 602 将当前时间瞬间/信道实现  $k$  设置为零。在块 604 确定当前信道矩阵  $H_k$ ，然后利用迭代算法来发现以下基变换矩阵  $T_k$ ，该矩阵在与信道矩阵  $H_k$  相乘时将产生比信道矩阵  $H_k$  更正交的矩阵  $H_k * T_k$ 。对于算法的首次迭代，在块 606 将索引  $i$  设置为一。如果这一信道/通信会话无历史，则遵照图 6 的右侧，其中在块 608 有  $k=0$  而格基规约未被初始化(图 6 的左侧和右侧由虚线隔开)。在块 610 针对 LLL 算法的第  $i$  次迭代来计算临时基变换矩阵  $T$ ，而在块 612 相对以下寄存器检测当前索引  $i$ ，该寄存器存储所允许的算法迭代次数的最大值。如果为否，则在块 614 相对于临时基变换矩

阵  $T$  的先前迭代来检测第  $i$  次迭代的临时基变换矩阵  $T$ , 以确定是否已经有收敛 (如图 4 中那样)。如果未达到收敛, 则在块 616 增加索引  $i$  并且重复块 601、612 和 614 的循环。在多次迭代之后的某一点, 基变换矩阵  $T_k$  将已经收敛于它的先前值或者将达到最大迭代次数, 在该情况下在块 618 通过零强制、最小均方误差、串行干扰消除或者本领域中已知的其它技术来检测符号矢量  $x$ 。在块 620 输出估计的符号矢量  $x$  而在块 622 存储当前 (第  $k$  个)  $H_k$  和  $T_k$  的值。

在块 624 通过增加索引  $k$  来代表下一个信道实现 (例如另一子信道或者在下一时间瞬间的同一子信道)。K 的这一增加使存储的值  $H_k$  和  $T_k$  现在成为  $H_{k-1}$  和  $T_{k-1}$ , 因为当前信道实现在图 6 中是  $k$  (注意这不同于在上文中使用的  $k+1$  惯例)。对于当前信道实现  $k$ , 再次在块 604 确定信道矩阵  $H_k$ , 在块 606 将索引  $i$  重置为零, 但是  $k$  在块 608 不再是零, 因而进入图 6 的左侧。在块 626 将初始化信道矩阵  $H'_k$  确定为  $H_k$  (来自块 604) 和  $T_{k-1}$  (来自块 622), 而不是如在块 610 中那样强力计算用于算法首次迭代的临时基变换矩阵  $T$ 。然后在块 628 使用初始化信道矩阵  $H'_k$  来运行算法的  $i=1$  首次迭代以获得临时基变换矩阵  $T$ 。与图 6 的右侧一样, 然后在块 630 相对最大值检测算法迭代索引  $i$  而在块 632 检测收敛。如果二者均为否, 则在块 633 增加迭代索引  $i$  并且重复块 628、630 和 632 的循环。如果块 630 或者 632 中的任一个为是, 则在块 636 根据先前基变换矩阵  $T_{k-1}$  (来自块 622) 和当前基变换矩阵  $T_k$  (来自块 628 的最新迭代) 来计算整个基变换矩阵  $T'_k$ 。在块 636 使用分别来自块 604 和 634 的  $H_k$  和  $T'_k$  来检测符号矢量  $x$ 。在块 620 输出估计的符号矢量  $x$ , 利用在块 634 中计算的矩阵  $T'_k$  来取代存储的基变换矩阵  $T_k$ , 而在块 622 在存储器中保存用于当前第  $k$  个信道实现的矩阵  $H_k$  和  $T_k$  以便在导出用于下一个信道实现的基变换矩阵时使用。每次利用下一当前值来取代存储的  $H_k$  和  $T_k$  值以阻止基变换矩阵随着时间和信道状况进展而与当前信道实现偏离过多, 这可以继续从块 624 开始各后续信道实现。

图 3 图示了本发明可以实施于其中的收发器如基站收发器 BTS 或者移动台 MS 的示意图。本发明可以设置于任何主机计算设备。MS 是能够无线接入通信网络的手持便携设备, 该通信网络比如是耦合到公共交换电话网的 BTS 的移动电话网。具有因特网或者其它双向通信能力的蜂窝电话、便携电子邮件设备和个人数字助理 (PDA) 是 MS 32 的例子。便携无线设备包括移动台以及附加手持设备、比如可以仅接入本地网如无线局域网 (WLAN) 或者 WIFI 网络的步话机和设备。

图 3 中所示部件块是功能性的, 而下述功能可以或者可以不由参照图 3 描述的单个物理实体执行。尽管未图示, 但是也可以有图形显示屏和显示驱动器以及用于与用户交互的用户输入机构 (例如小键盘、麦克风、操纵杆) 和输入驱动器、如果权利要求 3 的设备便携则有电池。

在图 3 的设备 30 中, 在多个接收天线 18 接收信号, 这些接收天线具有耦合到信道估计器 32 的多个输入 (或者一个输入) 的输出, 该信道估计器结合处理器 34 和存储器 36 来估计信道矩阵  $\mathbf{H}$ 。在处理器 34 内有以下功能, 这些功能比如是数字采样、抽取、插值、编码和解码、比如按照 QAM 的调制和解调、加密和解密、扩频和解扩频 (用于 CDMA 兼容设备) 以及本领域中已知的附加信号处理功能。计算机程序如用以调制、编码和解码的算法、数组如查找表等存储于计算机可读存储器介质 36 中, 该介质可以是如本领域中已知用于存储计算机可读指令以及程序和数据的电、光或者磁存储介质。存储器 36 通常分割成易失性部分和非易失性部分并且一般散布于不同存储单元之间, 其中一些存储单元可以是可拆卸的。

信道估计器 32 的一个输出耦合到基矩阵生成器 38, 该生成器迭代地应用如上文所言并且作为计算机可执行指令存储于存储器中的算法, 以求解基变换矩阵  $\mathbf{T}$ 。寄存器或者计数器 40 保持如图 6 中详述的迭代索引  $i$  的当前值以便限定矩阵生成器 38 对单个信道实现执行的迭代次数的上界。处理器控制所有这些功能并且如参照图 6 详

述的那样访问、读取、比较和替换存储的值。从矩阵生成器 38 到信道估计器 32 的反馈经过处理器 34。一旦矩阵生成器 38 收敛于  $T$  的一个解或者达到最大迭代次数，则它将结果输出到可以是零强制、MMSE、SIC 或者其它类型的检测器 46 以如参照图 6 详述的那样根据矩阵  $H$  和  $T$  来求解发送的矢量  $x$ 。检测的矢量  $x$  在设备 30 的收发器内的进一步处理然后可以如本领域中已知的那样继续。

可以通过可由 MS、BTS 或者其它主机设备的数据处理器如处理器 34 执行的计算机软件或者通过硬件或者通过软件和硬件的组合来实施本发明的实施例。另外就此而言应当注意图 6 的逻辑流程图的各个块可以代表程序步骤或者互连逻辑电路、块和功能或者程序步骤和逻辑电路、块和功能的组合。

一个或者多个存储器 36 可以是适合于本地技术环境的任何类型并且可以使用任何适当数据存储技术如基于半导体的存储器器件、磁存储器器件和系统、光存储器器件和系统、固定存储器和可拆卸存储器来实施。一个或者多个数据处理器 34 可以是适合于本地技术环境的任何类型并且可以包括作为非限制例子的一个或者多个通用计算机、专用计算机、微处理器、数字信号处理器 (DSP) 和基于多核处理器架构的处理器。

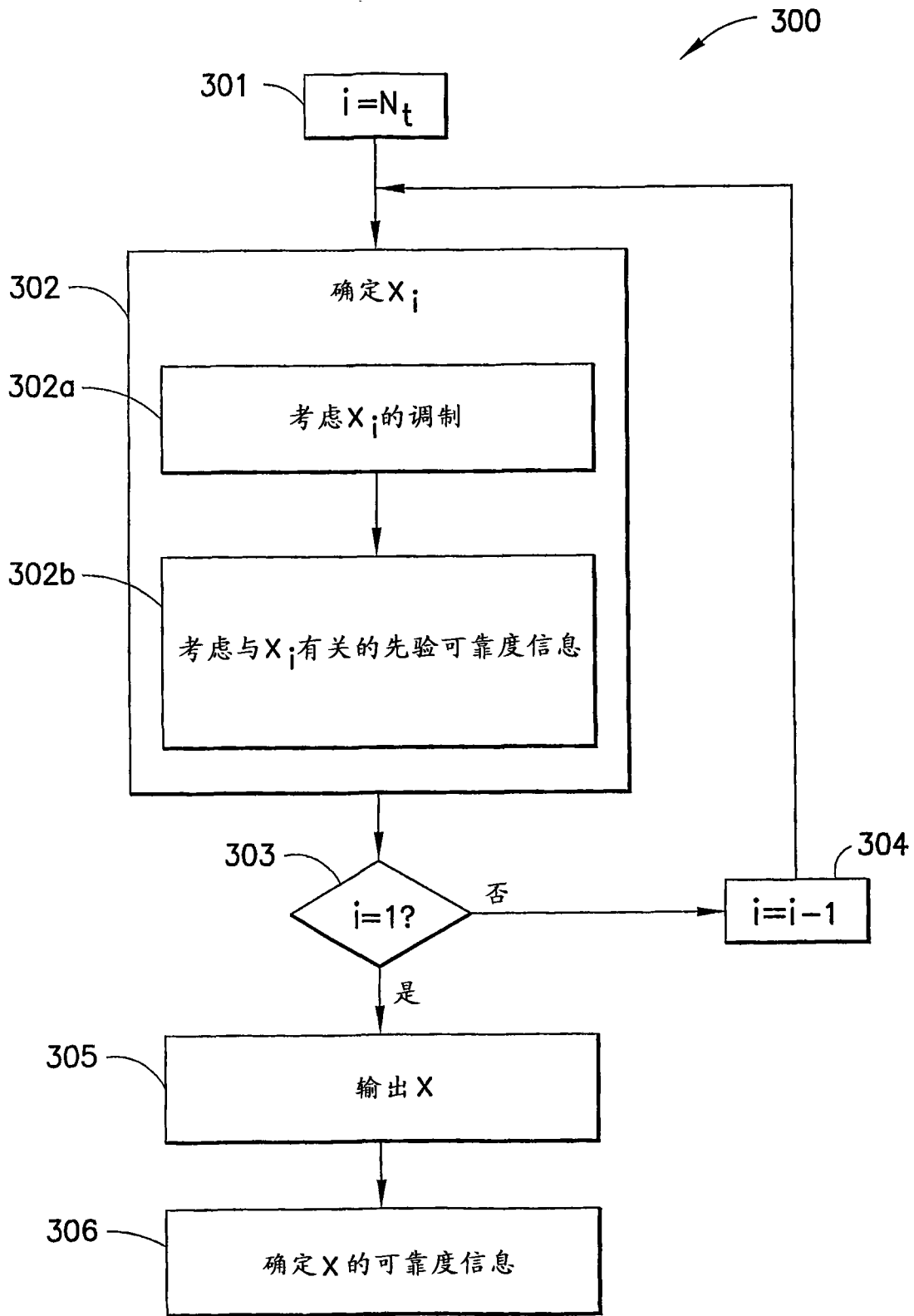
一般而言，可以用硬件或者专用电路、软件、逻辑或者其任何组合来实施各种实施例。例如，一些方面可以用硬件来实施，而其它方面可以用可以由控制器、微处理器或者其它计算设备执行的固件或者软件来实施，虽然本发明不限于此。尽管本发明的各方面可以图示和描述为框图、流程图或者使用一些其它图表来图示和描述，但是有理由理解可以用作为非限制例子的硬件、软件、固件、专用电路或者逻辑、通用硬件或者控制器或者其它计算设备或者其一些组合来实施这里描述的这些块、装置、系统、技术或者方法。

可以在各种部件如集成电路模块中实施本发明的实施例。集成电路的设计是大型高度自动化过程。复杂而强大的软件工具可用于将逻辑级的设计转换成准备好将要在半导体衬底上蚀刻和形成的半

导体电路设计。

比如由加利福尼亚州芒廷维尤市 Synopsys 公司和加利福尼亚州旧金山市 Cadence Design 提供的程序这样的程序使用建立好的设计规则以及预存的设计模块库在半导体芯片上自动地对导体进行布线和对部件进行定位。一旦已经完成对半导体电路的设计，可以将标准化电子格式（例如 Opus、GSDII 等）的所得设计发送到半导体制造工厂或“fab”以供制造。

虽然在特定实施例的背景中加以描述，但是本领域技术人员将清楚可以出现对这些教导的诸多修改和各种改变。因此，尽管已经参照本发明的一个或者多个实施例具体地示出和描述了本发明，但是本领域技术人员将理解可以对之进行某些修改或者改变而不脱离如上文阐述的本发明的范围和精神或者不脱离所附权利要求的范围。



现有技术  
图 1

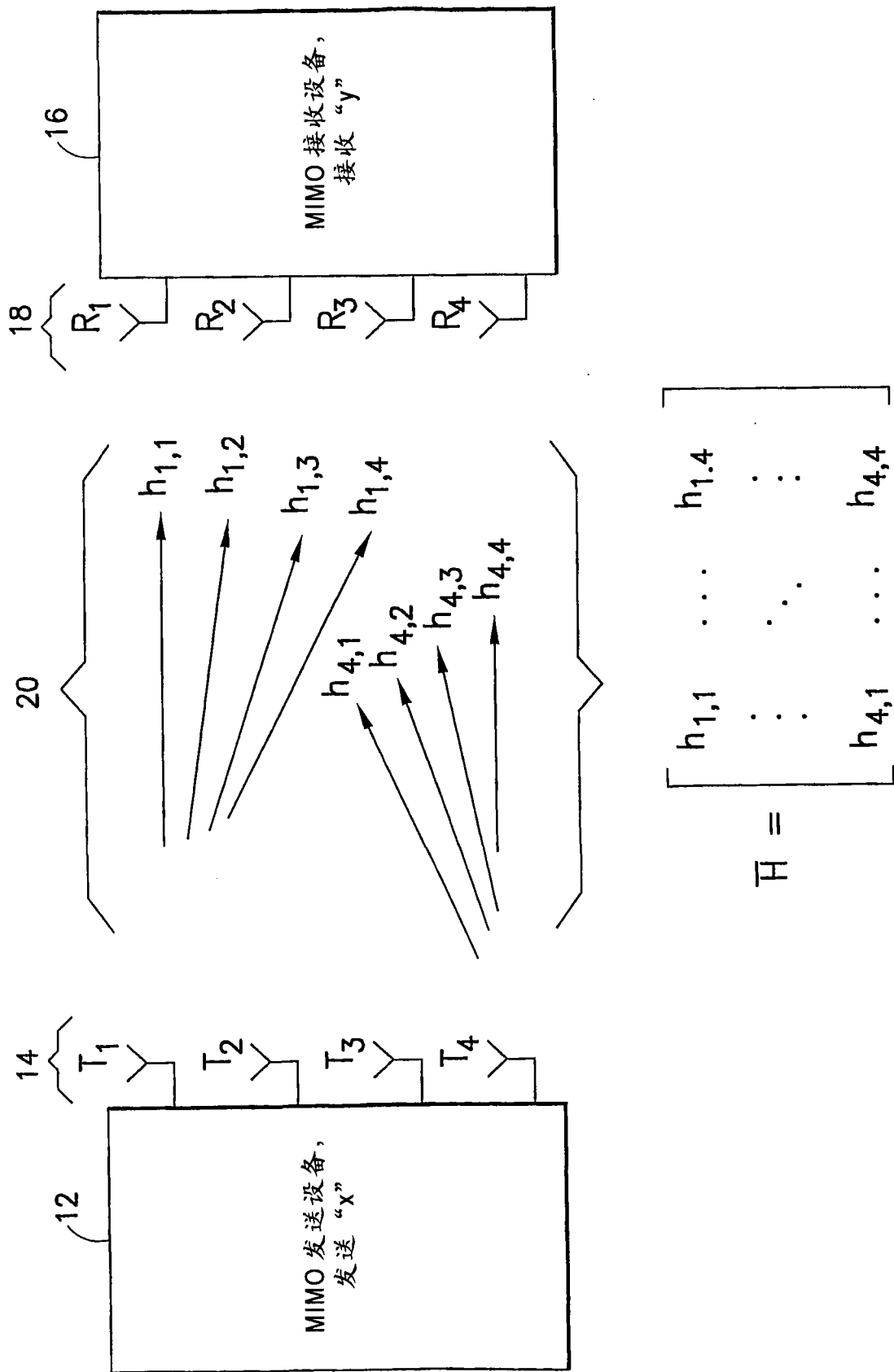


图 2

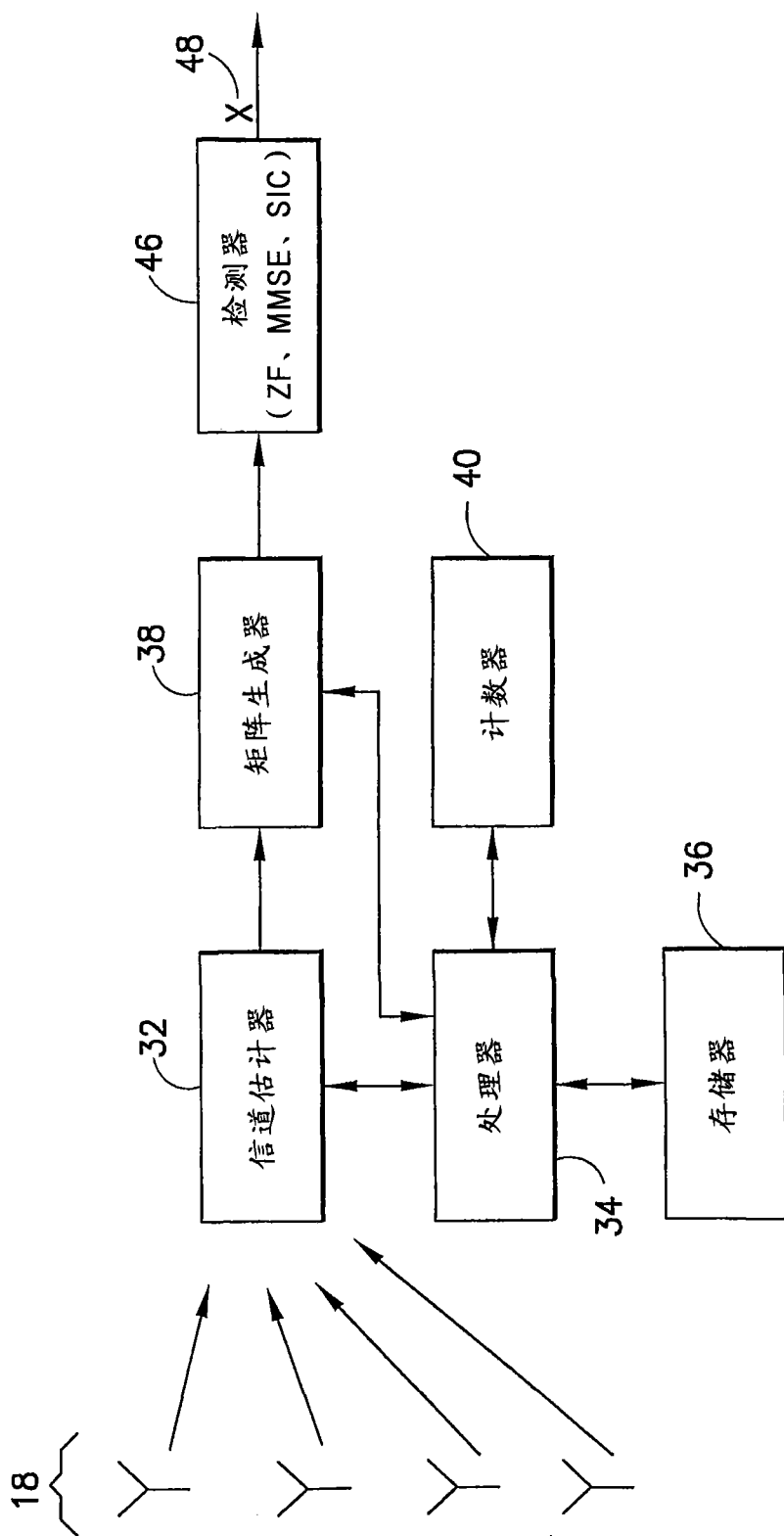


图 3

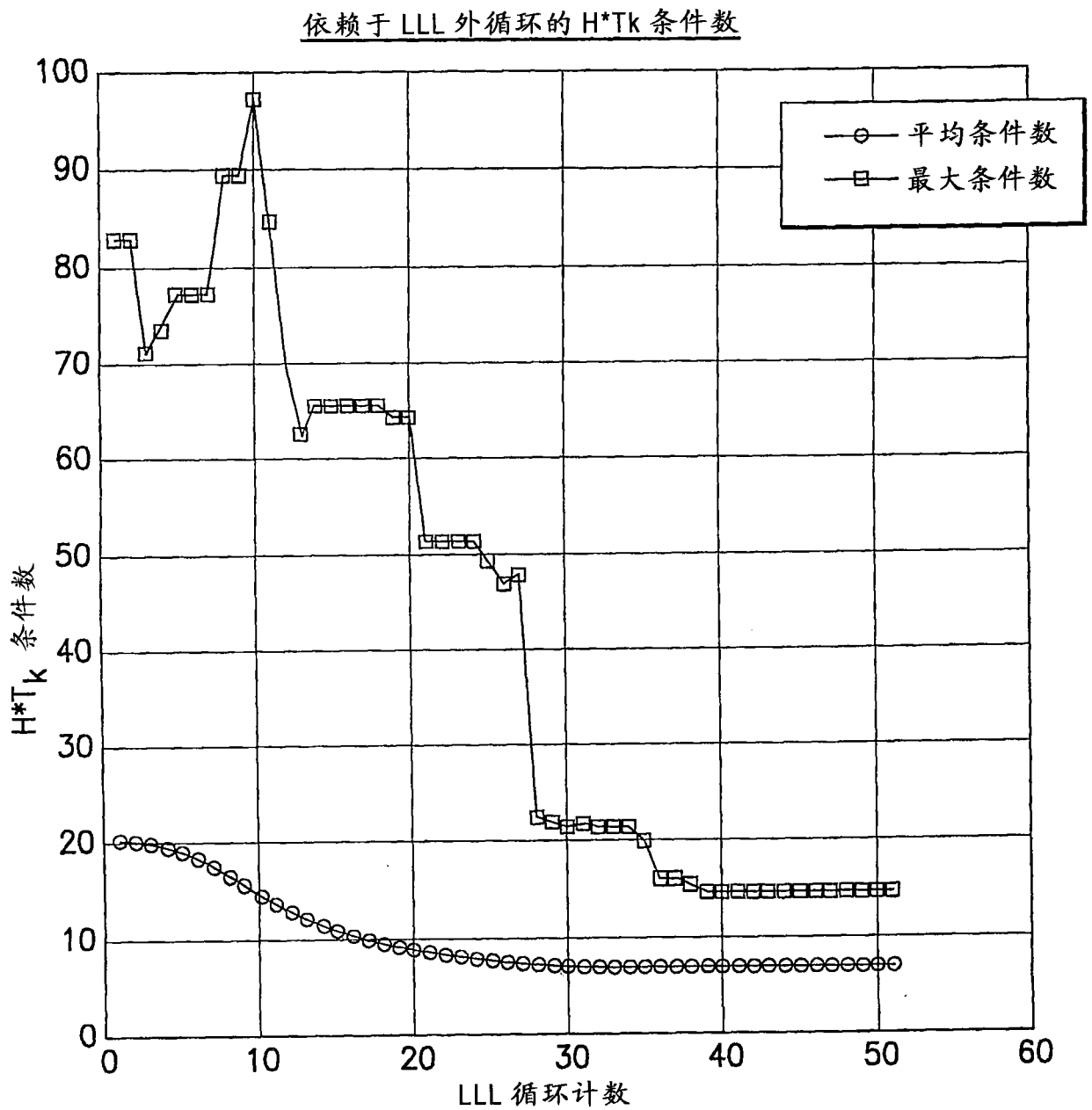


图 4

为了完成 LLL 算法而需要的迭代次数的 CDF

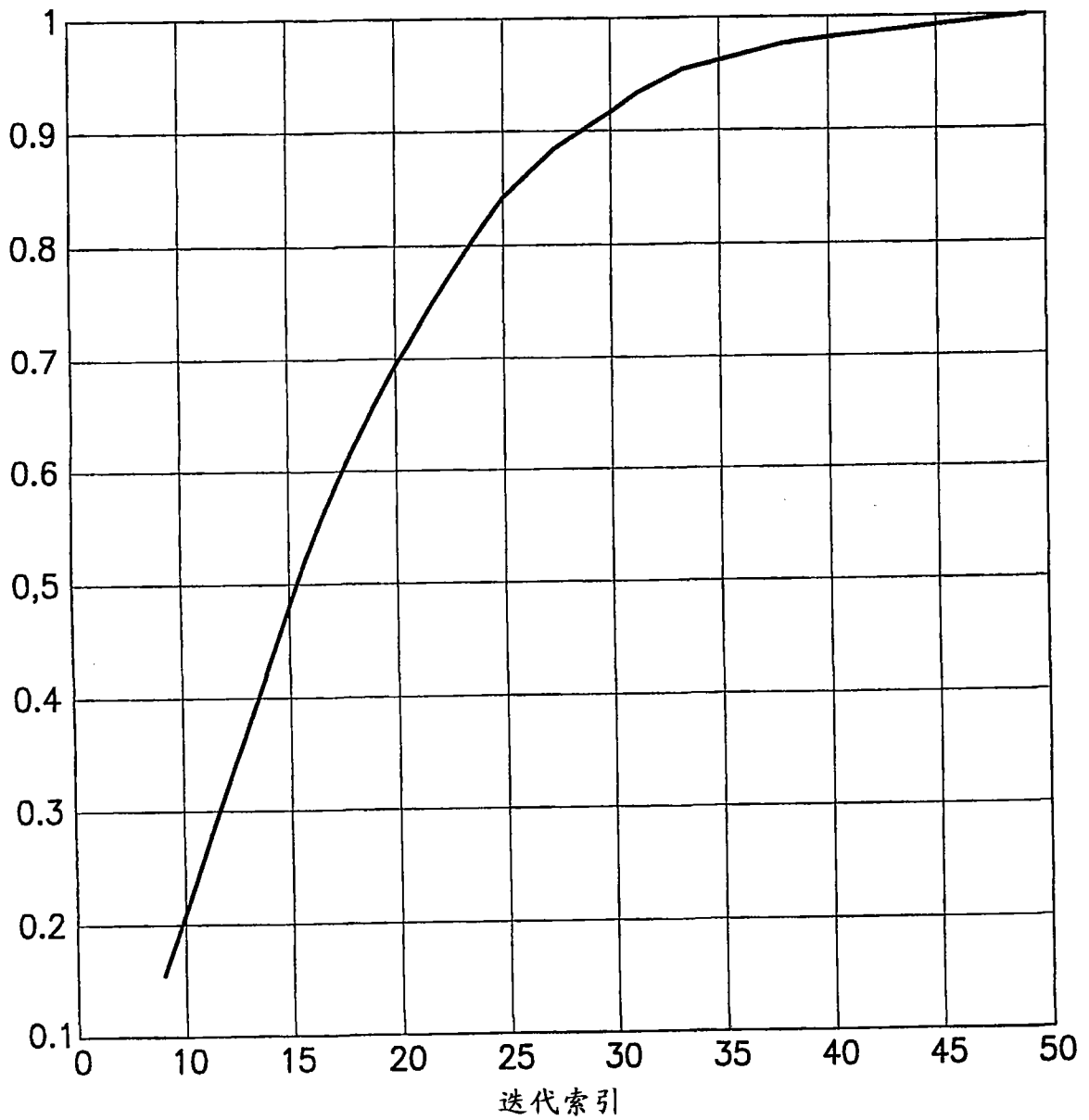


图 5

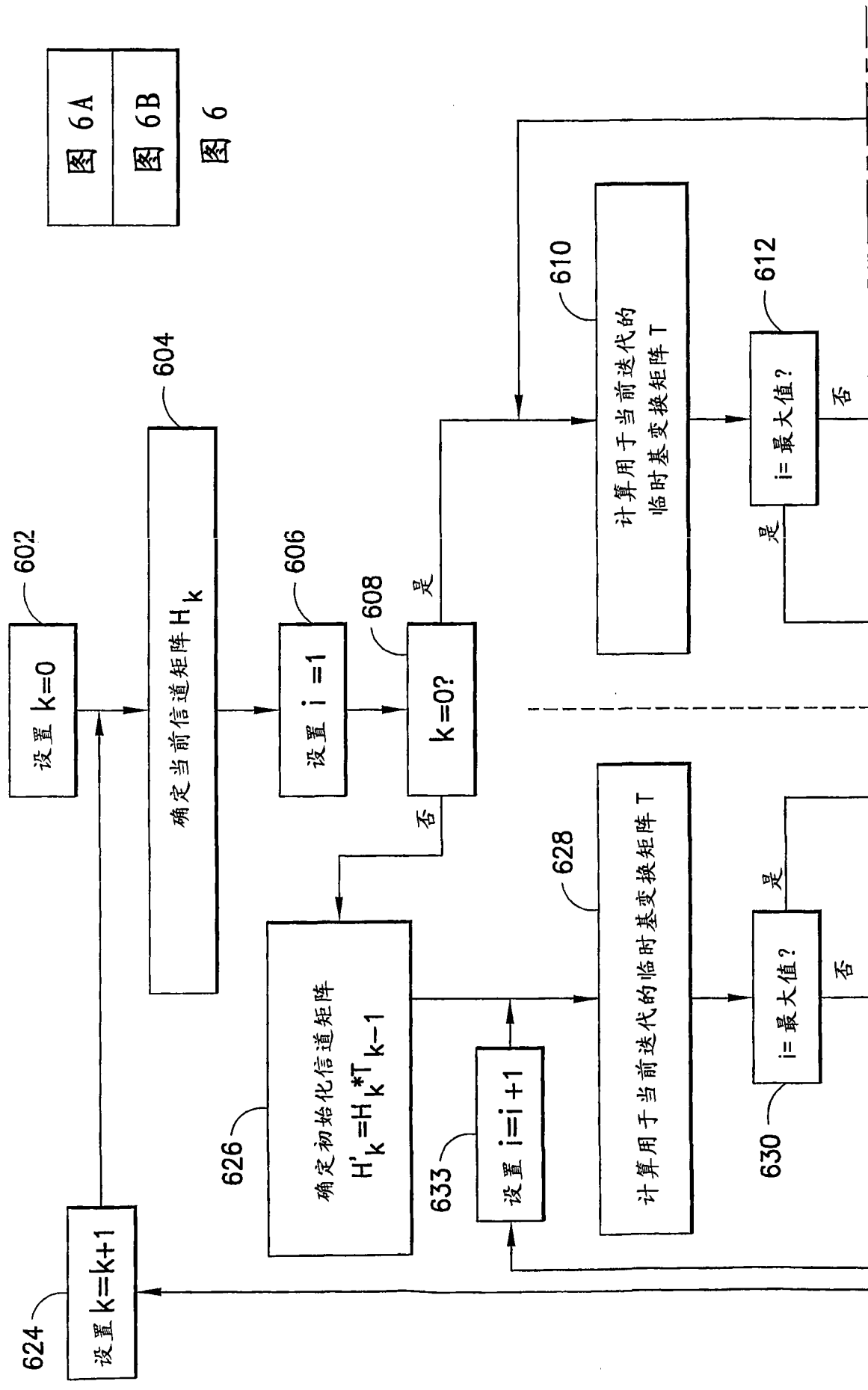


图 6A
图 6B

图 6

图 6A

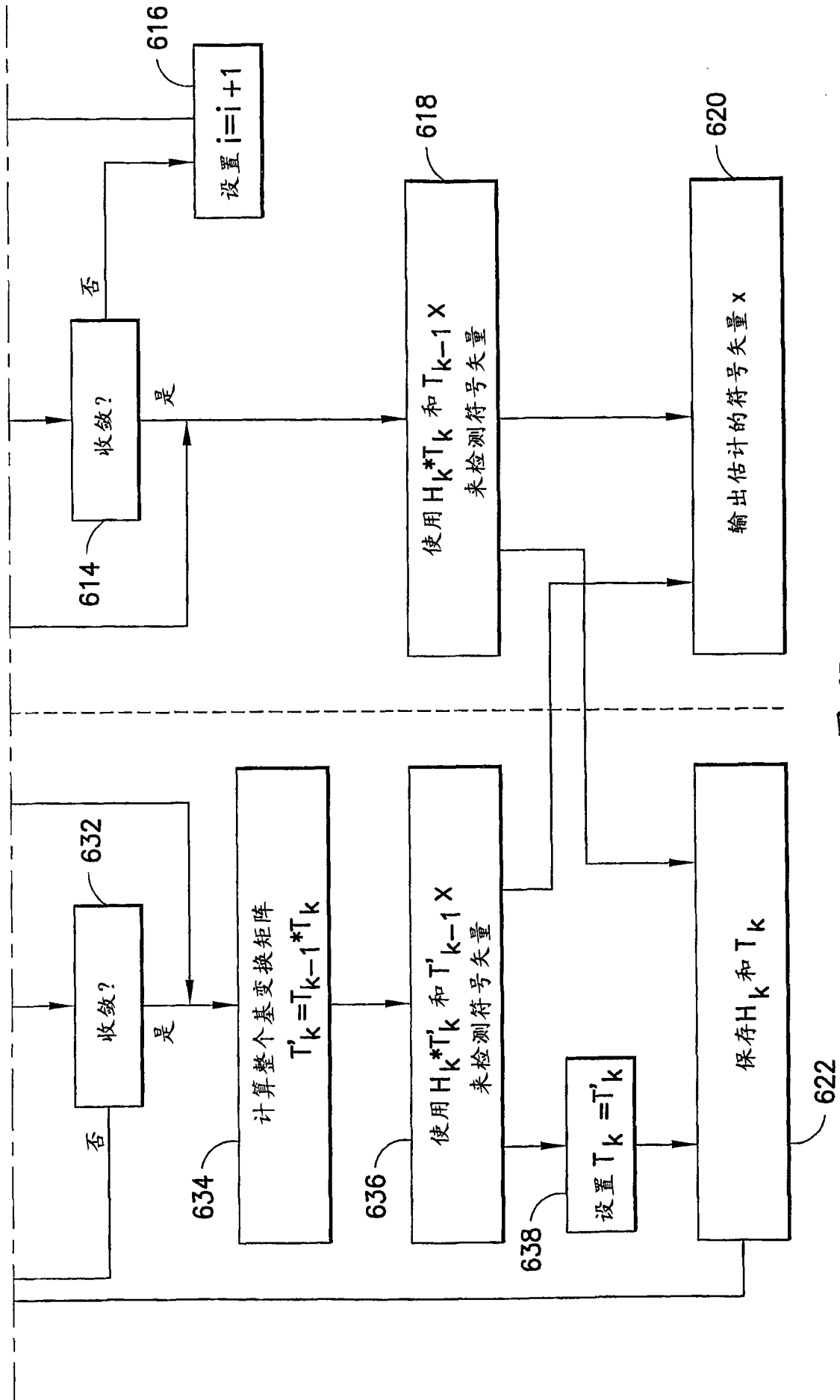


图 6B