



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02817310.4

[45] 授权公告日 2008 年 4 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100380261C

[22] 申请日 2002.9.12 [21] 申请号 02817310.4

[30] 优先权

[32] 2001. 9. 13 [33] US [31] 60/318,792

[32] 2002. 7. 31 [33] US [31] 10/210,753

[86] 国际申请 PCT/US2002/028872 2002. 9. 12

[87] 国际公布 WO2003/023538 英 2003. 3. 20

[85] 进入国家阶段日期 2004. 3. 4

[73] 专利权人 先进微装置公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·帕萨丁

[56] 参考文献

CN1183148A 1998. 5. 27

US6285971B1 2001. 9. 4

CN1087187A 1994. 5. 25

EP1052558A1 2000. 11. 15

US5865665A 1999. 2. 2

US6163730A 2000. 12. 19

审查员 沈乐平

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 戈泊程伟

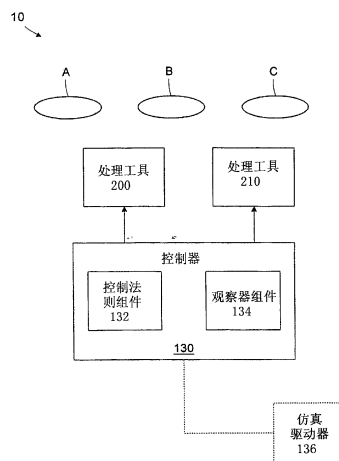
权利要求书 3 页 说明书 61 页 附图 18 页

[54] 发明名称

制造系统的状态评估与编排制造

[57] 摘要

一种监视制造系统(10)的方法包括:限定多个与该制造系统(10)有关的被观测的状态。对于状态估测用于生成被观测的状态。对于每个状态估测生成一不确定性值。接收关联于该制造系统(10)中实体的测量数据。根据关联于该状态估测的该测量资料和该不确定性值而更新该状态估测。一种用来监视制造系统(10)的系统,包括控制器(130),该控制器(130)组构成用来定义关联于该制造系统(10)的多个观察状态,产生用于观察状态的状态估测,产生对于各状态估测的不确定性值,接收于制造系统(10)中关联于实体的测量资料,并根据关联于该状况估测的测量资料和不确定性值来更新状况估测。不确定性值可用于作用于编排决定。



1. 一种监视制造系统(10)的方法, 包括:

通过该制造系统(10)的控制器(130, 300)来定义关联于该制造系统(10)的多个观察的状态;

通过该控制器(130, 300)来产生对于此观察的状态的状态估测;

通过该控制器(130, 300)来产生对于各该状态估测的不确定性值;

通过该控制器(130, 300)来接收关联于该制造系统(10)中实体的测量数据; 以及

根据关联于该状态估测的该测量数据和该不确定性值, 通过该控制器(130, 300)来更新该状态估测;

通过该制造系统(10)的排程控制器(320)来辨识于该制造系统中用来施行活动的多个候选排程;

根据该候选排程, 通过该控制器(130, 300)来预测不确定性值的改变; 以及

根据不确定性值的预测的改变, 通过该排程控制器(320)来选择其中一个候选排程。

2. 如权利要求1所述的方法, 进一步包括:

产生包括状态估测的状态估测向量; 以及

产生关联于该状态估测向量的协方差矩阵, 该状态估测向量包括定义该不确定性值的对角线项和定义状态之间相互依存关系的非对角线项。

3. 如权利要求1所述的方法, 进一步包括:

于制造系统(10)中施行处理步骤; 以及

根据该处理步骤和关联的不确定性值来更新各状态估测。

4. 如权利要求1所述的方法, 其中该制造系统包括组构成用来处理多个产品的多个工具(30, 40, 50, 60, 70, 80), 以及定义该多个观察的状态进一步包括:

定义工具状态和产品状态其中的一种。

5. 如权利要求 2 所述的方法, 进一步包括:
辨识关联于该制造系统(10)的额外的观察的状态;
对于该额外的观察的状态产生初始状态估测;
将该初始状态估测与该状态估测向量合并;
对于该额外的观察的状态产生初始协方差估测; 以及
将该初始协方差估测与该协方差矩阵合并。
6. 如权利要求 1 所述的方法, 进一步包括:
于第一时间辨识一组的初始状态估测;
维持于第一时间后发生的关联于该制造系统(10)的一队列事件, 该等事件包括处理事件和测量事件;
接收第一测量事件;
辨识关联于该第一测量事件的处理事件的其中的一个;
选择于辨识处理事件后发生的事件; 以及
根据该第一测量事件和该选择的事件组, 反复更新初始状态估测。
7. 如权利要求 1 所述的方法, 进一步包括:
接收该测量数据中关联于第一处理事件的第一测量;
根据该第一测量产生第一输出写映;
根据该第一输出写映、该第一测量、和该关联的不确定性值, 更新该状态估测;
接收该测量数据中关联于在该第一处理事件后发生的第二处理事件的第二测量;
根据该第二测量产生第二输出写映; 以及
根据该第二输出写映、该第二测量、和该关联的不确定性值, 更新该状态估测。
8. 如权利要求 1 所述的方法, 其中产生该多个候选排程进一步包括:
排程多个处理活动; 以及
排程多个关联于处理活动的子集合的度量活动, 各候选排程具有处理活动的不同的子集合。

9. 如权利要求 1 所述的方法, 其中产生该多个候选排程进一步包括排程多个处理活动, 各候选排程具有对于处理活动的不同的次序。

10. 如权利要求 1 所述的方法, 其中产生该多个候选排程进一步包括:
辨识多个处理活动;
辨识多个能施行该处理活动的处理工具; 以及
产生具有不同的选择用来施行该处理活动的处理工具的各候选排程。

11. 如权利要求 1 所述的方法, 进一步包括:
根据该不确定性值的预测的改变, 产生关联于各候选排程的不确定性度量; 以及
选择具有最低不确定性度量的候选排程。

12. 如权利要求 1 所述的方法, 其中各候选排程包括优先处理活动, 而根据不确定性值的预测改变的选择的其中一个候选排程, 进一步包括当施行该优先处理活动时, 选择其中一个具有最低不确定性的候选排程。

13. 一种用来监视制造系统(10)的系统, 包括:
控制器(130, 300), 该控制器(130, 300)组构成用来定义关联于该制造系统(10)的多个观察状态, 产生用于观察状态的状态估测, 产生对于各状态估测的不确定性值, 接收于制造系统(10)中关联于实体的测量资料, 并根据关联于该状况估测的测量资料和不确定性值来更新状况估测, 该系统进一步包括:
排程控制器(320), 配置成用来辨识于该制造系统(10)中用来施行活动的多个候选排程, 控制器(130, 300)交换信息以根据该候选排程来预测不确定性值的改变, 并根据该不确定性值的该预测的改变, 选择其中一个该候选排程。

14. 如权利要求 13 所述的系统, 其中该控制器 (130) 进一步配置成用来产生包括状态估测的状态估测向量, 和关联于该状态估测向量的协方差矩阵, 该协方差矩阵包括定义该不确定性值的对角线项和定义状态之间相互依存关系的非对角线项。

制造系统的状态评估与编排制造

技术领域

本发明大体上是关于半导体组件制造的领域，详言的，是关于半导体制造系统的状态评估与编排制造。

背景技术

半导体组件制造通常是运用相同的装备，但是以各种不同的处理状态来考虑很多不同的产品的制造方式。然而由于制程状况的特性与原料的高成本，所以于制程作业中非常困难，甚至不可能得到测量主要制程的变量值。生产晶圆是依据一组技术方法(recipes)，以整批处理的方式运用处理工具来生产，该技术方法会指定执行该处理工具需要的参数，例如压力、温度与处理时间。测量通常是在处理步骤已经完成以后，才判定该整批处理是否符合其规范。两次处理对比(run-to-run)控制的方法是利用每一次处理生产过程之后所产生的测量资料，以便为下一次的处理生产过程来决定技术方法里更好的设定。然而这种测量时常会由许多不同的可能的来源的变化所混淆，使得此等工作更为困难。

半导体组件制造的特点是运用昂贵的装备、原始材料，于一个整批处理的环境下创造微观的细微结构(feature)。在这一个环境里，晶圆的批次是取决于一是列以创造功能部分为首要目的的单元执行作业。于整个执行作业过程里，极端的处理状态与用关键尺寸建构的细微结构一直重复进行着。这些状况强调，欲测量在原位置的重要品质变量值是非常困难的(在很多情形下甚至不可能)。基本上，是在处理整个批次之后，才会测量需要的变量值。可惜的是，通常不可能回头重新执行一个作业，以便更正错误处理的批次。因此，需要有效的处理控制，来确保每一次的处理生产过程都是依照预先的计划进行。

半导体制造的两次处理对比控制方法是一种批次控制，每一个批次可能小到只是一个晶圆，或者是大到数批的晶圆。两次处理对比控

制器的标准输出是一个处理技术方法。这技术方法会定义“低层级”控制器的设定点，并且将的建立在处理工具中。这种处理方式，使得两次处理对比控制器可以运用定义处理需要的变量值，例如温度、压力、流量与处理时间，以便监督工具控制器。此工具控制器则管理以驱使这些变量能够维持于必要的所需值。通常，设立的两次处理对比控制包含有反馈回路，该反馈回路会依据处理后测量的批次性质来调整该技术方法的参数值。基本上，两次处理对比控制器的工作是来保证每一个批次可以达到其线内(inline)目标。线内目标是参考晶圆只有完成某些他们的处理步骤时，所作的测量值。线内目标是设计于制造生产线的结束，产生功能部分时提供指导方针。

两次处理对比控制器对于分离部分的制造过程具有很多固有的复杂性。不同于其设备输出可以混合在一起来制造特定产品的连续制程，两次处理对比控制器的每一产出物部分的品质及性能都必须正确的符合其功能需求。在这要求结果下，则必须运用积极性的控制法则，因为制造的限制不允许控制器于制造过程趋向目标时，产生一是列的非目标性的批处理。如果系统模式可以作正确的预测，则控制方法就可以相当地积极。这是因为控制器的稳定性有是于模式的稳定性，以便与实际系统的处理行为相符。一个太过积极而造成表现模式错误和其它不确定性的控制器，会实际上呈现较差的性能，并且造成不稳定。这种情况可能发生，因为控制器是依据其产出的改变可能影响制造处理所作的假设，以便作制造处理的决策。就系统的基本物理特性而言，小数量输入更改变动的品质影响通常可以轻易了解与预测。另一方面，更大量、更剧烈的更改变动会弄乱生产处理，其引进的动态值，会更快速地超过生产处理所能操控。如果对于生产处理有较佳的了解，那么就可以更快速和更有效率地作更改变动。

可以使用的最积极的控制器，是设备逆转，或者是非周期性的控制器。这种控制器会尝试正式拒斥任何测量过的输入干扰，并且针对每一个批处理的准确目标来设定控制器的参数。参数可以藉由取代进入到处理模式的需要输出，并且直接解答用为输入，而决定其数值。比较谨慎的控制行为，可以藉由强制允许有多么快速的输入变量的变更的限制而获得。

因为对于制造过程很重要的处理进展以及其它变量，可能随着时间迁移而有变化，一个成功的控制器应该是随着处理状态的变动，而可以适当地调整。此种自调的控制器的基础，为系统辨识技术。系统辨识技术着重于决定一个具有相同输出-输入特征的模式，并且可能是研读中具有相同特性的模式结构的实际系统。在很多实际的应用中，对于还处于研读中的处理程序，取得一个正确模式形式几乎是不可行的。因此，联机(online)系统辨识是时常采用参数评估问题的形式。在这一规划下，预先决定模式的形式，而模式参数则会依照处理资料而递归地更新。当随着时间评估的模式改变参数时，可以看到改变处理状态。

于微电子制造过程中，应用统计处理控制(SPC)至处理输出是一种标准施行方式。SPC 也可以应用于自动控制系统下的输出。这些输出不只包括处理的控制输出，而且还包括由控制器所使用的预测方法得到的实际处理的测量误差。一般而言，运用 SPC 技术牵涉到设定有关变量的限制，并且对于那些超越偏离这些限制的处理作调查。正如同其名称，统计处理控制非常偏重于处理相关的处理变量来作为分发资料根据。有些不同的统计则可以监控以确保制造处理保持平稳。这些技术是设计用来指示某一处理是否是在控制中执行，但是当该处理失控时该如何因应则交由工程师来决定。

这些 SPC 技术可以表现出使自动控制器保持执行于控制限制内处理的能力。当超越了限制时，该处理或者自动控制器二者的一就必须作调整。然而实际处理和干扰随时在改变着，因此实际上不必就所有相关的处理变量保持不变。更甚者，有很多系统是没有办法随心所欲地经常控制所需的重要的测量。对于这些系统，可能有些测量会是分离而无法辨识的，原因是他们根本没有测量。本文中，对于处理变量的固定式限制并不是经常有意义的。理想的解决方法是有一个可以侦测到处理的变化，并且负责来自我调整的自动控制器。这样的自动控制器在品质输出的控制限制还尚未违犯之前，就已经调整其处理作业。这一个控制器必须辨识自己使用的模式以防该模式成为失效状况，故它必须时常处理新的测量资料，以便为重建处理模式保留住机会。

在一个不确定状况环境下，要成就适当的执行能力，控制系统对

于处理的更改必须作反应。自调的控制技术是一类的控制设计，其中控制器会自动调整其模式参数，并且对处理本身所观察的改变来作调和的工作。这些技术通常是依赖在线上模式参数的估测，以及控制器的设定值也是连续地调整以便符合由测量得来的现用的系统模式。当系统的真实模式很复杂或是高次时，自调控制是很有用的，因为控制法则可以建立于具有可调整参数的较简单模式。这些控制器是可以由各种设计方法而获得，包括极位配置技术与二次方程式成本函数的最小化。自调控制技术具有使能达成提前控制的观念，譬如使用于研读中系统是非常复杂或是缺乏了解时的最佳控制情形。

对于指定的系统具有操控输入和量化的性能目标，则可使用最佳控制理论来找出最好的一组输入值。最佳控制问题是用来决定该组的输入值，使目标函数成为最小化(或者是最大化)，以便满足系统模式的限制，和任何额外的处理需求。以数学方式表示，可以下列的公式来说明，其中 x 代表处理状态， u 代表操作的输入值， t 代表时间， f 则是代表目标函数，并且 g_i 是解答的一是列限制条件。

$$\min_u f(x, u, t) \quad (1)$$

$$g_i(x, u, t) \geq 0 \quad (2)$$

对于某些类型的系统而言，这样的作法能够良好地解答控制问题。最佳控制的一个优点就是控制目标能够很清楚地定义。运用解答来评估目标函数提供了控制器的期望的性能定量化测量。当这技术与前述的自调技术配合运用时，即使当系统改变超过了时间，最佳控制亦可以符合控制目标。此最佳控制公式属于非常通用的，并不只限制于本文说明的简易系统。限制方程式 g_i 通常包括微分方程式或者是差分方程式，该等方程式管理处理以及加诸于该处理输入与状态的操作限制。对于大部分的实际处理，上述问题时常造成一组非线性微分方程式带有混合的边界条件。

对于一些简单的处理模式已导出了最佳解答。此等问题的一个类型是线性(L)模式以及附带有在模式中高斯(G)噪声的二次方程式(Q)目标函数，亦称为 LQG 问题。对于这些系统，可以推导出最佳控制器。一般而言，真实系统必须算出其近似值，并且必须使用一个次最佳控制器。这是因为系统的真实模式时常都是未知的，或者是太复杂了，

以致于使得最佳控制器无法选择一个接近型式的解答。一般解法是公式化成为 LQG 问题，并且使用相对的线性控制器。

使用于自调控制的一种方法为次佳的趋近方法，其中该处理模式假定为具有简单模式形式，但是模式的参数值则为未确定或者是随时间改变。在这个公式中，用于所选择的模式形式的最佳控制法则可以用未知模式的参数来推导出。因此可以用系统辨识技术来决定模式参数值，该模式参数值可以对观察系统行为作最好的诠释。

于此情况，控制器拥有一个对于目前操作点的类似值推算得准确的模式。当处理作业前进到其它操作点时，会更新模式参数，致使控制器的功能保持有效率运作。最主要的限制是模式必须符合有关的目前区域的实际处理作业的输出-输入行为。那些不是由模式所产生的干扰与动态现象将会影响控制器的稳定性。该控制器必须能够智能的反应参数估测的误差，以及于模式参数中需要变更的于处理作业中的实际改变。自调控制器会于每一次取样后，递归的估测模式参数，然后控制行动将会依照新的估测参数值来作计算。

自调控制方法有很多不同的做法。本文前述的是一种间接做法，其控制行动是依据估测模式参数值计算得来。在直接自调控制方法里，控制法则其本身的参数(例如获益(gain))是从测量误差值来递归的计算。最佳自调控制器尝试利用一个公式来解决双控制问题，该公式以处理的同时控制与辨识为目标。一个充分提前的控制器能够提供描述所需处理的特点，并且“探测”处理作业以取得较佳的参数估测。

自调控制器依赖系统辨识技术来衔接所选择的模式形式与实际模式之间的差距，该实际模式由选择用于模式形式中的所有的参数的适当值而用于控制。系统辨识技术则分为两个主要领域(例如离线与联机)，完全取决于辨识资料的取得过程是否于系统执行时的实时数据。

离线系统辨识设计检查达成于一个模式时的一组全部的处理输入与输出资料。这种设计很有弹性，因为可以试验各种不同的模式形式，其优点是可以一次分析所有的处理资料。这样的系统甚至可以运用例如人工神经网络(ANN)模式，而不必具有规定的结构。离线系统辨识设计的主要限制就是它无法预测未来该模式会如何改变。

联机系统辨识技术则是于研读中的处理正在执行运作时，进行检

查工作。它们是运用处理测量，并且递归的更新一个预定形式的系统模式。估测器会观察系统，并且于所选择的模式结构里调整其模式参数。通常，估测器并没有一组全部资料可供研读作业，只能够抓取已经完成的测量值。然而，联机系统辨识设计有一个明显超越离线方法的优点。联机方法能够快速反应处理作业的改变。处理作业的改变是表现误差于模式参数值。如果处理作业的改变是随着时间平缓的更改，则联机系统辨识方法可以随着处理的改变调整其模式，因此预测误差就会保持很小。

一般指数式加权移动平均(EWMA)过滤技术可以运用于递归参数估测。以下一个新的参数估测式是由运用加权式结合依据目前测量的参数估测，以及目前参数估测而得到如下的公式：

$$\tilde{x}_{k+1} = \lambda x_{k+1} + (1 - \lambda)\tilde{x}_k, \quad (3)$$

此处 x 是测量值， \tilde{x} 则是估测。

所选择的 EWMA 加权参数， λ 会影响估测器的反应是缓慢的(对于缓慢移位处理作业)，或者是快速的(对于经过快速改变的处理作业)。所以对于加权参数不同的选择会影响于不同环境下使用参数估测的控制器的稳定性。

为能够使用联机递归方式来有效地估测模式参数，则必须要有一些处理作业的特征。于自动控制方法下来辨识一个处理作业是颇为繁复的，因为控制器的动作会遮蔽住处理作业的基础行为。通常，处理作业的输入值必须以独特地辨识模式参数的方式来变化更改。这种需求称为持续性激励。此时产生一个难题，因为当处理作业在期望的操作点达到平稳状况时，满足一个典型控制目标会降低激励的次数。

自调控制技术可以应用到两次处理对比控制的批处理作业。系统模式预测每一个批次的处理行为，以及系统的批次到批次之间如何变化。控制器的责任是对每一个批次选择最佳的输入设定值。在实际的制造环境里，处理状态持续地改变，所以系统模式必须规律地更新。为达到对每一个批次都有最佳的输入值，控制器必须藉由调整模式参数以因应随时改变的处理状态。利用每一次新的有效资料到达时能解决系统辨识问题，即可以达到此目的。

半导体制造中两次处理对比批次控制通常因为具有多重产品以及

多重处理工具而变得复杂。于半导体制造中时常会发生这些情形，但他们对于在例如聚合物产品的其它批处理环境中也是一个问题。每一个批次符合其要求规格是很重要的，但是要不断地在产品与工具之间切换，以便选择合适的技术方法设定值是很困难的。联机系统辨识与自调控制可以协助，使得这个问题较可操控。当然，控制器的成功是取决于干扰的性质、系统输入以及控制器本身的设计。

兹考虑一个可以线性化模式的处理作业，作为一个简单的例子，

$$x=rt. \quad \text{-----}(4)$$

于时间 t 后的反应内容得到为 x ， r 是速率，已知该等数据会随着变动的处理状态而波动。其目标是期望的反应程度 x^* 。每一次执行后新的速率 r 估测会依据执行的结果制造出来。在很多应用环境下，可以很快地观察到不同的产品具有非常明显不同的反应速率。然而，即使只生产一种产品，速率可能随着批次之间而飘移不定。这可能是因为反应器的积垢、耗用原料的劣化或者是处理泄漏所造成的。

如果只有单纯的用两次处理对比来追踪对于 r 的估测，则是无法接受的，因为每一次转换到不同产品时可以视为一个步骤的改变。每一次产品转换，速率估测会慢慢地移向随着几次的执行过程后的新观察速率值。反应器的积垢会随着几次的执行过程而使得速率继续减慢。可以使用 EWMA 来过滤由每次的执行所表现的速率资料，并且用过滤的数值作为速率估测。当第二种产品开始执行时，其表现的速率与第一种产品的速率值大不相同，并且过滤器会使得状态估测随着时间慢慢的察觉。而状态估测会因此落后观察值，尤其是当生产产品转换的时候。估测状态与实际状态之间的差异就是造成运用此估测结果的控制器的原因。

本领域的先前技艺已导向观察器排程的概念。在这个公式中，一个模式是由与产品无关的工具状态(x)发展出来。该工具状态是用于此工具的本质速率。此速率的任何改变会影响该工具执行的所有产品。

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \quad (5)$$

处理状态 x 利用如下输出公式来写映产品状态 y :

$$y_k = Cx_k. \quad (6)$$

然后，此估测器会用来追踪工具状态 x ，而不是产品状态 y 。Kalman

最佳过滤方程式的检视会指出最佳观察器的获益是一个输出写映 C 的函数。所以利用离线分析，可重复生产产品的相依性可以量化而达到速率 r 的一个新模式，其中 r_0 是处理工具的“本质速率”，而 k_p 是产品相关的修正系数。

$$r = r_0 k_p \quad (7)$$

然后观察器利用产品相关的修正系数 k_p 来调整观察速率，得到估测 r_0 而不是 r 。当于产品相关的修正系数能够明确获知的状况时，以上描述的设计可以很正常的工作。不管任何产品的生产执行，只要观察处理工具操作作业改变即可。然而，在实际的制造生产环境下，会发生一些复杂事情。例如，就原始原料以及处理工具的停机时间而言，有一些处理工具于新产品出现时，试验的代价非常地高。这样的冲激使得产品相关的各因子不能时常可以获知一个前定值(priori)，因此假设 k_p (因此 C 亦然)是一个已知值，这样并不是必然地安全。

上述的方法是观察单一个参数(r_0)，但是必须寻找一个快速方法来获得新的估测 k_p 值。理论上，可以利用观察每一次执行作业的速率值，并且因此更新模式参数，而达到目标。然而于实务上，会有观察性的考量出现。每一次执行作业的结果就是测量得到的 r 表现速率，此速率会为 r_0 与 k_p 所困惑干扰，因此任何的估测设计必须能够利用有效的资料，以便调整所有的需要参数。

要从资料(r)来估测 r_0 与 k_p ，可使用前述的方程式与 Taylor 是列近似值，

$$\Delta r = r_0 \times \Delta k_p + k_p \times \Delta r_0 \quad (8)$$

r 值的明显改变可以由估测 r_0 与 k_p 的改变来表示。所以必须将这些变化作分类(使用变化数值技术的分析方法)来决定如何于两个参数之间分布这些误差值。

一个简单分布误差值的方法是应用线性滤波器于各参数。

$$r_{0,new} = r_{0,meas} \lambda_r + r_{0,last} (1 - \lambda_r) \quad (9)$$

$$k_{p,new} = k_{p,meas} \lambda_k + k_{p,last} (1 - \lambda_k) \quad (10)$$

λ 值的变化是依照参数的估测的可靠性反应而得到。其中的 r_0 是预期会变化， λ_r 值就会提高；而 k_p 值如果是有误差时，则 λ_k 值也会提高。

就一个已经顺利生产产品的例子来说，对于 k_p 值的准确度的可靠

性很高。此外，已知 r_0 随着时间浮动不定，因此应用 $\lambda_r \gg \lambda_k$ 的关是式。另一方面，就新产品而言，对于 kp 值的可靠度比较低。 kp 值的非准确度对于速率所造成的影响，比起 r_0 值的干扰或者浮动不定的影响还要严重，因此设定 $\lambda_k \gg \lambda_r$ 的条件。

然而这个易懂的技术会受到限制，因为它的概念需要一个标准化的设计，但是其数值很难予以质量化。更加上，并不是每一次都可以依次解开个别参数的模式方程式。

一个成功的控制器对于以上描述各种处理形式，是可以应付这种同时辨识与控制的双重问题。而制造大量输入变更，或者执行非生产性实验值会比较容易了解处理程序，但是如此正好与控制器的首要目的直接相反。在紧密跟踪目标与协助描绘处理特征两者之间作处理抉择，是一种斟酌取舍的观念，因为两者的目标是互相冲突的。

运用于大量、多重产品的半导体制造的两次处理对比控制，并不能轻易融和进入处理控制的传统方法的结构里面。传统方法定义了包括一组特定的状况、输入与输出资料的处理模式。于一些情形下，该模式是固定的，而于其它情形下，则是随着时间改变。于各时间步级 (time step)，输入与干扰会影响状态，并可以测量输出。然后，控制器会作更新，处理重复进行着。然而这种方法并不会经常成功的一个原因，就是通常情形都是多重处理工具以及多重产品。现代的微电子制造设备都有共同的实施情况，就在每个处理工具于执行运作时都有很多不同产品与处理作业并行运作，主要是因为处理工具与高额资本成本有关，以及生产设备的有限容量。此外，处理作业的的所有的重要测量，只是每一次执行制造过程的一个子集合而已。因此如何在此环境中决定控制器的更新动作可能是一个挑战性的任务。

一个两次处理对比控制器依赖具有一个处理模式可以于每一次执行之间作持续性的更正。当处理工具同时执行很多处理工作时，却是相当不同的状况，控制器可能有意想不到的执行行为，因为对一个新处理工作的更改可能出现极大的干扰。此外，对于一个特定处理工作可能需要好几次的连续执行才能够使得控制器平稳下来，但是制造时的限制却可能使其无法实现。在最佳状况时，无论处理工作出现的先后顺序是如何排列，控制器会对必须于处理工具上执行的所有处理工

作决定出最佳的设定。

在自调控制技术的策略下，一个联机系统的辨识设计是跟随着控制器一起执行，并且不断地调整模式以便仿真系统的真正行为动作。这种情形之下很艰难的任务是在很多的可能性(参数，偏差估测)之中决定何者是输出值中的观察得到的误差的来源。在半导体制造过程中，共同的问题是这些误差是应该归属处理工具的差异或者是产品的差异。

本发明直接地克服，或者是至少降低了上述的一个或者更多问题所造成的影响。

发明内容

本发明的一个观点是着眼于用于监视控制制造系统的方法。此方法包括定义对于制造系统所做的一个多重的观察状态。产生用于观察状态的状态估测。对于每一个状态估测产生一个不确定性值。接收在制造系统中关联于实体的测量数据。状态估测会依据测量资料以及关联于该状态估测的不确定性值来作更新。该不确定性值可能也会用来影响排程的决定。

本发明的另一个观点是着眼于用于监视制造系统的一个系统。此系统包括控制器组构成用来定义关联于制造系统的多个观察状态，产生用于观察状态的状态估测，产生对于各状态估测的不确定性值，接收于制造系统中关联于实体的测量资料，并根据关联于状况估测的测量资料和不确定性值来更新状况估测。该系统亦可包括排序控制器，组构成用来根据不确定性值的预测更改，而作排程决定。

附图说明

第1图是依照本发明的一个说明实施例，制造系统的简化区块图；
第2图是第1图的制造系统一部份的简化区块图；
第3A和3B图是例示或然率密度函数的图标；
第4图到第29图显示第1图的控制器于各种情况下性能的图标；
以及

第30图表示依照本发明的另一个实施例，包括处理控制器和排

程控制器的系统的区块图；以及

第 31 图表示依照本发明的又一个实施例，于制造系统中用于排程活动方法的简化流程图。

具体实施方式

可以参照下列说明并配合所附图式而明了本发明，其中相同的参考号码是对应于相同的组件。

虽然本发明可作各样的修正与变更形式，但已用图式方式例示了特定的实施例，并作了详细的说明。然而应了解到，该等特定实施例的说明并不欲用来限制本发明为所揭示的某些特定形式，相反地，在不违背本发明所附申请专利范围内所界定的精神和范围情况下，各种的修饰、等效和变更，皆应属于本发明的范围。

下文中将说明本发明的范例实施例。为了清楚起见，本说明书中并非将所有实际施行本发明的特征，均作了说明。当然应了解到，在开发任何此种真实的实施例时，必须作出许多与实施相关的决定，以便达到发明者的特定目标，譬如符合随着实施例的不同而有所变化的与系统相关及与商业相关的限制条件。此外，我们应当了解，此种开发工作可能是复杂且耗时的，然而，仍将是一种对此项技艺具有一般知识者在参阅本发明揭示事所述之后可从事的例行工作。

兹参照第 1 图提供说明制造系统 10 时的简化区块图。在此所示实施例中，制造系统 10 调适以制造半导体组件。虽然本发明是用来描述应用于半导体制造设施，但本发明并不受到限制，也许可以应用到其它制造环境。本文所描述的技术可以应用到多样的工件或者是制造项目，包括但不限于：微处理器、内存装置、数字讯号处理器、特殊应用集成电路(ASIC)，或者其它类似的组件。本技术也可以应用到非半导体组件的工件或制造项目。

网络 20 连接了制造系统 10 时的不同部门，允许他们之间互相交换讯息。这个例示的制造系统 10 包括多个处理工具 30 至 80。每一个处理工具 30 至 80 可以跟一个介接到网络 20 的计算机(图中未显示)耦接。处理工具 30 至 80 以相类似的工具分类成组，由字尾的文字来表示。例如，处理工具 30A 至 30C 一组代表一个特定种类的工具如化学

机械平面化工具。一个特定的晶圆或许多的晶圆当正在制造时前进经过处理工具 30 至 80, 每一个处理工具 30 至 80 在制造处理的流程中执行特定的功能。半导体组件制造环境的范例处理工具包括测量工具、微影术步进器、蚀刻工具、沉积工具、研磨工具、快速温度处理工具、植入工具等等。处理工具 30 至 80 仅是为了说明的目的地而将的显示于同一个等级和档案群。在实际执行时这些工具可能被安排成任何的顺序或分类。此外, 这些工具在特别群组下其间的连接只是代表连接到网络 20, 而不是工具之间的互连。

制造执行系统(MES)服务器 90 指导制造系统 10 的高阶操作。制造执行系统服务器 90 监督于制造系统 10 中的各种实体(亦即: 各批次, 处理工具 30 至 80)的状况, 并且经由处理流程来控制制造对象(例如: 半导体晶圆批次)的流程。数据库服务器 100 提供用来储存于处理流程中制造的不同实体和对象的状态相关的资料。数据库服务器 100 可以将信息储存在一个或更多个资料储存器 110。这些资料可包括处理前和处理后的测量资料、工具状态、批次优先权等等。

部份的本发明以及相对应的细节描述可以用软件、或者在计算机内存内于资料位的操作的算法和符号表示来表现。这些描述和表示是为此技艺方面的一般技术人员用来有效地将其工作内容传达至此技艺方面的其它技术人员。本文中所用的算法一词, 如其一般所使用者, 是构想成自我持续性序列步骤而达到希望的结果。这些步骤就是须实际操作的实际数量。通常, 虽然并非是必须的, 这些数量是以光学、电或者磁性讯号, 并且以可储存、传输、结合、比较、及其它操作的形式来表现。主要在一般的使用上有时候会很方便地将这些讯号参考成为位、数值、元素、符号、字符、项目(terms)、号码, 或类似者。

但须切记的是所有的这些以及类似的项目将与适当的实际数量相关, 且只是应用于这些数量的方便的标志。除非特别说明, 否则或者从讨论中可得知, 例如是『处理』或者是『计算』或『核算』或『决定』或『显示』或相类似的项目, 都是表示计算机系统或相类似的电子计算组件的动作和处理, 该计算机系统或电子计算组件处理并转换在计算机系统的缓存器和内存内表现为实际的电子数量的资料, 成为在计算机系统的缓存器或内存或其它此种信息储存、传输或显示装置

中类似表现为实际数量的其它的资料。

适合应用在制造系统 10 的范例信息交换和处理控制结构 (framework), 就是“先进处理控制(APC)”结构, 例如可以使用由 KLA-Tencor 公司所提供的 Catalyst 系统来建构完成。这个 Catalyst 系统使用“半导体装备和原料国际(SEMI)计算机整合制造(CIM)结构”所兼容的系统技术, 并根据“先进处理控制(APC)结构”。CIM(用于 CIM 结构范围结构的 SEMI E81-0699-暂订规范)和 APC(用于 CIM 结构先进处理控制组件的 SEMI E93-0999-暂订规范)的规范是由总部设在美国加州 Mountain View 的 SEMI 所公开提供的。

制造系统 10 亦包括执行在工作站 140 的控制器 130。下文中将更详细说明, 控制器 130 决定制造系统 10 中的各样的处理工具的操作程序设定。本文中所用到的缩写以及符号术语将汇总于下附录 A。

第 1 图中于各不同计算机或工作站中处理和资料储存功能的分布, 是通常用来引导提供独立以及中央式资料储存。当然也可以使用不同数量的计算机和不同的安排。

接着参照第 2 图, 其为第 1 图中的制造系统 10 的部份的简化区块图。在例示的实施例中, 制造系统 10 的部份包括有与控制器 130 介接并组构成用于三个不同的产品(A、B、和 C)执行处理的第一和第二个处理工具 200 和 210。选用处理工具 200、210 和产品的数量, 仅为为了方便讨论。当然, 也可以使用其它数量的处理工具 200、210 以及产品。由处理工具 200、210 所执行的处理作业也可以执行于任何的产品 / 处理工具的组合。控制器 130 包括有控制法则组件 132, 以及观察器组件 134。观察器组件估测并且更新制造系统 10 的状况。控制法则组件使用这个状态讯息来决定用于处理工具 200、210 的操作程序参数。

使用线性形式并且假设所有组合都有单一的“标称”点, 能由下列的公式说明由对于各内容标称移位的偏差量。

$$y_{1A} = r_0 f_0 t + r_1 f_0 t_0 + r_0 f_A t_0 \quad (11)$$

$$y_{1B} = r_0 f_0 t + r_1 f_0 t_0 + r_0 f_B t_0 \quad (12)$$

$$y_{1C} = r_0 f_0 t + r_1 f_0 t_0 + r_0 f_C t_0 \quad (13)$$

$$y_{2A} = r_0 f_0 t + r_2 f_0 t_0 + r_0 f_A t_0 \quad (14)$$

$$y_{2B} = r_0 f_0 t + r_2 f_0 t_0 + r_0 f_B t_0 \quad (15)$$

$$y_{2C} = r_0 f_0 t + r_2 f_0 t_0 + r_0 f_C t_0 \quad (16)$$

其中的下标“1”代表处理工具 200，而下标“2”代表处理工具 210。

整个系统可以结合成为单一状况-空间模式。

$$\begin{bmatrix} x_{adj} \\ r_1 \\ r_2 \\ f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{adj} \\ r_1 \\ r_2 \\ f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} r_0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [t]_k \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} y_{1A} \\ y_{1B} \\ y_{1C} \\ y_{2A} \\ y_{2B} \\ y_{2C} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{adj} \\ r_1 \\ r_2 \\ f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix}_k \quad (18)$$

其中的状况包括调整(x_{adj})，工具偏差(r_1 和 r_2)，和产品偏差(f_A 、 f_B 、和 f_C)。这一个模式是假设所有的产品 / 处理工具的结合同时使用相同的输入设定并行执行。虽然这种情形可能不会实际发生，但是从了解的观点对于不同的处理内容互动极有帮助。例如，非常明确的单一的产品因素 f_A 使用在产品 A 的所有执行，而无关于处理工具。

此处计算的可观察性测试，

$$O^T = \begin{bmatrix} 1 & f_0t_0 & 0 & r_0t_0 & 0 & 0 \\ 1 & f_0t_0 & 0 & 0 & r_0t_0 & 0 \\ 1 & f_0t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0t_0 \\ 1 & 0 & f_0t_0 & r_0t_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0t_0 & 0 & r_0t_0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0t_0 & 0 & 0 & r_0t_0 \\ 0 & f_0t_0 & 0 & r_0t_0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0t_0 & 0 & 0 & r_0t_0 & 0 \\ 0 & f_0t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0t_0 \\ 0 & 0 & f_0t_0 & r_0t_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f_0t_0 & 0 & r_0t_0 & 0 \\ 0 & 0 & f_0t_0 & 0 & 0 & r_0t_0 \end{bmatrix}, \tag{19}$$

为欠缺 1 阶层(rank)，所以这个系统无法以现有的形式来观察。造成这种情形的原因是因为所有的执行由一个产品偏差以及处理工具偏差所混乱。需要额外的限制去锁定一个偏差或另外一个偏差。一个增加额外的测量至该系统的方法包含使用品质经验。在此等事件期间，会在装备上执行标准测试，该装备可包括特别准备的“参考”批处理。当这些测试在遍及整个处理工具群给予标准化，如此就可以方便地来宣称这些特别的执行并没有产品特定的偏差。如此意味着工具偏差可以直接于特定工具测试过程中测量得知。当选择不实施这些实验的时候，也可以简单的来选择一个具有(已知的)偏差的参考工具或产品。这方法最主要的缺点是在持续改变的制造环境中，可能很难来辨识一个参考工具或产品。然而重点是，找出使系统为可以观察的方法。唯一的方法是增加必须的输出(测量值)，增加限制(有效地减少状态数目)，或者改变模式的形式成为完全不同的样子。

在上述例子中，工具品质将由下列说明的公式而表现出二个新情况。

$$y_1=r_1 \tag{20}$$

$$y_2=r_2 \tag{21}$$

其中 y_1 和 y_2 表示分别于工具 200(即, 1)和 210(即, 2)的品质评鉴期间观察从标称移位的偏差量。若将品质经验增加到范例系统，则此组合系统的新的输出公式为：

$$\begin{bmatrix} y_{1A} \\ y_{1B} \\ y_{1C} \\ y_{2A} \\ y_{2B} \\ y_{2C} \\ y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{adj} \\ r_1 \\ r_2 \\ f_A \\ f_B \\ f_C \end{bmatrix}_k \quad (23)$$

对此新系统的可观察性矩阵为：

$$O^T = \begin{bmatrix} 1 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & f_0 t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 1 & 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 0 & 0 & f_0 t_0 & r_0 t_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f_0 t_0 & 0 & r_0 t_0 & 0 \\ 0 & 0 & f_0 t_0 & 0 & 0 & r_0 t_0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

为全阶层，故此系统是可观察的。然而，此处系统仍是虚构的情况下，所有可能的处理情形都可能同时发生。在实务上，一次产生一个处理情况。于每一次处理之后都需要决定适当的方法来更新模式状态。

就结构上而言，本系统类似于实际系统其不同的测量是取样于不同的频率。在这种系统之下，当具备有不同组合的测量值时，可观察性就会随时间改变。虽然基本固有的要求是系统的观察必须在限制的情况下，但是其中所有可能测量必须在各时间步级中执行。

如同上述公式的说明，可能有一个分离时间系统模式，其中只有一部份的可能测量值是在各时间步级执行的。于此系统中，每当新的

测量值到达时，必须作状态更新，尽可能将得到的新测量值整合成为状况估测。通常，预测误差(介于测量值与预测输出值间的偏差)会驱使变化至状况估测。于本说明实施例中，主要研究的情形是有一测量值其会受到一个以上状态的影响。

就概念上而言，这种问题是不可能解决的，因为一个单一已知测量值必须用来更新一个以上的未知状态。然而，于本说明实施例中，控制器 130 运用额外可取得的信息来处理状态更新。于本文以下的详细说明中，观察器组件 134 维持所有状态的估测，以及对这些估测所做的必然测量，然后提出一个统计分析数值以便在预测的测量值中，决定何种状况是最可能造成观察误差。

现在将讨论焦点集中于观察器组件 134 的设计。由了解最佳控制理论获得的主要益处是，可以从系统中得知所有控制动作皆能够分离。这一个通则使得控制器 130 的调整成为直觉可能。例如，控制法则组件 132 的反应可能比较缓慢而不会影响状况估测执行程序。控制法则组件 132 可以运用系统 10 的状态的最佳讯息以便作其必须做的决策。后续的讨论将集中于状态估测问题。如果这问题得到解决，则任何类型的控制法则都可以运用在状况估测上而得到益处。

以下的讨论是探讨，不是所有测量动作都可以于各时间步级的情形来执行状态更新的问题。除了半导体制造生产线的控制之外，这种系统也可以运用于某些变量较的其它参数更频繁取样的传统的化学处理。例如，一个流量测度器可以持续产生流率测量值，但是组成分析却可能只需要每几个小时作一次即可。

只有依据部分的信息，必须做出最佳的猜测系统状态的实际数值的决定。第一步是确保系统于各时间步级所做的可能测量值都可以观察得知，正如上文所述。

系统状态除了系统模式中获知的已知效果外，通常都是受到噪声与干扰影响的未知的数量。从分析的观点来看，每一个系统状态可视作为一个连续的随机变量。为了便于说明，兹假设每一个都是以一些变量 σ^2 ，正常分布于其目前的估测。

在估测执行程序的初始点，所有的变量都依据一个处理的实验分析而起始至状态值。每一个状态的或然率密度函数如下：

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-x^-)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (25)$$

此处 x^- 是平均值, σ^2 则是变量。这个函数的图形显示于第 3A 图中。

对于一个随机变量的 n 维向量, 其或然率密度公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \det V}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x-x^-)^T V^{-1}(x-x^-)\right), \quad (26)$$

此处 x^- 是平均值的向量, V 则是由以下列公式所得的协方差(covariance)矩阵:

$$V = E((x-x^-)(x-x^-)^T) \quad (27)$$

此多因次或然率密度函数的图形示于第 3B 图。如果状态之间的互相依存性于初始点并不了解, 则 V 将只会是状态估测的变量的对角式矩阵。

假如测量是于特定的时间步级执行, 则必须具备所有状况的期望值。这个执行程序将会以一个简单的实例情况来说明然后产生。例如假设一个系统具有两个状态如下表示:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

还有一个输出公式如下:

$$y = Cx \quad (29)$$

此处

$$C = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{bmatrix}. \quad (30)$$

于任何指定的时间步级, x_1 与 x_2 是状态的目前估测, 而 σ_1 与 σ_2 是关联于这些估测的变量。假定这些状态是互相独立的, 并且正常分布于估测, 则其或然率密度函数如下:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{4\pi^2\sigma_1\sigma_2}} \exp\left(-\frac{(x_1-\hat{x}_1)^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(x_2-\hat{x}_2)^2}{2\sigma_2^2}\right). \quad (31)$$

这个输出矩阵包含两个测量值, 但是如果只得到一个而已, 则必

须作状态更新。根据以上的公式，第一次测量所得的预测值是：

$$y_1^{\sim} = a_1 x_1^{\wedge} + a_2 x_2^{\wedge}. \quad (32)$$

如果 $y_{1,m}$ 的测量值获得为 y_1 ，则预测误差是：

$$e_{y_1} = y_1^{\wedge} - y_{1,m}. \quad (33)$$

观察器组件 134 把此预测误差分布至 x_1 状态和 x_2 状态。因为该测量数值暗示了线 1，则可完成该分布，

$$y_{1,m} = a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (34)$$

是包含在状态的或然率密度函数已定义的空间内。投影在线 1 的结合或然率密度函数提供于接收测量数值后的或然率分布的指示。该线 1 可以设想为于第 3B 图的平面 p 与或然率密度函数之间的交叉线。

欲计算状态的期望值，令 $(x_{1,0}, x_{2,0})$ 代表对于线 1 上最近 $(x_1^{\wedge}, x_2^{\wedge})$ 的一点。选择这一点是因为方便且对任何线 1 都存在。在这里取得的点就是以下问题的解答：

$$\min_{x_1, x_2} (x_1 - x_1^{\wedge})^2 + (x_2 - x_2^{\wedge})^2 \quad (35)$$

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 = y_{1,m}. \quad (36)$$

若 $a_2 \neq 0$ ，则

$$-\frac{a_1 x_1}{a_2} + \frac{y_{1,m}}{a_2} = x_2. \quad (37)$$

将此式代入到公式(35)产生：

$$\min_{x_1, x_2} (x_1 - x_1^{\wedge})^2 + \left(-\frac{a_1 x_1}{a_2} + \frac{y_{1,m}}{a_2} - x_2^{\wedge} \right)^2. \quad (38)$$

将关于 x_1 的导出数设定为零，产生：

$$2(x_1 - x_1^{\wedge}) + 2 \left(-\frac{a_1 x_1}{a_2} + \frac{y_{1,m}}{a_2} - x_2^{\wedge} \right) \frac{-a_1}{a_2} = 0. \quad (39)$$

群组 x_1 的项产生：

$$x_1 \left(1 + \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) - x_1^{\wedge} - \frac{a_1 y_1}{a_2^2} + \frac{a_1 x_2^{\wedge}}{a_2} = 0. \quad (40)$$

因此，

$$x_1 = \frac{x_1^{\wedge} + \frac{a_1 y_1}{a_2} - \frac{a_1 x_2^{\wedge}}{a_2}}{1 + \frac{a_1^2}{a_2^2}} = \frac{a_2^2 x_1^{\wedge} + a_1 y_1 - a_1 a_2 x_2^{\wedge}}{a_1^2 + a_2^2}. \quad (41)$$

由于对称得到,

$$x_2 = \frac{a_1^2 x_2^{\wedge} + a_2 y_1 - a_2 a_1 x_1^{\wedge}}{a_1^2 + a_2^2}. \quad (42)$$

所以,

$$(x_{1,0}, x_{2,0}) = \left(\frac{a_2^2 x_1^{\wedge} + a_1 y_1 - a_1 a_2 x_2^{\wedge}}{a_1^2 + a_2^2}, \frac{a_1^2 x_2^{\wedge} + a_2 y_1 - a_2 a_1 x_1^{\wedge}}{a_1^2 + a_2^2} \right) \quad (43)$$

线 1 可以用以下公式 t 来参数化:

$$x_1(t) = x_{1,0} + a_2 t \quad (44)$$

$$x_2(t) = x_{2,0} - a_1 t \quad (45)$$

现在, 沿着线 1 的或然率密度函数的非正常化积分 k 可以用以下公式来定义:

$$k_l = \int_l \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 \sigma_1 \sigma_2}} \exp\left(-\frac{(x_1 - x_1^{\wedge})^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(x_2 - x_2^{\wedge})^2}{2\sigma_2^2}\right) dl, \quad (46)$$

或者,

$$k_l = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 \sigma_1 \sigma_2}} \exp\left(-\frac{(x_1(t) - x_1^{\wedge})^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(x_2(t) - x_2^{\wedge})^2}{2\sigma_2^2}\right) dt. \quad (47)$$

然后可由下式获得对 t 的期望值:

$$t_{\text{exp}} = \frac{1}{k_l} \int_{-\infty}^{\infty} t \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 \sigma_1 \sigma_2}} \exp\left(-\frac{(x_1(t) - x_1^{\wedge})^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(x_2(t) - x_2^{\wedge})^2}{2\sigma_2^2}\right) dt, \quad (48)$$

以及状态的期望值是:

$$x_1 = x_{1,0} + a_2 t_{\text{exp}} \quad (49)$$

$$x_2 = x_{2,0} - a_1 t_{\text{exp}}. \quad (50)$$

概念上, 更新将以对于具有更不确定性(变量(variance))的参数状态估测所作的改变变大的方式, 来分布两个状态之间的预测误差。这是因为在线 1 上的预料点由具有“较宽的”或然率密度的参数估测来支配, 此图标于第 3B 图中。切割穿过或然率密度函数的平面 p 代表为

x_1 和 x_2 函数的包含于新的测量值的信息。具有或然率密度函数的平面 p 的相交线，为赋与的新的信息的或然率分布。

上述的讨论与分离的 Kalman 滤波器的导出有类似的目标。希望能用不明确的资料来获得较佳的参数估计。Kalman 滤波器可以用许多不同的方法取得。当于 Kalman 滤波器导出时上述的公式把测量值信息(1)看作绝对值，其载有不确定性值正如同状态估测所做的一样。就数学上来说，虽然于 Kalman 滤波器公式中线 1 作用为如上述的限制，但是该线 1 对应于减到最小的目标函数中的劣化项。用 Kalman 滤波器处理问题的方法此处将作较详细的说明，而且是一种比较普遍用来估测问题的方法。

兹考虑一系统用 x 作为状态估测现时的向量， P 为用于状态估测误差协方差矩阵，和 Y 为测量值向量，由下列公式表示：

$$y=Cx+v \quad \text{-----}(51)$$

其中 v 代表具有零平均值及协方差矩阵 R 的随机测量误差。

以上述的系统来说，分离的 Kalman 滤波器实质上最小化性能指针：

$$J = \frac{1}{2} \left[(x - \bar{x})^T P^{-1} (x - \bar{x}) + (y - Cx)^T R^{-1} (y - Cx) \right], \quad (52)$$

而将 x 到达新的状况估计的向量。

虽然劣化改变了现有估测信心为高的状态估测，但此加权最少平方性能指针把预测误差减到最小。这样容易判决协方差矩阵 P 是不是只含变量的对角线的矩阵。高信心状态估测将有低的变量，所以 P^{-1} 的相对项值很大。此外，如果接到多个的测量值，则依照他们的信心水准(由矩阵 R 的变量项目来决定)，在目标函数中将他们加权。

值得注意的是如果 R 所述的大小为非常小，则新的 x 值必须清楚地说明测量值 y ，因为对于大 R^{-1} 而 $(y-Cx)$ 的各项会严重地劣化。如果 R 为很小，则于测量向量 y 的不确定性就很小。于极端情况下，解答趋近于状况估测结果落于由公式(34)测量所定义的线(或平面)上的情形。公式(52)描绘的最佳化可以把微分函数 dJ 设定成零，以分析作解答。

$$dJ = dx^T P^{-1} (x - \bar{x}) - (Cdx)^T R^{-1} (y - Cx). \quad (53)$$

如此，

$$0 = dx^T [P^{-1}(x - x^-) - C^T R^{-1}(y - Cx)]. \quad (54)$$

因为 dx 可以任意地变化, 则括号内的项必须为零, 而且可以用代数方法来解答最理想的 x 值。

$$0 = P^{-1}x - P^{-1}x^- - C^T R^{-1}y + C^T R^{-1}Cx \quad (55)$$

$$0 = (P^{-1} + C^T R^{-1}C)x - P^{-1}x^- - C^T R^{-1}y \quad (56)$$

$$(P^{-1} + C^T R^{-1}C)x = P^{-1}x^- + C^T R^{-1}y + C^T R^{-1}x^- - C^T R^{-1}x^- \quad (57)$$

$$(P^{-1} + C^T R^{-1}C)x = (P^{-1} + C^T R^{-1}C)x^- + C^T R^{-1}y - C^T R^{-1}Cx^- \quad (58)$$

$$x = x^- + (P^{-1} + C^T R^{-1}C)^{-1} C^T R^{-1}(y - Cx^-). \quad (59)$$

于上述说明的二个可变量情形,

$$C = [a_1 \ a_2] \quad (60)$$

和

$$P = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix}. \quad (61)$$

因为只有一个测量值, 所以矩阵 R 就只有单项 R 。因此对于此情况,

$$x = x^- + \left(\begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2^2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{R} \end{bmatrix} [y - Cx^-]. \quad (62)$$

公式(62)可以进一步简化成:

$$x = x^- + \begin{bmatrix} \frac{\sigma_1^2 a_1^2 + R}{\sigma_1^2 R} & \frac{a_1 a_2}{R} \\ \frac{a_1 a_2}{R} & \frac{\sigma_2^2 a_2^2 + R}{\sigma_2^2 R} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{R} \end{bmatrix} [y - Cx^-] \quad (63)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^- + \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2 R}{\sigma_1^2 a_1^2 + \sigma_2^2 a_2^2 + R} \begin{bmatrix} \frac{\sigma_2^2 a_2^2 + R}{\sigma_2^2 R} & -\frac{a_1 a_2}{R} \\ -\frac{a_1 a_2}{R} & \frac{\sigma_1^2 a_1^2 + R}{\sigma_1^2 R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ R \end{bmatrix} [\mathbf{y} - \mathbf{C}\mathbf{x}^-] \quad (64)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^- + \frac{\sigma_1^2 \sigma_2^2 R}{\sigma_1^2 a_1^2 + \sigma_2^2 a_2^2 + R} \begin{bmatrix} \frac{a_1}{\sigma_2^2 R} \\ \frac{a_2}{\sigma_1^2 R} \end{bmatrix} [\mathbf{y} - \mathbf{C}\mathbf{x}^-] \quad (65)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^- + \frac{1}{\sigma_1^2 a_1^2 + \sigma_2^2 a_2^2 + R} \begin{bmatrix} a_1 \sigma_1^2 \\ a_2 \sigma_2^2 \end{bmatrix} [\mathbf{y} - \mathbf{C}\mathbf{x}^-]. \quad (66)$$

此结果证明了于状态估测和测量的不确定性如何影响了更新。

于仅获得了测量的子集(subset)的情况，于公式(52)中的 \mathbf{y} 、 \mathbf{R} 、和 \mathbf{C} 可代的以减少的形式(version)。此处 \mathbf{y}_r 是所获得的测量的向量， \mathbf{C}_r 包含了于给予所获得的测量值的 \mathbf{C} 中的各列，而 \mathbf{R}_r 为用于此减少的测量值组的协方差矩阵。于此情况，状态更新由下列公式所赋予：

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}^- + (\mathbf{P}^{-1} + \mathbf{C}_r^T \mathbf{R}_r^{-1} \mathbf{C}_r)^{-1} \mathbf{C}_r^T \mathbf{R}_r^{-1} (\mathbf{y}_r - \mathbf{C}_r \mathbf{x}^-). \quad (67)$$

当取得了不同的测量值时，有效的 \mathbf{C} 和 \mathbf{R} 矩阵改变。因为有效的输出矩阵并非为常数，则变量估测(以及因此的有效更新加权)未曾到达稳定状态，甚至当控制器 130 处理了许的次步骤。当此处理结合改变时，观察器组件 134 持续地改变其获益。

状态及协方差估测更新于二个不同的时间：于处理时间和当测量信息到达时间。于处理时间的更新是使用已知系统模式的预测更新。于此情况，是假设模式误差具有零平均值和已知的协方差。现有状态和协方差估测通过状态转变矩阵而到达新的估测。于测量步骤的更新(革新)计算由解答叙述于公式(52)的问题而测量获得的新信息。

\mathbf{x} 于时间的进展由下列公式取得：

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{G}_k \mathbf{w}_k \quad (68)$$

其中 \mathbf{u}_k 是处理输入而 \mathbf{w}_k 是具有零平均值和协方差矩阵 \mathbf{Q} 的随机处理误差。如上所述，测量是取自于：

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \quad (69)$$

其中 v 代表具有零平均值和协方差矩阵 R 的随机测量误差。

处理可于任何时间进行，使用下列公式而更新状态估测和误差协方差：

$$\mathbf{x}_{new} = \mathbf{A} \mathbf{x}_{old} + \mathbf{B} \mathbf{u} \quad (70)$$

$$\mathbf{P}_{new} = \mathbf{A} \mathbf{P}_{old} \mathbf{A}^T + \mathbf{G} \mathbf{Q} \mathbf{G}^T \quad (71)$$

这些公式更新 x 的估测而假设没有噪声，但是包含于 P 的不确定性增加。于任何时间可取得测量值，使用下列公式而更新状态估测和误差协方差：

$$\mathbf{x}_{new} = \mathbf{x}_{old} + (\mathbf{P}_{old}^{-1} + \mathbf{C}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{y} - \mathbf{C} \mathbf{x}_{old}) \quad (72)$$

$$\mathbf{P}_{new} = (\mathbf{P}_{old}^{-1} + \mathbf{C}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{C})^{-1}. \quad (73)$$

这些公式确保 x 的新的估测反应测量资料，和包含于 P 中的不确定性增加。值得注意的是，测量更新改变于误差协方差矩阵中的非对角线项。这些项根据过去的测量而保持记忆状态如何彼此相关。

如此于每个时间步级后，随着状态评估而更新误差协方差矩阵。通常，当额外的测量减少不确定性，但处理步骤增加不确定性(协方差)。事实上是，作成测量的不同的组合而导致了于协方差矩阵中的不同的型式。

可藉由使用替代矩阵 A 、 B 、和 C 的模式公式的偏微分矩阵，而处理非线性系统。一般而言，相同的分析仍然使用，而处理模式于各时间步级线性化现有的操作。

于非线性化情况，模式公式为现有的和未来状态值之间的更一般关系是。

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad (74)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k) \quad (75)$$

于指定的时间步级，能线性化这些公式而从线性模式中创造对应的的项目。

$$A \approx \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & L \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & L \\ M & M & O \end{bmatrix} \quad (76)$$

$$B \approx \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \frac{\partial f_1}{\partial u_2} & L \\ \frac{\partial f_2}{\partial u_1} & \frac{\partial f_2}{\partial u_2} & L \\ M & M & O \end{bmatrix} \quad (77)$$

$$C \approx \begin{bmatrix} \frac{\partial h_1}{\partial x_1} & \frac{\partial h_1}{\partial x_2} & L \\ \frac{\partial h_2}{\partial x_1} & \frac{\partial h_2}{\partial x_2} & L \\ M & M & O \end{bmatrix} \quad (78)$$

以下的讨论概述根据将使用于具有多重处理内含的两次处理对比(run-to-run)控制情形的 Kalman 滤波器的估测算式的使用。算式使用状态估测向量 \hat{x}_k^- 和包含在误差协方差矩阵中的不确定性信息 P_k^- 。当于计算对于特定的处理的设定的时间时，观察器组件 134 必须首先验证应用于此处理的状态和测量。因为对于处理的目标是要完成系统输出的特定值，控制器 130 必须计算对于指定内含的写映 C_r 的有效输出。

由提供的更正输出写映和现有的状态估算，控制法则组件 132 能够计算处理输入并允许处理该处理。亦于此时，观察器组件 134 计算对于处理后状态 \hat{x}_{k+1} 和使用此处理模式的协方差 P_{k+1} 估算值。使用此有效输出矩阵，观察器组件 134 亦能够预测输出 \hat{y}_{k+1} 。

于处理后，观察器组件 134 接收测量值 \hat{y}_{k+1} 。观察器组件 134 能伴随着新的测量使用现有状态和协方差估测来使公式(52)极小化。如此造成了新值 \hat{x}_{k+1} 和 P_{k+1} 。当加上了新产品或工具 200、201 时，必须将他们的状态估测加到已经储存和更新的状态值。

由于改变了譬如加上新产品或工具 200、201 的处理状况，则可

能改变由观察器组件 134 追踪的状态数目。这些改变最好尽可能少扰乱控制器 130。欲达成此最小的扰乱，关于此新状态的信息并入现有的状态向量和误差协方差矩阵。于选择对于状态估测的适当的初始猜测以后，新的元素增加到状态向量以追踪新的状态。此外，新的列和行增加到误差协方差矩阵。这些于协方差矩阵的新的元素除了协方差项目外，其余全部能够用零初始，该协方差项目将设定得相对的高以指示新的状态未良好特征化。

调整参数包括对于模式不确定性(于系统模式公式中的 G 和 Q 矩阵)和测量的估测的噪声性质。而且，必须决定对于新状态的初始猜测和状态估测协方差。藉由选择于新状态估测中对于不确定性的高初始猜测，观察器组件 134 将被迫以最佳的方式将其更新，直到他更接近匹配现有的状态的性能为止。

选择的 R 矩阵影响有多快估算设计能反应至测量资料。较大值导致更慢的反应。选择的 G 和 Q 矩阵影响于不同的模式状态中的相关的不确定性有多快随着处理增加。这些因素能用来引起估测设计支持更新某些参数，较之于其它的参数。

最佳调协及公平模式形式，非常依赖于处理状况。对于指定的一组处理状况，没有完美的控制器，而是仅有最佳的控制器。对于预期的扰乱有良好的了解，则可导致于这些环境下有良好的执行设计。

于上述的状态估测设计，有两次改变了状态和不确定性估测。这些是于处理时间和于测量时间的更新所作的预期。以更正方式操作，状态估测算式维持着所有处理的全部经历，该等处理已由包括所有相关于他们的已知测量所处理过。于处理之前和于处理之后所取得的具有测量值的以批次取向的处理环境，对于测量值将可能予以延迟或甚至整个跳过。必须确定状态估测器以更正方式组合着其接收的信息成为正确的处理经历。

原则上，可能保留着系统的全部的处理经历，包括对于各处理执行的输入和输出。然后，当测量值到达时，其仅插入于经历中于适当的点。能够藉由开始原来的猜测和重复透过于经历中的各时间步级，而计算出所有的现有的状态估算值。

此种方法需要非常大的资料储存容量。然而，并非总是需要储存

所有的此资料以计算该更正的现用状态估测。于具有 100%度量的系统中(对于每一处理测量的所有变量), 最终将测量由所有处理的结果。若于处理步骤建立了处理的记录, 则于信息变得有效时可以用测量资料更新记录。

从经历表的初始开始并继续着直到第一个非测量的处理为止的所有的全部记录(有效的处理和度量资料), 能够将的损弃而成用于表的处理“初始猜测”。此可藉由施行对于各记录的预测更新和测量更新而完成。若没有制作处理记录, 则不能处理任何事情, 如此就没有机会获得不对应于仍在表中的处理事件的测量值。如此降低了经历表至仅仍有测量错失的时间周期。

于操作限制条件不允许每一个处理皆受测量的情况下, 需要定义终止时间。很久尚未测量的终止时间的处理, 以假定他们将不会受到测量而予放弃。此允许说明于上的标准损毁继续着, 甚至在不完全度量的情况下。一个未受测量的处理, 当他损毁时, 仅具有所为的前兆的更新。

上述的调整允许控制器处理测量资料为一连续流, 即使资料能稍后真正到达, 而有时全然未到达。下列的例子显示对于多个工具和产品处理的控制器将如何操控的一典型的情况。于此情况中, 假定有充分的工具和产品名称来决定于各处理中那一个模式状态受到影响。表 1 显示了对于此情况的表列处理事件。

表 1-处理事件: 情况 1

事件识别号	批次识别号	说明	控制器动作
1	1	于工具 1 处理产品 A	预测状态
2	1	测量	更新状态
3	2	于工具 2 处理产品 A	预测状态
4	2	测量	更新状态
5	3	于工具 2 处理产品 B	预测状态
6	3	测量	更新状态
7	4	于工具 1 处理产品 B	预测状态

8	4	测量	更新状态
---	---	----	------

若处理以表 1 中所述的次序进行，则完全没有经历的信息需要储存。各事件能以表中所述的正常方法来更新控制器状态。此处，必须储存的仅有的资料包含于 x^* 中，此 x^* 表示“处理全部”此组状态和不确定性估测。用各事件更新对于 x^* 的值，然后舍弃事件资料。

然而，若处理发生于如下表 2 中所述，则观察器组件 134 必须决定如何来解释各新的资料件(piece)。处理测量事件并非如前述般简单，因为测量信息已经过期了。很清楚地知道，观察器组件 134 仍需要用各新的测量来作状态更新，但是他不能仅根据于最近测量的新的状态值，因为新的信息参考于发生在过去的操作。解决方法是储存所有的事件信息，而使得全部的经历资料能够结构成为有用的信息。然后当不再需要时，方将信息舍弃。

表 2-处理事件：情况 2

事件识别号	批次识别号	说明	控制器动作
1	1	于工具 1 处理产品 A	预测状态
2	2	于工具 2 处理产品 A	预测状态
3	3	于工具 2 处理产品 B	
4	2	测量	更新状态
5	1	测量	更新状态
6	4	于工具 1 处理产品 B	预测状态
7	4	测量	更新状态

令 x^0 表示在包括任何储存的事件之前的状态和不确定性估测组。然后能够藉由应用所需的更新，初始于 x^0 并且反复进行于整个储存事件而计算 x^* 。

对于表 2 中的首先事件，不需依靠其它信息。因此，可以预测状态估测而更新 x^0 。于此情况 x^* 等于 x^0 ，并舍弃事件资料。

于表 2 中的次三个事件(2-4)为不完全的，因为跳过了较早批次的测量步骤。于此情况， x^0 维持常数，而将对于三个事件的资料加到由观察器组件 134 所维持的内部经历。于下表 3 中说明此经历。应注意

已知错失的事件以“N/A”来表示。现在，可以藉由初始于 x^0 并且反复进行于表 3 中的此三个事件而计算 x^* 。

表 3-控制器内部经历(事件 2-4)

事件识别号	批次识别号	说明	控制器动作
N/A	1	测量	更新状态
2	2	于工具 2 处理产品 A	预测状态
4	2	测量	更新状态
3	3	于工具 2 处理产品 B	预测状态

当次一个事件(5)到达时，观察器组件 134 具有对于目前所有批次的全部资料组，因此能够更新 x^0 。其中内部经历包含了列于表 4 中的事件。观察器组件 134 能够藉由反复这些事件而更新 x^0 。然后安全地舍器此等事件资料。

表 4-控制器内部经历(事件 2-5)

事件识别号	批次识别号	说明	控制器动作
5	1	测量	更新状态
2	2	于工具 2 处理产品 A	预测状态
4	2	测量	更新状态
3	3	于工具 2 处理产品 B	预测状态

因为未曾测量批次 3，因此次二个事件(6-7)是不完全的。如前面所述，观察器组件 134 将他们加到其内部经历，如第 5 表中所示，而并不更新 x^0 。如上所述，可以定义对于到达资料的可允许的时间窗口。若经过了足够的时间，观察器组件 134 能够假定批次 3 测量数据将不会到达，则其能够藉由将从事件 6 和 7 来的资料损毁入 x^0 ，而遭处理。

表 5-控制器内部经历(事件 6-7)

事件识别号	批次识别号	说明	控制器动作
N/A	3	测量	更新状态
6	4	于工具 1 处理产品 B	预测状态
7	4	测量	更新状态

根据上述的分析，于测量矩阵中的各元素为等于一个或多个状态

的函数的随机变量。因此，可以定义一个用于测量的向量的预测值或然率密度函数。若 x 具有误差协方差矩阵 P ，而输出的预测给定为 Cx ，则对于预测的输出的协方差指定为 CPC^T 。此协方差矩阵可用来构成使用公式(26)的用于预测输出的或然率密度函数。

然后能将计算用于预测的测量的可靠区间与特定的操作限制作比较，以决定必须留在操作限制内的处理和取样需求。此比较给予控制器 130 一个用于估测其本身性能的度量和可能的对使用者警告，或甚至采取行动以事前预防问题的发生。

于此讨论中，已显示了一个对于此使用不确定项目的统计基础，以驱使状态更新。描述更新的技术叙述于一模式，甚至当他们的直接测量为无效时。讨论现表现用于许多不同操作状况的组合的仿真资料和一些对于其它控制方法的比较。

设计上述状态估测设计以分析具有几个于任何给定时间仅使用部分的所需资料的变化源的大系统。下列讨论说明几个仿真，该仿真显示状态估测设计如何反应于不同的处理状况。首先，建立基本情况以证明控制器 130 于正常状况下施行。然后，依序的加进复杂条件以建立更真实的操作状况。亦与使用具相同挑战性资料的不同控制器(图中未显示)作性能比较。

于此段将说明初始测试环境，而于其余的测试中所作的一些基本假设将根据所获得的结果而予证实。研究改变处理状况的确实效果，选择一个简单的两次处理对比设备模式。此设备模式是进展处理数的分离时间模式。发生于各批处理期间的连续时间效果，整合表现整个批次的平均特征。依照此设备模式，输出仅相等于输入加上设备偏差。该设备偏差不受由选择输入值的任何方式的影响。

因为下列处理仿真几种不同的产品和不同的处理工具的使用，因此必须决定变化的来源俾便选择适当的系统估测。于实际应用上，此包含了有效处理资料的详细的分析，但是于此例中，假设偏差是由处理工具和由处理的产品所组成。

就仿真而言，产品不仅参照为可兹区别的产品，而且也参照为一般类的特征，该等特征使于工具上的一个处理不同于另一个。换言之，于实际环境的各产品/层的组合于此仿真中将为不同的“产品”。

对于特定工具和产品的处理模式能够写成:

$$y = x_{ti} + x_{pj} + u, \quad (79)$$

其中 y 为输出, x_{ti} 和 x_{pj} 是工具和产品偏差值, 而 u 是选择的处理输入。目标是一个特定值 y 。对于多数的仿真, 选择零值作为目标。进一步假设是工具品质事件可有效取得并能够对每个工具 i 直接测量 x_{ti} 。此假设的品质事件造成于此系统中为可观察的。

使用传统的分离时间状态空间模式, 包括用来处理和度量噪声的项目。

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{G}_k \mathbf{w}_k, \quad (80)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k. \quad (81)$$

$$\mathbf{x} = [x_{adj} \ x_{t_1} \ x_{t_2} \ \cdots \ x_{t_m} \ x_{p_1} \ x_{p_2} \ \cdots \ x_{p_n}]^T \quad (82)$$

其中 x_{adj} 为调整状态, 而所有的工具和产品用各别的元素来追踪。向量 w 和 v 分别表示处理噪声和测量噪声, 而他们皆假设为用零均值的正常分布。噪声向量使用于控制模式以便各假设能作成于状态估测例程(routine)。于此仿真中, 除了噪声项外, 其它的扰乱加至模式。这些其它的扰乱藉由将控制器 130 以不预期的方式直接修正各状态, 而影响此系统。

此状态转换矩阵为 $m+n+1$ 大小的方形矩阵, 如下公式所示:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & L & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L & 0 \\ M & M & M & O & M \\ 0 & 0 & 0 & L & 1 \end{bmatrix}, \quad (83)$$

该矩阵显示所有的工具和产品参数为表面上稳态的。假设处理输入仅影响 x_{adj} , 因此其有 $m+n+1$ 乘 1 阶层的大小, 而具有如下式的结果:

$$\mathbf{B} = [1 \ 0 \ L \ 0]^T. \quad (84)$$

对于处理的完全输出矩阵($mn+m$ 乘 $m+n+1$ 阶层大小), 如下式所示:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & L & 0 & 1 & 0 & L & 0 \\ 1 & 1 & 0 & L & 0 & 0 & 1 & L & 0 \\ M & M & M & O & M & M & M & O & M \\ 1 & 1 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & L & 1 \\ \\ 1 & 0 & 1 & L & 0 & 1 & 0 & L & 0 \\ 1 & 0 & 1 & L & 0 & 0 & 1 & L & 0 \\ M & M & M & O & M & M & M & O & M \\ 1 & 0 & 1 & L & 0 & 0 & 0 & L & 1 \\ \\ M & M & M & M & M & M & M & M & M \\ \\ 1 & 0 & 0 & L & 1 & 1 & 0 & L & 0 \\ 1 & 0 & 0 & L & 1 & 0 & 1 & L & 0 \\ M & M & M & O & M & M & M & O & M \\ 1 & 0 & 0 & L & 1 & 0 & 0 & L & 1 \\ \\ 1 & 1 & 0 & L & 0 & 0 & 0 & L & 0 \\ 1 & 0 & 1 & L & 0 & 0 & 0 & L & 0 \\ M & M & M & O & M & M & M & O & M \\ 1 & 0 & 0 & L & 1 & 0 & 0 & L & 0 \end{bmatrix}$$

(85)

该式得到可观察的系统。于各仿真处理中，仅由输出矩阵中的一列是活动的。此种减少的输出矩阵子集合表示为 C_{eff} 。

于此说明的仿真使用了三个主要组件，该等组件仅限于使用某些方法沟通。主要组件是仿真驱动器 136，该仿真驱动器 136 负责用来根据控制移动而维持“真实”参数值并计算“测量值”。虽然仿真驱动器 136 示于第 2 图中，但是他通常不会用于实际的施行，然其有助于对下列说明的了解。控制法则组件 132 根据由仿真驱动器 136 提供的工具和产品识别号码(ID)，负责计算使用于各处理的设定。观察器组件 134 根据由仿真驱动器计算的测量信息，负责更新状态估测。此弹性运用允许使用于设备有不同的模式，较之于控制器 130 其本身的使用，但是为了容易说明，此能力不使用于这些初始仿真。

于这些初始模式中，使用了具有 10 个工具和 10 个不同产品的设备。各工具和产品指定了唯一的偏差，而因此于此模式中具有 20 个偏差状态。此外，各偏差指定了其本身的扰乱性质，包括噪声和漂移。于各状态的噪声约略有小于不同状态的各值之间平均差的大小量级。

相似数量的噪声加至各取得的测量值。选择表面上稳定的处理以突显状态估测。当状态未正常地移动时，较容易观察到扰乱的效果。

首先，由选择于随机处理的产品和工具而产生处理讯号资料组，该等所有的工具和具有相等的或然率。此资料组储存为对于各处理的工具识别号(ID)、产品识别号、和真实状态的经历。对于此仿真中的各处理，仿真驱动器送出产品和工具识别号、目标、和对于特别处理至控制法则组件 132 的唯一的 ID。控制法则组件 132 回到选择的处理输入并负责维持其关于各处理的本身的信息组。然后此仿真驱动器 136 根据给予的输入和真实状态，计算处理输出。然后此输出伴随着用于此处理的唯一的 ID 通过控制器 130 的观察器组件 134。观察器组件 134 根据供应的输出资料更新用于控制器 130 的状态估测。

因为此讨论的焦点是在于状态估测，对于施行而由控制法则组件 132 选择非常简单的控制法则。控制法则组件 132 使用对于现用工具和产品偏差的状态估测，并使用设备转换以解得将输出置于目标的输入。当然，于实际的施行中，可以使用不同的控制法则变化。使用此控制法则，从目标的输出偏移显示使用于此状态估测的误差。

观察器组件 134 的设计包含许多可使用于调谐的可调整参数。如上所述，这些参数处理研读中此系统的假设噪声性质。于此等仿真中，作了许多的假设。首先，假设所有的测量有相等的可靠度，因此包含于 R_{eff} 矩阵中的变化估测总是相同。于实际的制造设备，由关于某些产品来的测量工具和信息的维修信息，可以提供不同的值。其它的假设处理此处理噪声。于此处理模式中的噪声项目于整个仿真中是不变的。设定 G 和 Q 矩阵而使得噪声无关于影响不同的状态，而工具状态较之于产品状态有更多噪声。再者，于实际的应用上，必须使用离线分析以决定这些值。依照此模式，噪声影响所有的状态，甚至对应于不活动于此现正处理的工具和产品的各状态。

这些噪声估测为部分模式和并不相关于插入于当处理的仿真的实际的噪声。可以操控此估测以达成不同的结果。举例而言，若观察器太慢了，则可以将处理噪声项目设得较高。然后因为参数将具有更不确定性，则观察器组件 134 对于状态估测将作更大的调整。

对于控制器 130 的第一个测试是用关于将要确定的系统状态的无

信息开始，该确定能够带领此系统于控制下。理想的状态包含了噪声和些许数量的偏移。第4图显示当控制器130设于具有10个工具和10个产品的处理时的输出的图形。控制器130不具有关于状态值的先前的信息，而此控制器130能够很快地学习他们并带领该处理于控制下。

用控制器的所有的状态估测为零而初始控制器。亦具有初始协方差矩阵。此处，使用对角矩阵作为有所选择以代表于各状态初始不确定性值的开始点。因为工具差别时能更优异地生产差异性产品，则对于产品状态的初始变化设定得要较工具状态为高。

如第4图中所示，控制器130于约处理25次后消除了大部分的误差，而控制器130于此情况后处理于稳定的操作状态。于此输出的稳定的噪声电平约等于藉由仿真驱动器136而插入于处理状态的噪声的大小。控制器130用20个未知的状态开始，而此控制器130于大约许多次处理后确认他们全部都合理地良好。

虽然能够显示控制器130能够完成此任务是很重要的，但是他是在不能够显示实际产品环境的情况下。能够使用离线分析以决定对于控制器130状态的合理的初始猜测。若于控制器130布置之前而用工具和产品的此组合来执行处理，则控制器130的观察器组件134于开始控制器130之前能够根据产生的数据处理以建立更正的状态估测。

当现有的产品渐渐消失用尽时，对于新产品的引进缓慢而耗费时间那是常有的事情。于此例子中，如前述的总共有10个工具和10个产品，但是对于仿真的规则却是不同。于开始时所有的10个工具为有效，但是产品慢慢地随着时间而加上。起初，仅有一个产品为有效，但是每处理100次后一个新的产品加入到此混合组中。第5图中显示控制器130的反应，该图中显示当10个产品渐次加到10个工具时，有效组合工具和产品的偏差的图形。对于每次处理，从可使用的组中随机的选择处理的产品和使用的工具。当输入 u 保持为零时，绘出输出 y ，而得到第5图的图形。

当新的产品首先加上时，各新的产品表现为干扰，但是控制器130很快地解决此干扰。整批标示的新产品于实际制造环境中将确定生产而没有任何的准备，那将是不可能的。于许多情况中，当新的产品引入时，能够处理部分的批次以提供控制器130适当的信息。于其它情

况中，工程师可具有足够的知识以对于新状态有效地选择合理的初始猜测。

直觉上，当新的产品出现时，初始状态有很高的可能性是错误的。对于此理由，若的确控制器 130 未相合于目标，则将调整新产品的状态。于控制算法，此可藉由特定对于新状态的初始协方差估测而完成。当加上了新的状态时，具有初始状态估测的新的元素插入于状态向量中，而新的列和行加到误差协方差矩阵。于此等仿真中，于协方差矩阵中的新的列和行，除了对角线元素外全都是零。此元素设定对于状态的初始协方差状态估测。对于此初始估测特定一较高值意味着新的状态将从使用了新状态的首次处理而吸收更多的误差。

后续测试情况将以稳态系统开始，并假定控制器 130 开始接近更正状态值。于此方式中，可没有必须于各次再学习作初始状态评估的观察器组件 134，而可注入和分析个别的干扰。于此段中产生和使用一是列的标准干扰作为用于控制器 130 的处理讯号。于各情况，系统开始于稳态操作点，而控制器 130 具有现用状态估测。首先测试控制器 130 反应于步级(step)干扰、斜坡(ramp)干扰、和目标改变的能力。然后，显示更困难的挑战譬如测量落后、错失测量，以了解控制器 130 于更实际情况面的强度。

值得注意的是于此处研读状况下的干扰包含了可重复和系统的效果。通常，亦有随机和不可预测的出现噪声的高频组件，因为他们不由选择的处理模式的元素获取。观察器组件 134 仅能侦测于选择的模式形式范围内的变化，和控制器 130 的目标是要消除他们。

有许多事件能造成明显立即的于工具性能的偏移。步级干扰是用来测试滤波器和控制器的共同讯号。就术学上来说，步级干扰表现为步级函数：

$$\delta_k(t) = 0, \quad t < k \quad (86)$$

$$\delta_k(t) = 1, \quad t \geq k \quad (87)$$

仿真驱动器 136 于 100 次处理后将步级干扰加到其中一个工具状态，以确定控制器正确地排除不希望的干扰。于譬如此系统的多重处理设定，步级干扰不像传统处理的向前直进式。于简单的系统中，从出现的时间开始直到已作了更正为止，步级干扰都维持于可见情况。

然而，于此处研读情况下的系统，控制器 130 于每个时间步级观察不同状态的组合。干扰仅偶然地显示，因为他仅当使用于不安状态时为可见。

如于第 6 图中所示，控制器能够平衡于处理 100 的步级干扰。有多于一个“峰值”于图形上这是因为控制器 130 必须决定是否干扰是在产品或工具状态上，而料想的工具和产物于再使用之前会有少数的处理通过。当控制器不正确地预测一个处理的结果时，他不立即显示那一个状态估测是错误的。如上所述，观察器组件 134 使用对于参数不确定性现有的估测，以分派至参数的误差。直觉上，隔离于错误的状态，必须使用共享工具状态或产物状态其中任一的后续处理。各后续处理呈现较少程度的干扰。

表现于 Kalman 估测设计的误差协方差矩阵包含状态如何相关的信息。于此情况，当步级干扰首次出现时，观察器组件 134 不知道使用的工具状态或产物状态是否于误差内。然而，观察器组件 134 依照他们的相关不确定性而分布二个状态之间的误差，意味着一个状态估测为部分地于干扰情况不正确地移至仅单一状态。然而，亦调整包含相关此二个状态的于误差协方差矩阵内的交插项。此调整本质上提供了信息至观察器组件 134，该观察器组件 134 于一旦适当的信息变得有效时，能够用来修复不正确移动的状态估测。

此回填的信息是观察器组件 134 有用的特性。如前面已提及的，用于多处理环境的共同状态和参数估测设计是根据分割的资料。分割的资料的特征是一个测量仅影响其自身的相匹对者。例如，由一个参数的新测量来的信息，不能用来确定或拒斥于不同的参数观察的讯号。此组合的估测设计能够以此方式共享资料，虽然，其意味着需要较少的测量来达成适当的状态估测。

此技术的很好使用的另一个例子是，品质资料的使用。当于工具维修或其它的分离事件后，虽然施行了于实际设备的许多品质事件，但是其可能使用品质事件来支持状态估测。当侦测到主要干扰时，观察器组件 134 的确必须分配不同状态之间的误差。然而，立即于受影响的工具处理品质测试，能够有助于最小化于控制器 130 上干扰的冲击。品质事件是关联于特定处理工具的状态的直接测量。直觉上，此

将证明观察的误差是否是由于工具问题或产品问题。因为协方差矩阵记忆已作了何种调整，而于测量了工具状态后，此二个受影响的状态将移至正确值。

表现于第 7 图的仿真除了于发现干扰后立即强迫要求工具品质的情况外，其是与第 6 图的仿真相同。于此情况干扰很快地遭到拒斥。

亦有许多的环境其中于此处理中可表现斜坡、或连续的偏移。于此仿真中，其中一个工具是处理 100 和 400 之间的斜坡偏移。于控制器 130，此型的干扰表现为从目标的持续偏差，甚至当状态估测为连续地更新时。目前于所有的仿真已有小数量的偏移，但是于此情况，偏移的大小为太大了。

如第 8 图中所示，控制器 130 能够某些程度地平衡此干扰。通常，此为一困难的干扰而欲予拒斥，然于偏移的长度期间整个的控制器性能劣化。由扩大状态矩阵而控制器能特别地调整以拒斥此种干扰，使得于此模式中包含斜坡干扰，但此情形造成与其它型式的干扰于性能上的斟酌取舍。此特殊的控制器更适合于处理步级干扰。于此仿真中一个大小的斜坡干扰通常指示主要工具问题和最可能造成停工。

于实际的制造环境中，于处理次一批次的产品之前，并非总可能等待测量结果。测量能花费相当的时间因为必须分别拾起晶圆，而通常于预定度量的各晶圆上要检查几个位置。保持处理工具忙碌是很重要的，因此于各批次完成后他们必须继续前进和尽可能快速地再开始处理。因此，测量能够落后处理步骤之后几个处理。此并非时间延迟处理的直接进行的例子，因为该延迟并非是固定的。当他们完成后，测量到达，而控制器 130 必须尽可能快速地将他们列入计算。

于此连续的测试中，再使用由较早测试的处理资料集合，但是并不立即将测量送到观察器组件 134。取而代之的，测量固定地落后于处理后一固定的处理次数。描述于第 9 图中的仿真具有于该测量的延迟的 10 次处理，而描述于第 10 图中的仿真具有 30 次处理的延迟。

于这些测试中，控制器 130 仍能够拒斥步级干扰，但是延迟了反应，因为直到测量到达为止仍未看到误差。比较此情况而不测量延迟，有更多次的处理丧失了他们的目标，而具有较长延迟的测试于干扰后花了较长的时间设定。当以习知的单一输入/单一输出处理，若测量延

迟太久了，则控制器 130 将无效果。

并非总是可能于每一个处理步骤于每一个批次重要的来控制测量性质。此为许多因素的结果。首先，于特定处理操作后由批次测量晶圆，会增加该等晶圆将在设备中的时间。所需的正确的特征化必须与需要移动材料尽可能快地通过生产线相平衡。仅测量那些需要建立代表取样的材料。而且，于给定的时间周期取得的测量次数，将决定必须表现于设备中的度量工具的数目。因为工具通常都非常昂贵，因此这也是一种限制。

因此，可能执行处理其中控制器 130 必须计算各设定，但是未曾从测量系统接收回授。于仿真的环境中，能测量状况的冲击，因为仿真驱动器 136 总是能够判定错失的测量将具有什么信息，并且将他们加到控制器输出的表中。于这些仿真中，使用了由上述的步级干扰情况，但是控制器 130 仅接收三分之一的测量。

第 11 图显示输出如何出现于控制器 130，而第 12 图显示实际的输出，包括了未看到的控制器 130 的批次。可见到于控制器 130 的测量，与描绘于第 6 图中的完全测量情况合理良好地相比较。然而，在步级干扰的时间附近许多的未测量的批次从目标离开。事实上是于图形上有三个峰值是重合的，但与每三个测量中仅取了一个的事实并不相关。于此特定情况中，由扰乱影响的第三个处理为首先测量的一个。第 13 图显示与第 11 和 12 图的情况相同的情形，但是具有不同的移动的测量(即，不同的第三测量未由控制器 130 接收)。如第 13 图中所示，当移动不同的测量时，控制器 130 的整个性能改变了。

依于处理状况，不同的变量可能较容易或较困难观察。于下列段落中，将说明用相似的设定至较早的测试的一是列的测试，但是具有不同的处理规则和状况。于这些测试的设计情况企图采用实际的限制于处理的操作。读取的变量包括设备大小、产品优先权、和商务作业规则。

实际的制造设备具有大数目的工具和产品。于 20 个工具和 50 个产品的范围值为用于处理区域的合理值。产品的数目能取得非常大，因为各处理区域包含了于其处理流程中于许多不同点的批次。形成于指定产品的各层能够不同动作正如同不同产品般，只要相关于状态估

测算法。此处仿真处理包含了 10 个工具和 50 个产品。于此大系统中至步级干扰的控制器 130 的反应是绘示于第 14 图中。

第 14 图的图形非常相似于第 6 图中所示 10x10 系统的图形。控制器 130 能够快速地辨识违反状态并拒斥干扰。此结果是重要的因为其显示了状态估测例程的能力，来按比例地放大非常大的系统。

用来解决关联于此大数目的产品和工具的问题的一个技术是于交换之前，使处理于特定的工具上的特定的产品尽可能保持长时间。此技术共同称之为工具专用，并公平地普遍使用。于工具较产品多的情况下，其减少控制问题从大的多变问题成为许多较简单的单一变量问题。对于各工具产品的组合，仅需要追踪组合的状态，而于各工具产品的组合之间没有共享的信息。通常产品较工具更多，如此工具专用于交换之间特定产品的长时间处理。

然而，工具专用包含了斟酌取舍。藉由限制所指定的允许处理的批次的可能使用工具，而使得工具专用设计减少弹性。当特定产品的产量为有关是时，工具专用能引起不可接受的延迟。而且，当必须取出工具服务时(甚至是暂时性的)，就发生了问题。处理于特殊工具的产品必须移至另一个工具，而必须对于新的组合于经验上找出适当的处理设定。

此处所说明的参数估测设计受工具专用的影响，因为专用引致某些工具和产品状态的组合较的其它的组合更为共享。直觉上，若指定的产品总是处理于相同的工具，则对于定出工具和产品于状态估测的误差间的差异，变得更为困难。说明的次二个仿真使用上述使用的 10 个工具和 50 个产品步级改变资料组，但是改变迫使专用的程度。

第 15 图显示当于 10 个工具和 50 个产品处理的控制器 130 反应于处理 100 处的未预期的步级干扰时的反应。于仿真期间，短时间的工具专用继续处理由仅 25%时间交换于不同的工具而得到益处。第 16 图显示得利于较长的工具专用期间的情况(即仅有 10%的交换时间)。

第 15 和 16 图的仿真结果显示于控制输出上有许多的峰值，具有较长处理决定的峰值为更优异的。各峰值由交换至不同的工具/产品组合而引起。由对照可知，步级干扰较之于前述的情况被更快速地拒斥。其它值得注意的有用的事情是，各峰值之间，噪声电平较之于前述的

仿真降低了。理想上，控制器 130 将于所有的时间达成此减少的噪声电平，但是此是不可避免的斟酌取舍的一部分。将于下作更详细讨论的，当专用是有效时，定义于此等测试的系统是不可观察的。于侦测处理期间，测量由结合了工具状态和产品状态而获得。每当侦测到输出误差时，控制器 130 必须调整工具状态和产品状态其中的一或二者，然无法判定那一个真正造成了此误差。当于交换时，有高的或然率至少一个状态估测具有显著的误差。因此，工具专用属一种斟酌取舍，当不可避免的交换发生时，接受具有较大不确定性的成本的短期间获益。

于次一个设计情况是测试一个典型的制造情形，其中一个特定的产品较的其它的产品更经常出现。于此设计情况的目标是，说明于主要产品的长处理时间期间，并未“忘记”次要产品。再者，当从次要产品交换返回时，将不会干扰主要产品。于此 10 个工具和 10 个产品仿真期间，超过一半的处理为单一产品。其它 9 个产品为平均地分布于其它处理之间。当于前示仿真中，步级干扰影响于处理 100 的其中一个工具。如于第 17 图中所示，控制器 130 有效地操控此状况。

从坚固和稳定性的观点来看，考虑到二个主要的观念。传统上，该观念是要确定控制动作和状态更新不要有侵犯性，免得他们造成使处理变得不稳定的方式而反应于噪声或更新的测量。此分析非常依靠选用的特殊的控制法则，和将如何好好表现此真正的处理的模式。因为制造应用需要非常积极的控制法则，此讨论将焦点放在状态估测其本身的稳定性和将如何追踪真正的状态上。

于传统的于各时间步级所作相同测量的时间不变可观察处理，使用于 Kalman 估测设计的误差协方差矩阵最终将到达稳定状态。于此稳定状态，由于于处理的本身固有的噪声而增加的不确定性，会精确地平衡减少由于测量而引起的不确定性。只要于处理中不确定性的模式非常精确，则协方差矩阵的对角线项提供于各状态估测的对于不确定性的稳定状态值。此意味着除此之外的非预期的处理干扰，此于控制处理输出中的不确定性是很已知的。此处适当的处理特征是重要的，因为这些结果仅于若对于固有的处理噪声非常了解时才有意义。

当于输出矩阵会改变的处理中使用了 Kalman 状态估测，则误差协

方差矩阵不能到达稳定的状态。每次输出矩阵改变，则不同的状态估测之间的相关不确定性会改变。即使不能到达稳定的状态，但能够将参数估测中的不确定性予以界限也是很重要的。此允许于受控制的处理输出中的不确定性能好好地界限维持住。很清楚地知道，必须作足够的测量以确保参数估测不确定性维持于可接受的水准。下一个说明的部分是要详细说明此不确定性将如何用处理状况和测量的不同的型式来改变。

自调控制方法的系统参数估测部分是由闭回路系统辨识设计组构成。闭回路系统辨识可能是困难的因为控制器 130 能够显著地改变处理的明显的输入-输出动作。若控制器 130 正良好地工作着，则处理用非常小的变化执行于就近的目标。于此情况，很困难观察动态的系统。

用于闭回路系统辨识的共同的方法是使用持续的激励限制。一般的概念是确保处理状况为充分地可变以激励于选择的模式形式中所有的模式。当控制器 130 正执行于目标的处理而没有任何干扰时，则于处理状态有非常小的移动，而很难(或有时甚至不可能)观察动态系统。

持续的激励可拒斥小扰乱进入操作的变量，而使得于处理目标附近能以小成本变动而使动态变得可观察。如设计实验的相同的方法去盯住处理输入也是可能的。当设计一个实验以估测模式参数，选择的输入点是企图检查模式形式的所有可能的模式。若处理总是要用与实验相似的输入来处理，则可以证明此将获得于模式参数的最佳的可能估测。

应用标准的持续激励技术于遍及于批处理环境的许多的处理系统和模式，并非为直接了当的。于许多的情况，将要估测的状态变量并不会由共同选择的输入变量直接地影响。一个共同的例子是时序的处理，其中欲估测的状态为额定的，而操控着处理时间。由于反应器积垢或可耗损地劣化，则选择的处理时间能的确具有对于未来处理的处理速率的影响。然而，对于速率差变得值得注意时，则须好好地调整时间于标准操作范围外。

有些处理可以使用标准持续激励技术，但是对于许多的处理，多少必须使用某些不同的方法。因为设于每个批次的高重要性达到其目标，则当使其处理大部分时间为非干扰于目标时，可探查出用于选择

激励处理的时间的技术。

实现并非所有于制造环境中获得的数据皆为相同的，那是很重要的。有些资料更具信息价值因为资料的品质是相依赖于测量了什么和在什么状况下取得测量。资料的信息内容是相依赖于观察器正试图从资料中习得什么。举例而言，于指定的压力下重复测量温度则清楚地显示了温度的度数，但是他们并不提供任何能悉查于不同的压力下温度会有多少度的信息。

根据所选用的模式形式，不同的输入讯号能突显出不同的模式和频率范围。于下一段中将要说明的是，欲要良好地控制一个处理，则必须于正确的时间具有正确的信息。只有在深思熟虑下了解了处理，才能导致正确地知道需要什么信息的知识。

可以使用对于可观察性状况的标准测试，由可提供的信息观点，来比较定位传感器的不同的策略。甚至当系统为可观察时，亦有对于可容易估测参数的变化的程度。可观察性矩阵的条件数可提供透悉这些效果。此处使用测试观察性的技术来比较于不同操作状况下的估测能力。

一个简单的例子说明当施行闭回路辨识时结合着处理控制而有良好信息的重要性。兹考虑一个简单的处理除非施加了输入，则输出停留于不变。其目的是要快速地反应目标不变，但是于输入的获益以不可预期的方式变动着。

于下公式描述处理，

$$y_{k+1} = f(y_k, b_k, u_k) = y_k + b_k u_k, \quad (88)$$

其中 b_k 是未知的获益(于时间 k 有效)而 u_k 是施加的输入。

因为 b 是未知的参数，其必须增加作为对于估测目的的额外状态。可藉由线性化围绕着现用操作点的系统而使用标准的 Kalman 估测设计。此当由下列公式所述而完成：

$$\begin{bmatrix} x \\ b \end{bmatrix}_{k+1} \approx \begin{bmatrix} \frac{\delta f}{\delta x} & \frac{\delta f}{\delta b} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ b \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \frac{\delta f}{\delta u} \\ 0 \end{bmatrix} [u]_k \quad (89)$$

$$[y]_k = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_k. \quad (90)$$

需注意 $\delta f / \delta x_k = 1$, $\delta f / \delta b_k = u_k$, 和 $\delta f / \delta u_k = b_k$ 。对于此系统, 可观察性测试矩阵示的如下:

$$O = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & u_k \end{bmatrix}. \quad (91)$$

因此, 仅当 u_k 不为零时此系统方为可观察。这是重要的, 因为稳定状态操作点于零具有 u 。仅当 u 保持离开零时方可辨识未知的参数 b , 此即藉由持续的激励于控制器上的限制而欲达成者。此简单的例子说明了持续激励状况如何能够相关于可观察性状况。

一般而言, 允许状态估测器处理于不可观察点将导致不可预期的结果。然而, 万一有干扰的话, 则须作回授控制。Kalman 估测设计将保持估测慢慢地移动, 因为估测仅移动于需要解释测量的量。

于下列的仿真中, 上述的处理用不同的激励状况来执行处理。首先一个处理是没有使用激励。第二个处理施加了持续的激励限制。第三个处理仅于小部分的时间强加上了激励。于所有的情况, 由控制法则组件 132 而使用设备转换, 而 Kalman 估测器使用于观察器组件 134。于仿真过程中, 获益 b 的真正值为如第 18 图中所示的斜波。因为设备转换用作为控制法则, 则于状态估测的误差为立即可见为于控制的输出的误差。

于第 19 图中所示的第一个仿真, 一直到目标改变为止并没有施加输入。因为获益已经改变了, 则对于会使新目标受影响的第一个时间步级, 有一个显著的从目标的偏离。于大部分的仿真期间, 当没有方法观察未知的获益时, 控制器 130 缺乏信息。

如第 20 图中所示的于第二个仿真中, 应用了持续的激励限制。此处, 有足够的输入于各时间步级的改变, 而使得能估测获益。当目标改变时, 控制器 130 以较先前情况为少的误差来作交换。然而, 干扰已经引入遍及了整个仿真, 使得获益显现。

可观察性测试矩阵的阶层共同用来测试观察性。当此矩阵具全阶层时, 局限了其状况数。于第一个仿真中, 因为矩阵变成阶层欠缺, 则可观察性测试矩阵的状况数趋向于无限。由对照可知, 于持续的激励下, 状况数良好地停留在合理的限制内。第 21 图追踪用于第二仿真的可观察性测试矩阵的状况数。另一个有用的信息件是用于状态估测

例程的误差协方差矩阵的轨迹(trace)(对角线元素的和)。此轨迹提供了于协方差矩阵中明显不确定性的全部的测量。第 22 和 23 图分别显示对于第一和第二仿真的此值。

于第 24 图中所示的第三个仿真，是假设当目标改变将发生时已提前知晓了。于此情况，不须干扰此处理直到需要关于此获益的信息为止。此处每个事情平稳地处理直到目标改变已迫切为止。目标改变仍然正确地发生，而此处理未被干扰直到需要信息为止。

激励处理习得关于参数的情况是与尝试获得使用了纯均方误差标的的控制器相违背。于半导体制造中，不同种类的执行功能导致了其本身的问题。通常，制造的装置对于多数的线内目标具有容许偏差(tolerance)。只要测量值为合理地接近目标值，则装置将适当地工作。于容许偏差范围内，于装置的最后输出特征有非常小的可注意到的差值。然而，有非常急速的抛弃过往(drop-off past)，此时装置仅不工作。如此的一个例子是于处理层的校直制造电接触。能够具有藉由处理于容许偏差范围内的所有资料点为良好和外侧的所有资料点为不好的仿真此行为的执行功能。此种施行仿真非常匹配包含持续激励的观察设计，因为激励能使得当于安全停留于容许偏差范围内时引发学习。

资料点的数目不仅为决定控制器 130 的效力的事情。各处理仿真具有相同数目的相同输出有效测量。资料的次序和实际值影响了信息内容。于什么状况下获取资料也是很重要的。

并不须于所有的时间有完全的信息。于第二个仿真中，于所有的时间处理获益的正确值为已知。然而，第三个仿真仅于某些时间能够用已知获益来良好地控制处理。

于实际的处理中，经常可能于关于即将发生的目标改变之前，就先知道。然而，处理亦将接受未知的干扰。于此二个情况，具有足够的信息快速地驱动处理至目标值那是很重要的。因此，学习知道关于处理的每一件事情和令其处理而没有干扰之间，清楚地有一个平衡点。

于上述例子中，显示误差协方差矩阵和可观察性测试矩阵的状况数的二个轨迹，其可为有效处理信息的数量的指示器。可以使用这些值来建立使控制器 130 能用来保持处理可观察的激励限制。

兹参照第 31 图，提供了用来排程于制造系统活动的方法的简化流

程图。于方块 3100，定义了关联于制造系统的多个观察的状态。于方块 3110，产生用于观察的状态。于方块 3120，产生用于状态估测的不确定性值。于方块 3130，辨识于制造系统中用于施行活动的多个候选排程。于方块 3140，根据候选排程预测于不确定性值的改变。于方块 3150，根据于不确定性值的预测改变而选择其中一个候选排程。

现在将讨论的焦点放在使用上述辨识的信息，以作成对于制造系统 10 的排程决定。于分离部件制造，各批次是在目标上并防止处理的有意干扰，那是很重要的。此外，假定对于一个处理的输入不影响任何后续的处理的处理模式，那是常见的。因此，以另外的方法来看辨识问题，是有益的。于此技术中，显示了非传统的操作变量来影响于相似方法的处理于标准持续激励。

前段说明的于正确的时间具有正确的信息，那是很重要的。各情况具有相同数目的资料点，但是结果却是大不相同。清楚地了解到，能够定义由正确数据外插这些发现值至更有用的位置的意义，那是很有用的。

此段企图找出一些方法来量化于正确曲时间具有正确的信息的理念。举例而言，直觉上透过一处理于企图处理一个重要产品之前，所有的适当信息将是有效的。然而，一贯而客观地应用此学理，知道什么信息是重要的和将如何去使用他，那是很有帮助的。将于下作更详细的说明，建立了数学上的目标函数，能够简明地表示出所作决定的输出项的期望值。由比较对于不同选择动作的适当建立的目标函数的值，即可能达成满足上述需要的解答。

当使用 Kalman 估测设计的有效协方差矩阵，则能提供有价值的洞察。此矩阵的对角线元素测量于其对应的状态估测的现有的不确定量。由处理次序和选择的测量而完全地决定协方差的估测。当系统前进到次一个时间步级时，于各状态的不确定性将引致误差协方差矩阵对于下列公式而更新：

$$P_{\text{new}} = A P A^T + G Q G^T \quad (92)$$

当取得一测量时(使用特定的 C_r 和 R_r)，依照下式而更新误差协方差：

$$P_{\text{new}} = (P_{\text{old}}^{-1} + C^T R^{-1} C)^{-1} \quad (93)$$

此等公式并不依靠测量的或于处理的现用状态的实际的数值。他们仅定义测量特予的一些关于基层系统结构的假设的不同数量的效果。

追踪协方差矩阵的项是复杂的动作。这是因为已知关于不同变量之间关是的每一件事情，都列入了计算。测量一个变量影响了将处理的其它相关变量的未来如何测量。

一个非常简单的范例系统说明了这些概念。兹考虑具有二个状态和二测量的表面上静止的处理，当由下列公式说明。

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_k \quad (94)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_k \quad (95)$$

此系统能考虑说明为一简单的处理，其中 x_1 是一个可测量的工具状态，而 x_2 是一个没效的直接测量的产品参数。于任何情况，能够尽可能辨识此二个参数，以及直接测量仅于他们其中的一有效，那是很重要的。

于各下列一是列仿真中，取得相等数目的 y_1 和 y_2 测量值。于各新的仿真中，改变测量次序以判定其于误差协方差的效果。前述的 Kalman 滤波器式设计用作为具有所有噪声和于整体起始协方差估测的状态估测器。绘示对于此二状态的协方差项目对于各情况的图形。对于此二测量的有效测量写映矩阵由下列公式来说明。

$$[y_1]_k = C_r x_k = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_k \quad (96)$$

$$[y_2]_k = C_r x_k = [1 \ 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}_k \quad (97)$$

于第一个仿真中，首先施行第 25 图中所示的所有的 y_2 测量。因为由此二个状态而影响了测量，和并没有关于此等状态相关值的信息，二个状态的不确定性经由首先半个的仿真而稳定地增加。于第二个半个仿真中，获得 y_1 测量值。因为此是 x_1 的直接测量，则相关于该状态的不确定性快速地下降。

然而，因为没有关于 x_2 的信息，则其不确定性快速地成长。应注

意于表中具有最低总不确定性的点，正是于半程点后的处理，此为很重要的。此处，提供了关于 x_1 真实值的信息的第一位，和协方差已经包含了关于 x_1 和 x_2 如何相关的信息。

于第 26 图中所示的第二个仿真中，首先作所有的 y_1 测量，其结果是相似于前面的状况。当测量 y_1 时，于 x_1 估测的不确定性停留为低而 x_2 快速地爬升。当测量 y_2 时，于此二个估测的不确定性上升。再者，具有最低总不确定性的点是在转换位置(switchover)。每当仅取得一个测量时，总不确定性继续生长直到取得了补充测量值为止。

显示于第 27 图的第三个仿真是利用首先二个仿真的一些发现数据。此处，于 y_1 和 y_2 之间交替地测量。固定地分享信息允许此二个参数估测的不确定性维持于低。因为用于此处理的状态转移矩阵是相同的矩阵，则用于此简单系统的可观察性测试矩阵表示为：

$$O = [C^T] \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (98)$$

对于此系统，需要 2 阶层，而此矩阵满足该限制。然而，若其中任一测量不是有效的，则此系统将为不可观察。这是为何当仅其中一个测量用于长时间周期时，不确定性会成长的原因。表 6 总结了以协方差平均值来表现的结果。

表 6-处理次序相依结果

测试配置	平均协方差 1	平均协方差 2
产品首先	3.9	11.1
品质首先	4.2	10.9
混合	1.0	1.9

于一个典型的制造设备，将有更多的产品和许多较少的品质处理。然而，处理和测量次序影响了参数估测的品质的概念并没有改变。测试显示的是，特定种类的处理的长时间延展减少了估测器试图辨识所有的处理参数的整体的效率。当有多个变化的来源时，施行仅单一型的处理不允许估测设计于不同的误差来源之间作区别。此是列的测试对于经常的产品和工具交换可以由参数估测关键点而较佳的此一概念，提供了理论上的基础。

前述的仿真建议可以在一组的资料中提高信息量的品质。亦清楚

了解到所获得的信息的品质是与资料的数量完全无关。信息的值非常依赖于精心设计的系统的性质。于一个完全静止而没有干扰的系统中，新的信息并非要如此严格。一旦系统的性质决定了以后，任何的新资料仅作为确认用。然而，于一个具有可能干扰的动态系统中，总是需要有更新的信息。当知道了更多关于此系统后，就更容易辨识干扰。

误差协方差矩阵是一个需要更多信息的有用而方便的指示器。适当的初始处理特征引导了于系统中噪声量的正确的估测，而协方差矩阵的演进取得这些估测。协方差矩阵的演进并不依赖于测量的资料值。伴随着建立于模式中的系统噪声特征化，仅测量的次序和选择影响着协方差矩阵。

每一个处理或测量事件以已知方式影响着状态估测 \hat{x}_1 和协方差矩阵 P_x 。 P_x 的轨迹(对角线元素的和)提供于此状态估测中不确定性值的总数的测量。前述的均方根估测例程企图藉由改变此等状态估测而极小化误差协方差矩阵的轨迹。就他们将如何影响 P_x 的轨迹而言，现在可以着重于处理决定。

下列段落由透悉他们将如何与信息品质有关，而检查一些共同的处理决定。并不把焦点放在一般的两次处理对比(run-to-run)的处理设定，譬如技术方法(recipes)设定点，此段将代的以着重于整个的趋势。调查处理次序和工具选择的冲击对于他们关于此系统的有效信息的影响。

仅将重点放在，半导体制造设备的最后目标，尽可能以最小成本而快速地获得工作产品。可以验证几个能以数学方式表示的(可能冲突)目标。一些共同目标综合如下：

- 使产出率最大(时间最短)
- 尽量少使用原材料
- 使从线内目标的均方偏离最小
- 使从线内目标的总分离物(gross outlier)最少

直觉上，很显然的，可以从这些目标之间作斟酌取舍。于一种极端的情况，于处理于各单元操作的各批次的产品材料之前，能够执行处理特殊的经验，俾使得获知所有的重要参数。反的，若迄今没有处理的经验和于产品上未取得测量值，则材料能最快速地从门内取出。

于实务上，如工作上的平衡偏移需要改变。一个理想的控制系统将能够于非常高层级的了解并反应这些改变要求。

许多的处理决定对于状态估测算法的可取得信息是有效果的。此处将说明少数的关键决定，伴随着特定于他们能如何最佳化以支持状态估测。一个很明显的决定是要测量那一个批次。于许多两次处理对比控制应用中，测量所有重要的控制于每一个批次的参数，那是不实际的。取得测量值使用了可能的制造时间，而于某些情况，亦需要额外的材料(譬如引导晶圆)。对于这些理由，于工业设置中的两次处理对比控制器可以具有减少组的可用于工作的处理测量。很清楚地知道可有利地选择该组提供了关于处理的最多信息的测量，和整个的成本将适当地减少。

一般而言，使用规则式的方法以选择取样计划。于这些方法中，检核一是列的标准以决定是否将测量指定的批次。举例而言，于各维修事件、特定产品的所有批次、和未由早先规则所包含的每三个批次后，可以指定测量处理于各工具的第一批次。

虽然这些计划很容易施行，但是很难了解他们将如何实际影响该处理。此处所说明的方法是基于目标函数。定义一目标函数能用来比较一个计划与另一个计划，并判断那一个计划比较好。

另外一个重要决定是其本身的处理次序。于具有不确定性和受到干扰的处理环境中，当处理各批次时，改变处理(和测量)的次序会改变有效的信息。处理于不同的处理工具的分配材料，对于可取得的有效信息有很大的影响。此影响将更详细说明于下。

于状态误差协方差矩阵就排程决定的效果而言，可分析这些排程决定的每一个。然而，应注意到亦有其它的效果，那是很有用的。改变处理次序或工具分配会冲击到生产力，因此将下游结果列入计算则是有帮助的。此处使用的策略是首先要个别地分析这些处理决定的每一个。然后，呈现出于实际使用中满足于各组合情况的更一般规划。

对于指定的处理计划(工具分配和处理次序)，对于测量总数有一个限制。只要能满足该限制，则可自由地选用特定的测量。于处理区域，一个处理的或等待将要处理的其任一种情况的所有的材料，定义一队列的可能测量。此队列定义用于选择算法的预定水平线，并假定有 n

长度。

定义 2 进位变量的向量 u ，以各元素 u_i 对应于队列中的一个批次。于此向量中，1 表示将要测量的批次，而 0 表示将不受测量的批次。对于向量 u 指定的选择，能使用处理模式以演进协方差矩阵经过列入计算所有处理和选择的测量的整个预测水平线。

就特定的协方差矩阵 P 而言，令 $J(P)$ 定义性能指针。一范例指针将是 P 的轨迹。于误差协方差矩阵中对角线元素的和是于特定估测的不确定性的量的极佳测量值。或者，对应于特定参数的值能够相当根据任意的关是而增多或减少加权。

令 $f_n(u)$ 参考为根据输入向量 u 计算的性能指针值的预定水平线经过所有时间步级的和。此目标函数的值依于基础系统模式的结构和噪声参数的选择值。而且，依于协方差矩阵中于解决最佳化时间的现用值，可获得不同的结果。此是直觉上了解的，因为于不同的时间，极为需要不同的测量。

现在，能够定义最佳化问题以确认适当的测量。于特定的例子中，若 c 表示于队列中允许受测量的批次的数目，则下列公式数学上定义此问题：

$$\min_u f_n(u) \tag{99}$$

$$\sum_{i=1}^n u_i \leq c$$

(100)

$$u_i \in \{0, 1\}.$$

(101)

解决最佳化问题的向量 u 把参数估测中的不确定性降至最小，而满足于测量的最大数的限制。

对于指定的处理和取样计划，于欲受处理的材料的次序具有一些弹性。于此区域内有一队列的材料等着受处理，而只要符合了某些限制条件，即可从队列中以任何的次序选择批次。如前面所显示的，误差协方差矩阵是路径相依的。当各处理将要执行时，改变处理的次序对于可取得的信息能有影响。因此，误差协方差矩阵可再用来驱策最佳化的问题。可以预定那些批次将受测量和那些批次仅受处理而不作

测量。

兹再假定批次的队列有 n 的长度。定义整数变量的向量 u ，以各元素 u_i 对应于队列中的一个批次。于此向量中，当批次将处理时，各元素 i 的值 u_i 表示时间步级。基于此理由，必须限制向量 u 将包含 1 和 n 之间的所有整数。

就特定的协方差矩阵 P 而言，能再定义性能指针 $J(P)$ ，而为了选择处理次序的目的，将合理地选择 P 的轨迹，虽然可调整加权使某些参数较的其它的参数更重要。

令 $f_n(u)$ 参考为根据输入向量 u 计算的性能指针值的预定水平线经过所有时间步级的和。如上所述，此目标函数的值依于系统模式和于 P 矩阵中的初始值。如上述的情况，能定义最佳化的问题以决定适当选择的输入向量 u 。

$$\min_u f_n(u)$$

(102)

$$u_i \in \{0, 1, 2, K, n\}$$

(103)

$$u_i \neq u_j \quad (i \neq j).$$

(104)

对于要处理的指定材料组，必须选择用于处理的适当的工具。很自然地，因为生产量和生产力的关系，存在着限制条件。然而，在限制的界限范围内，对于某些工具可以选择某些材料以获益关于系统的更多知识。就不同的产品和工具而言，有许多的启示能够表示所指定追纵参数不确定性的结构。就事实上某些参数较之于其它的参数有较高的可靠度，从工作的体验上能感觉到，须用更可信赖的或现有的状态信息来处理于工具上更重要或关键的产品。

由辨识的观点来看，可以藉由于工具上处理良好的特征产品，而习得关于未知的工具。反的，于高度信心了解的工具上处理新的产品，能快速地帮助习得关于新产品。此段中将尝试更客观地定义这些规则。

欲检验此问题就不得不考虑到于总设备生产力的复杂性。传统上是以最短时间目标来决定工具排程。于此测试研究中，将用简单的限制来操控生产力关系，但是通常此仅为大的最佳化问题的另一部分。事实上，其它的研发人员已经研究使用模式预测控制公式化表述来最

佳化生产力和货品清单。

如于前述的情况，有 n 批次的队列等候于处理区的处理。对于各批次的产品为已知，并预定是否将测量该批次。若处理工具编号从 1 至 k ，则可用对应于队列中一个批次的各元素 u_i 来定义整变量的向量 u 。于此向量中，各元素 i 的值 u_i 表示批次将处理的工具。

就特定的协方差矩阵 P 而言，能再定义性能指针 $J(P)$ 。于决定那一个处理工具将执行的情况，和能调整加权以使某些参数较之于其它参数更重要之前，可再使用 P 的轨迹。

令 $f_n(u)$ 参考为根据输入向量 u 计算的性能指针值的预定水平线经过所有时间步级的和。再者，目标函数的值依于系统模式和于 P 矩阵中的初始值。如上述的情况，能定义最佳化的问题以决定适当选择的输入向量 u 。

$$\min_u f_n(u)$$

(105)

$$u_i \in \{0, 1, 2, \dots, k\}$$

(106)

于此段中，显示了较所获得的资料量有更多的状态估测。兹说明欲量化于资料组中的信息量的方法。可以使用这些方法来作将引导更多对于状态估测有效的信息的处理决定。下列的讨论将这些最后的几个设计情况联合成对于所需资料的相干策略。此策略藉由提供新信息的稳定和可信赖信息流而施行此不确定性式状态估测。

包含的前述例子设计情况处理各决定，和他们于状态和参数估测的效果。当各情况于实际产品设备于其本身适合值得研究时，他们必须全部同时考虑。下列的讨论将说明用于信息收集和参数估测的所需全盘计划。

作为初步的步骤，首先证明譬如排程和取样的处理决定，能够使用需要的状态估测算法作为指导而下决定。对于此理由，使用了上述的最佳化问题而显示许多的仿真处理。于各此等测试设计情况，用相同的方法而初始设备和状态评估算法。于每一个此等测试设计情况，研究不同的处理决定。

限制可能解答的数目和允许容易了解的情况，具有三个处理工具

和三个产品的系统由仿真驱动器 136 所特定。如于较早的情况，是假定产品和工具之间仅有重要的变化来源不同。于仿真期间，随机噪声和轻微的偏移加到状态中。于各设计状况，控制器 130 开始并没有系统状态知识，和处理了 200 个时间步级以完全地设定。次 20 个处理为受到测试。所有的测试使用了如基本情况的相同的处理组。表 7 显示使用于所有设计情况的基本配置。

表 7-处理决定基本情况处理综览

处理	工具	产品
1	2	1
2	3	2
3	2	2
4	1	2
5	3	(品质(qual))
6	2	2
7	3	2
8	1	3
9	3	1
10	1	3
11	3	3
12	1	3
13	2	1
14	1	2
15	1	3
16	3	2
17	3	3
18	3	1
19	1	2
20	2	3

第一组的测试是处理选择的最佳取样计划。测试的目标是要选择测量的处理，而使得于所有参数估测的不确定性能减至最小。此可由使用定义于公式 102 的目标函数和其相关限制所完成。目标函数的估测是非线性、反复的处理。一旦选定了输入向量 u ，则可使用处理模式来经由时间而向前推演协方差矩阵。

对于此问题，限制(公式 103 和 104)完全定义了可施行的解答空间。本质上，必须在可能的 n 个中选出 c 测量值。因为处理次序是固定的，则选择的测量的次序并没有关系，只要他们全部在处理开始之前已选

择了就可以了。此意谓着定义的可行的候选排程的数目已由下式所给予：

$$\frac{n!}{(n-c)!c!}$$

(107)

对于总共 20 个的处理，可藉由彻底搜寻可行的区域而解决此最佳化的问题。下列表 8 总括了几个不同的 c 值的测试结果。

表 8-最佳化测试取样的综览

c	取样	目标值
1	5	932
2	5、8	811
3	5、6、8	708
4	2、4、5、6	678
6	4、5、6、11、12、13	551
8	4、5、6、7、10、11、13、14	488
10	4、5、6、7、10、11、13、14、16	444
16	1、2、3、4、5、6、7、8、9、11、12、13、14、15、16、18	385
20	(全部)	375

从这些处理中可立即显现几个结果。首先，于各解决方法中皆表现出具有处理 5 的工具品质处理。此特定的处理于锁住参数的真实值时最有帮助。其次，算法支持接近于测量开始的测量处理。此是直觉上可了解的因为于每次处理增加了不确定性。藉由测量接近于开始的更多的处理，估测器能保持平均不确定性记录。用较少测量值的处理说明了算法尝试学习关于整个系统。藉由取样包含了整个工具和产品范围的几个处理，估测算法能够具有完全的系统概念。

值得注意的是目标函数的值的极限为高于大约 10 个测量值。此更清楚地说明于第 28 图中。此建议实际使用的算法将辨识不提供足够的新信息来证明他们于时间和资源的成本是适当的测量。

第二组的测试处理选择的处理次序。此处，预定了将要测量的处理，但是能在给定的批次队列内任意地安排处理次序。再者，目标是将参数估测中的不确定性降至最小。在公式 103 和 104 中的限制定义了一组的可施行的解答。藉由于一时间从队列中选择一个批次而决定

次序,直到所有的处理已完成了为止。因为此问题有 $n!$ 可能的解答(即,候选的排程),则解答空间的彻底搜寻是不切实际的。

对于这些测试处理,使用了次最佳方法来限制候选排程的数目,并取得能够充分说明关键点的近似解答。并不尝试包含整个的解答空间,而可解决一是列的 n 个较简单的问题。对于各处理,选择了提供最立即改进目标的一个批次。重复此处理直到所有的批处理了为止。

处理此测试,必须预定取样计划。用改变数量的信息来测试,处理测试进行测量每一个批次、每一个其它批次、每一个第三批次、每一个第四批次、和每一个第五批次。知道当将进行测量时,控制器 130 必须决定最大化有效信息的处理次序。

下列表 9 表示了处理次序研读的结果。于各测试中,使用新次序所获得的目标的值,与表现于表 7 中使用内设次序所获得的值相比较。于各测试中,对于较佳处理次序的解答相当地改进了目标函数值。

表 9-次序最佳化测试的综览

允许的取样	于目标值的% 改进
20	19.8
10	20.4
7	17.6
5	15.9
4	15.9

最后一组的测试处理工具分配问题。此处,预定了对于一组批次的处理次序和取样计划。目标是藉由对于队列中各批次选择最适当的处理工具,而极小化于参数估测中的不确定性。于公式 105 和 106 中的限制定义一组可行的解答。

以 n 批次的队列和总共 k 个工具,则有 k^n 个可能的解答。当可能的解答数以问题的大小而按指数而增加时,则解答空间的彻底搜寻通常是不实际的。如上所述,用次最佳方法由限制候选排程的数目而达成适当的解答。

对于各处理,选用将于目标函数获得最大改进的工具。因此,解决了一是列 n 个较简单的问题以决定何处来处理所有的批次。下列表 10 显示由算法决定的处理次序。

表 10-工具分配处理综览

处理	工具	产品
1	1	1
2	3	2
3	2	2
4	3	2
5	3	(品质(qual))
6	2	2
7	1	2
8	2	3
9	3	1
10	2	3
11	3	3
12	1	3
13	2	1
14	2	2
15	1	3
16	3	2
17	2	3
18	3	1
19	1	2
20	1	3

于工具的批次的分配获得大约 10%于目标函数值的改进。然而，有一些更冲激的结果。第 29 图比较当使用内设工具分配计划和最佳化计划时，控制算法的仿真输出误差。因为于具有相对小评估不确定性的工具来处理具有高参数估测不确定性的产品，则大数量的可变性以最佳化方式移动。

此仿真的一个重要特征是没有规定公平使用工具的限制。此结果显示将处理公平地分配于所有包含的所有工具之间的算法。对于此的理由是对于指定的工具于参数评估的不确定性随着时间而增加，即使是未选用该工具。因此该算法必须使用所有的工具，俾使得可有效取得足够的信息，含盖所有的工具使保持不确定性低。

如于前段所示，譬如工具排程和取样计划的制造处理决定，对于有效施行处理控制的能力，具有非常实际的效果。再者，显示了这些决定变量的适当操作能改进控制输出。当决定变量不直接影响控制器 130 操作的处理变量时，他们影响可有效取得于控制器 130 用来更新其状态和参数估测的信息的数量和品质。对于以模式为基础的控制，

模式参数的不同值引导到目标函数的不同的值，而因此选用不同的处理输入。

使用误差协方差矩阵可有效于 Kalman 状态估测设计，此制造决定显示于控制器 130 中的不同的参数估测具有相关不确定性的明确的关是。能建立模式将处理决定相关于他们在参数估测中于不确定性的影响。依于参数估测中现有的信心，采取特定的测量或执行特定的处理工具，能具有很不同的效果。

关于此点，可方便地将处理模式从监督排程模式中分离出，如第 30 图中所示。处理模式 300 施行低层级处理模式 310，该处理模式 310 描述当操作输入时，如何影响了处理变量。处理变量包括技术方法的设定、测量批次性质、和变化的来源。于此模式中，批次为未知直到他们出现为止，于此点，他们的性质决定他们将如何由处理装备所影响。排程控制器 320 施行监督、排程模式 330，而无关于详细说明如何处理批次。或可取而代之的，其仅处理经过设备的材料的移动。

决定一是列分离事件的环境。这些事件包括处理的批次、高品质的工具、和受测量的批次。对于这些事件中的每一个，可使用处理模式 310 以决定于实际处理状态的预期影响以及于参数估测的不确定性。可使用高层级排程模式 330 以决定于货品清单层级、循环时间、和工具使用事件的影响。

此处使用多层级控制策略。上述及由处理控制器 300 施行的状态估测技术很适合用来解决决定给予了所有的可取得的处理信息的最佳参数估测的问题。此状态估测不具有关于将处理的材料或将接收什么测量的次序的输入，但是他能够有效地处理到达的信息。

于次一个层级，排程控制器 320 藉由分析候选的排程符合几个目标而操控排程。除了确定有效使用了处理工具和材料于合理的时间量通过设备外，排程控制器 320 必须确定较低阶层处理控制器 300 和其状态估测算法收适当的信息。

此串联的设计允许具有各控制器 300、320 的模块设计，该等控制器 300、320 为最适合的操控任务。甚至较高层级工厂最佳化控制器 340 可提供用于排程控制器 320 以定义目标。

至排程模式 330 的输入为处理决定。于给定的时间步级，要作许

多的决定。为了简化的目的，假定所有的处理花费了相同的时间量，并且他们全部都同时开始和结束。此允许于决定变量的简化。若有一队列的 n_b 批次于处理区域等候处理，则于指定的时间步级，必须决定有那些批次于时间步级期间于处理区域将于所有的工具作处理。若于处理区域中有 n_t 个工具，则向量 u 的 n_t 个元素定义将处理于工具的各批次。概括而言，于队列中的各批次不全然必须为产品批次。工具品质和其它此等事件亦能适合于相同的结构。需要第二输入向量 v ，亦为长度 n_t ，来特定是否将测量描述于 u 的各处理。

对于于时间步级选择的决定向量(即，候选排程)，可计算用于处理状态估测器于误差斜方差矩阵的效果。如于前述的例子中，就于此矩阵中操作而言，能定义目标函数。

模式预测控制器(MPC)公式化能提供用来解答上述于实际情况的最佳化问题的优越媒介。当仿真能用预定的材料队列于已知环境中处理时，实际的制造设备更复杂。处理状况总是受到改变，而由控制器所作的决定能依照工作的需要而予撤销。使用 MPC 公式，每次解答最佳化问题时，仅施行了第一决定。于新的信息变得可使用后，再度解答了问题。此设计非常适合操纵于设备中的快速改变状况。

MPC 于检验现在的改变将如何影响未来的处理之前，能留意几个时间步级。使用 MPC 公式，定义了他们将如何改变的系统状态和模式。当使用由处理控制器 300 使用的状态误差协方差矩阵来决定，各状态仅为参数估测不确定性值。他们将如何改变的模式，是由公式决定，该等公式决定当处理和测量各批次时，协方差矩阵将如何改变。

由排程控制器 320 所接收的“测量”，为施行实际的处理决定后，于由处理控制器 300 所提供的协方差矩阵中的新值。因为外侧的影响，实际处理决定也许匹配，或也许不匹配所需要的排程控制器 320 的决定。

MPC 方法的另外主要的好处，是包括了于决定的限制的能力。由使用预定的水平线，而可以使用经过长时间周期测量的譬如材料百分比的复杂的限制。等待处理的批次于工具分配、取样、和时间的限制，能够全部插入此非常一般的结构中。

对于此联合处理和工厂控制策略，有许多的好处。传统上，当工

作需要指令时，已作了排程，以少的或没有分析加至于处理控制的冲激。处理控制是在工厂约束的限制条件内必须作的某些事情。用所需的处理控制整合所需的排程对于如此处所列示的二者有几个明显的优点。

一般而言，取得测量以确保能正确地处理批次。藉由允许处理控制器具有输入于取样计划，使用对于此处理的不确定性的了解而选择相关的测量。因为于参数评估的不确定性直接转译成于处理输出的不确定性，则可能减少测量值至需要确保所有的处理输出是在适当的容许偏差内。此不仅节省了时间，而且也限制了必须表现的测量工具的数目。当然，当输出不确定性变得太高时，亦能建议排程控制器 320 小心地选择测量值。其有适当的资料作通知决定，关于那一个可能的测量将提供最大的利益。

排程最佳化的另一个应用范例是“重要”批次的处理。一个特定的批次可基于各种理由而标示为高优先权批次(例如，预定的性能特征、测试批次，等等)。对于如此批次可希望相关于该指定批次的最佳化处理。不确定性分析可应用于包括目标批次的不同的候选排程，而当选择了处理目标批次时，候选排程具有最低的不确定性。

排程控制器 320 亦能选择用于譬如工具品质的特殊事件的时间。这些事件通常使用于装备维修，但是他们亦能用来增进资料的品质。排程控制器 320 具有知道何时用于工具状态的估测的参数具有显著的不确定性的有效信息。当过去的维修品质将提供关于工具参数的状态的更新信息时，此是执行于工具上维修的好的时间。此种的动作能减少停工时间，并当他们真正需要时，可藉由排程事件而改进控制输出。

早期探讨的排程和取样最佳化问题落于困难数学问题类中。首先，目标函数的估测极为非线性处理。甚至当低阶层处理模式为线性时，依于接收的测量资料于误差协方差矩阵的更新需要矩阵反转技术。事实上决定变量为分离值而非连续值，而使此问题进一步变得复杂。找出连续非线性函数的极值的共同方法，是取得关于独立变量的导数。一般而言，这些极值不对应于由系统限制所允许的分离合变量的分离值，因此必须使用更复杂的搜寻方法。

如早于此段所说明的仿真处理，当系统大小增大时，由直向前进

搜寻设计所需的目标函数估测的数目，快速地变成天文数字。由将此问题分割成小件并结合稍后将作仿真的解答，而能发现一些助益。此外，可以从可行的解答而工作，应用获得的其它可行解答的小改变，看看是否改进了目标值。这些方法的缺点是，不保证搜寻全部的最佳值。所需的最正确解答和具有于合理时间量解答之间必须达成平衡。当决定于大工场中的处理排程时，必须将大量数量的因素列入计算。

于一个实施例中，可定义单一目标功能和相关的限制以包含所有的关系。目标将符合许多具有不同方面专门技术的不同部分的需要。举例来说，就将产生多少处理信息而言，当控制工程师能够说明特定批次的重要性时，操作搜寻专家更关心该批次要等候多久去处理，和如何将该批次更有效率地移动通过生产线。此外，工程师尝试改进处理也许需要于某些具有特殊设定的工具上处理某些批次。建立符合所有这些需求的单一目标，需要各有关方面的相关重要的规格。

一个替代的方法是具有就各部分的需求而特制的分离的系统。这些系统的每一部分能够容易地决定此等最可能看到的处理决定。然后监督系统负责解决冲突。如于前段中所提及的，以规则为基础的系统共同用来排程产品处理。这些系统通常设计成用少的关于两次处理对比控制应用的需求，而将延迟和成本降至最小。用此种的系统整合势必影响于现有设备中的排程。

此处所说明的技术表现了有力的方法了解操纵许多于大尺寸半导体制造工厂中同时动作的不同的处理。此结合系统模式的研就加强了于不同处理之间能共享大的处理资料的事实。当装备、产品、和处理之间的差别时常较单一处理的两次处理对比波动更大时，结合模式藉由使用从于时间的几次处理来的资料，连续捕获不同区域的处理之间的差。此方法的关键好处是不同的处理内容之间信息共享，而使得当侦测到错误时，系统模式非常快速地更新。

其它主要的结果是，于状态和参数估测算法中，了解于估测中不确定性的量与获得估测值其本身同等的重要。提出根据估测信心电平的递归状态估测例程以执行更新，即使当仅有一部分的所希望的测量资料为有效时。说明并解决了譬如延迟和漏失测量的实际测量问题。结果是健全的设计可应用于制造设备许多不同的处理。

于所含的有效资料和有用资料之间作区别。状态估测设计的性能是非常依于所接收的信息的品质。辨识状态估测误差协方差矩阵作为于估测中不确定性的指示器，而于矩阵中测量的效果解释为于估测中不确定性的测量影响。

譬如批次排程、工具分配、和取样计划的处理决定已显示对于控制器性能具有效果。使用包含于误差协方差矩阵中的参数估测不确定性信息，这些处理决定能最佳化以给予更适合的处理控制结果。仿真结果证明了于状态估测中的可测量改进，和控制输出性能能藉由使用从处理控制器来的信息而达成，以帮助作较佳的排程和取样决定。此外，显示状态估测算法能辨识提供了稍微信息的测量，俾使得这些测量可能被跳过。

揭示于上的特殊实施例仅作说明用，而本发明可作修饰以及以不同的方式实施，但是对于此技艺方面的一般技术人员而言于阅读习得本说明书后，当可了解本发明可以诸多等效方式实施。再者，除了以下的申请专利范围中说明之外，并不欲对其中所示的构造或设计的细部作限制。因此，当可明证以上揭露的特定实施例可作更改或修饰，而所有此等变化皆是考虑在本发明的精神和范围内。由此，本发明提出权利要求请求保护。

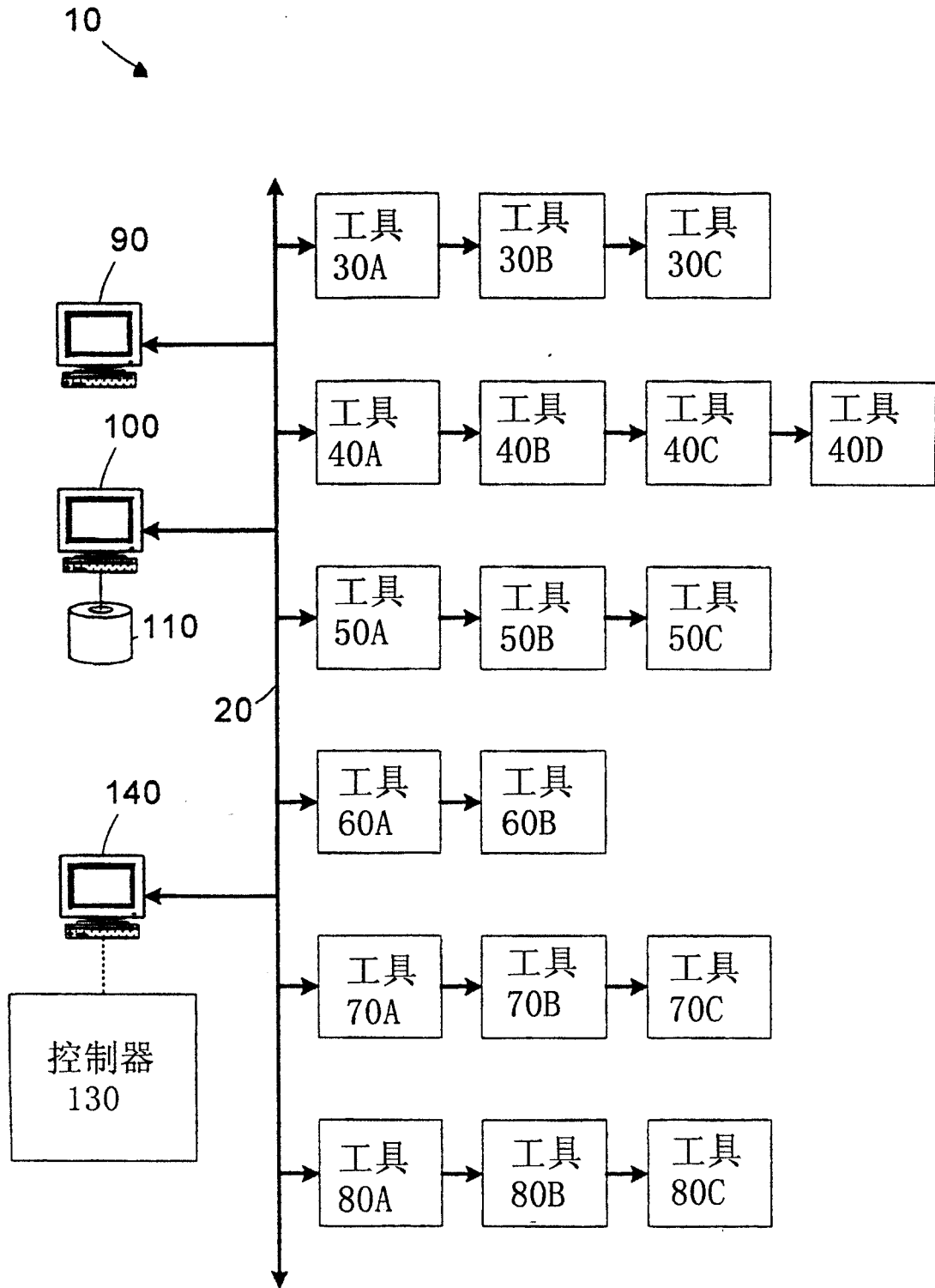


图1

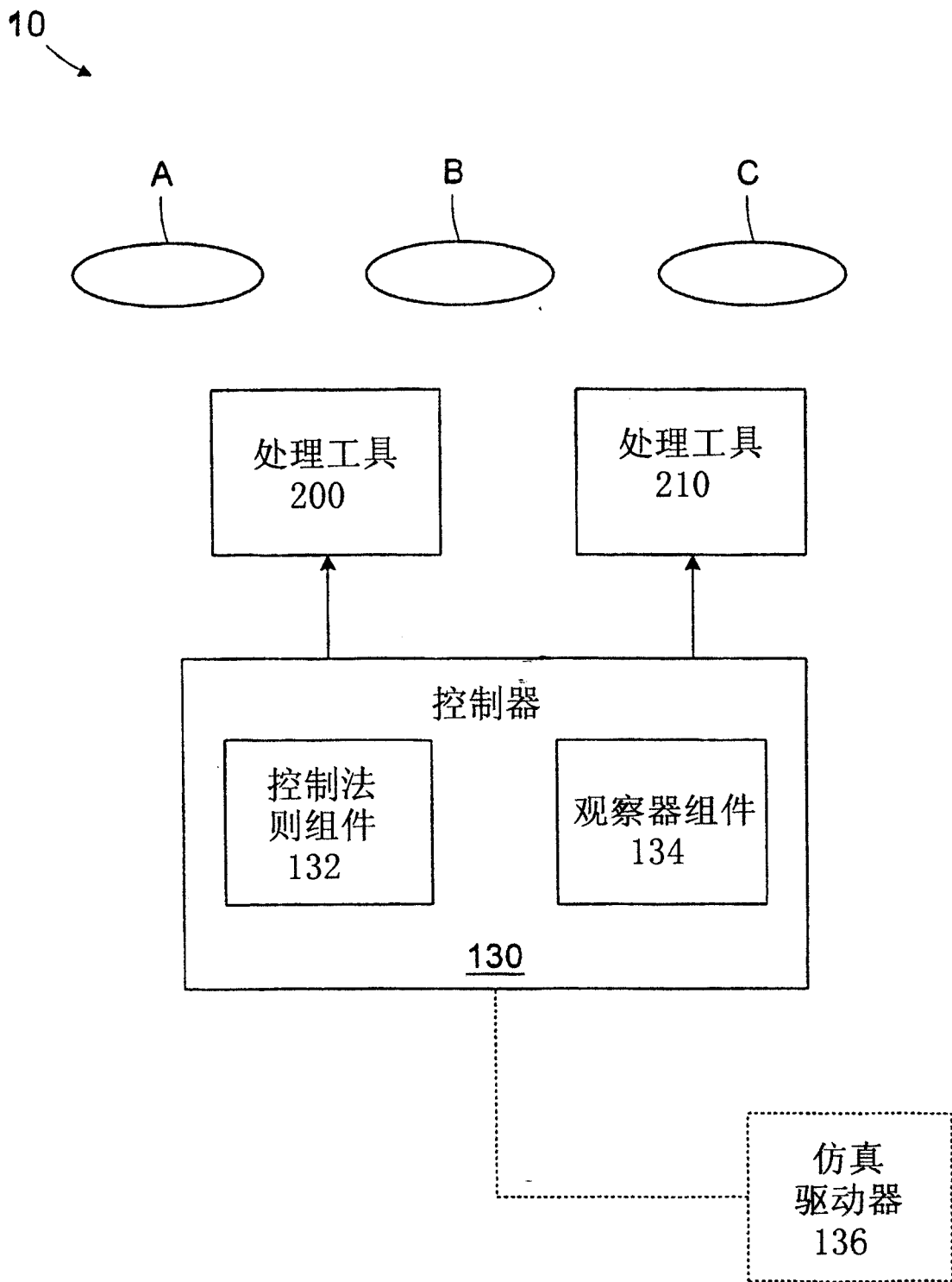


图2

图 3A

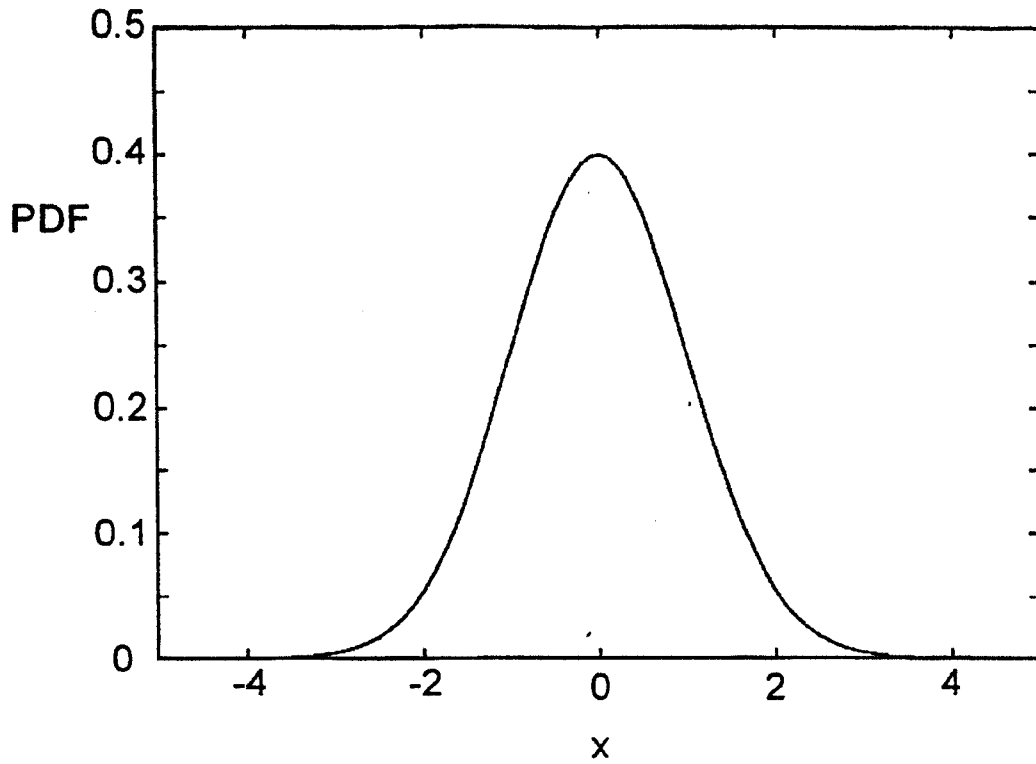


图 3B

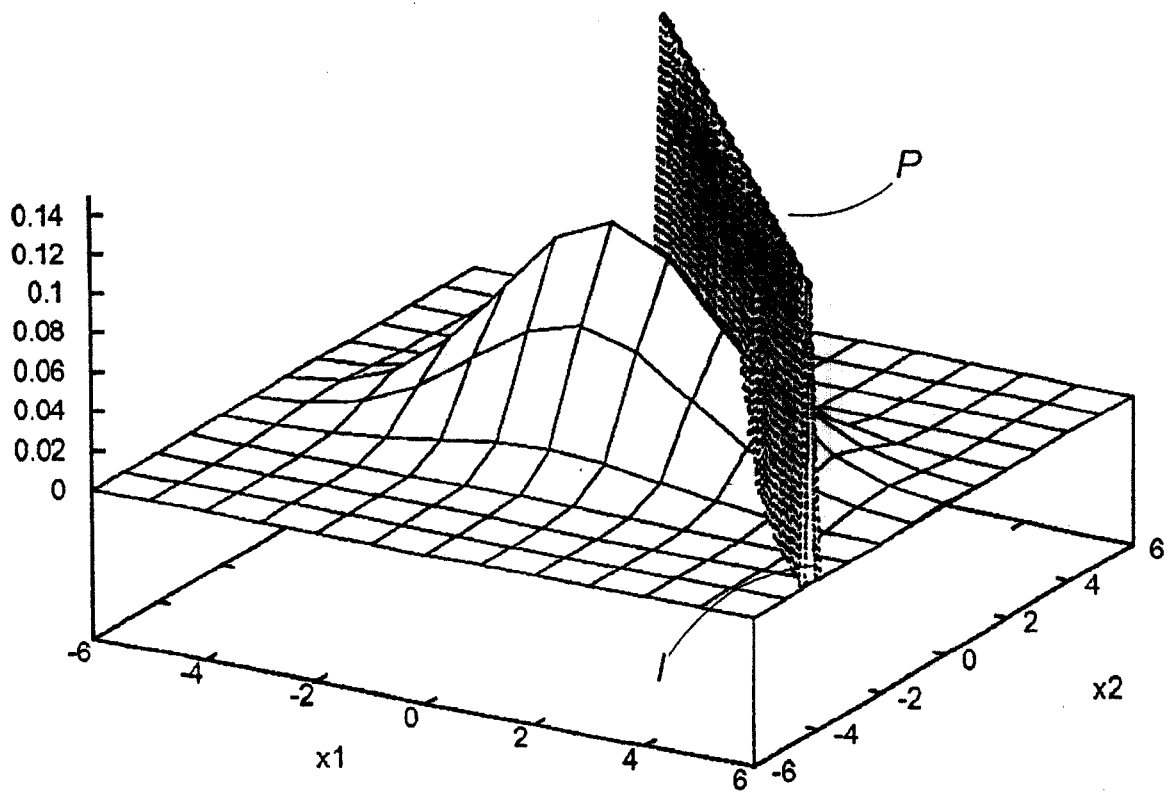


图 4

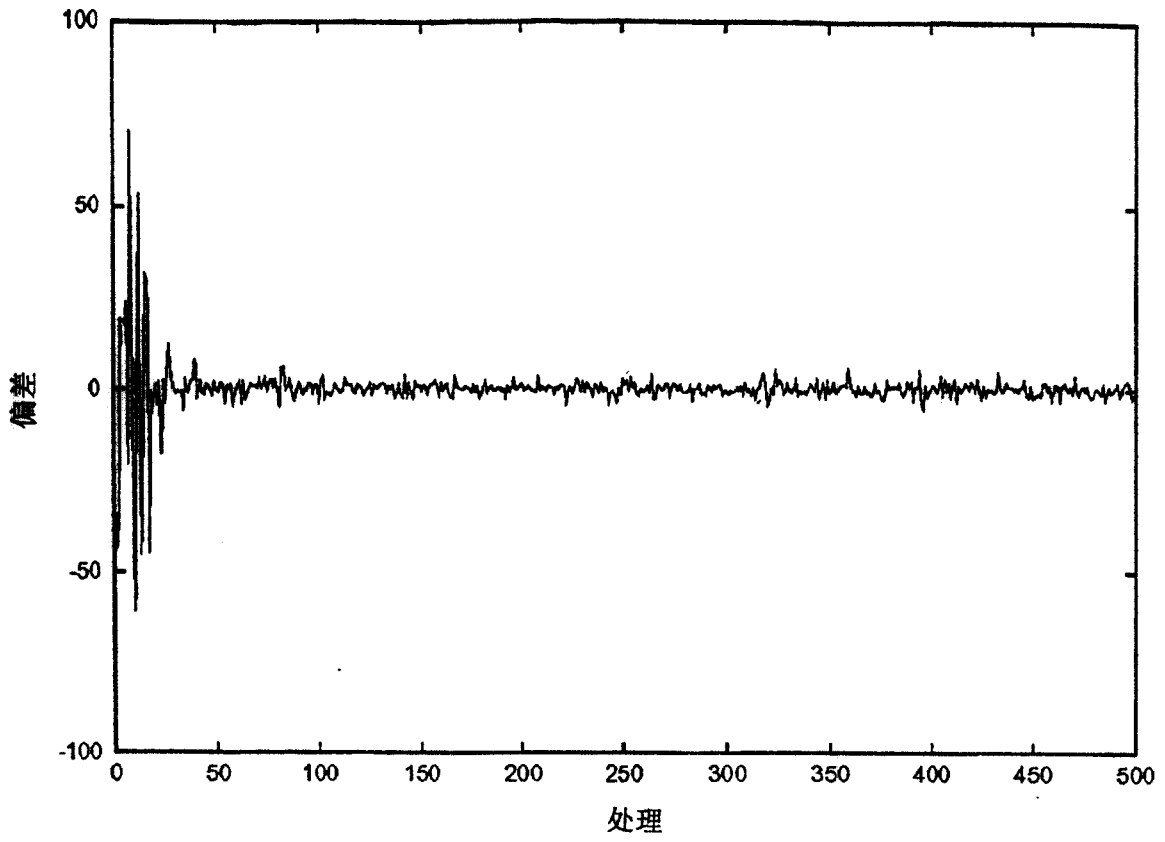


图 5

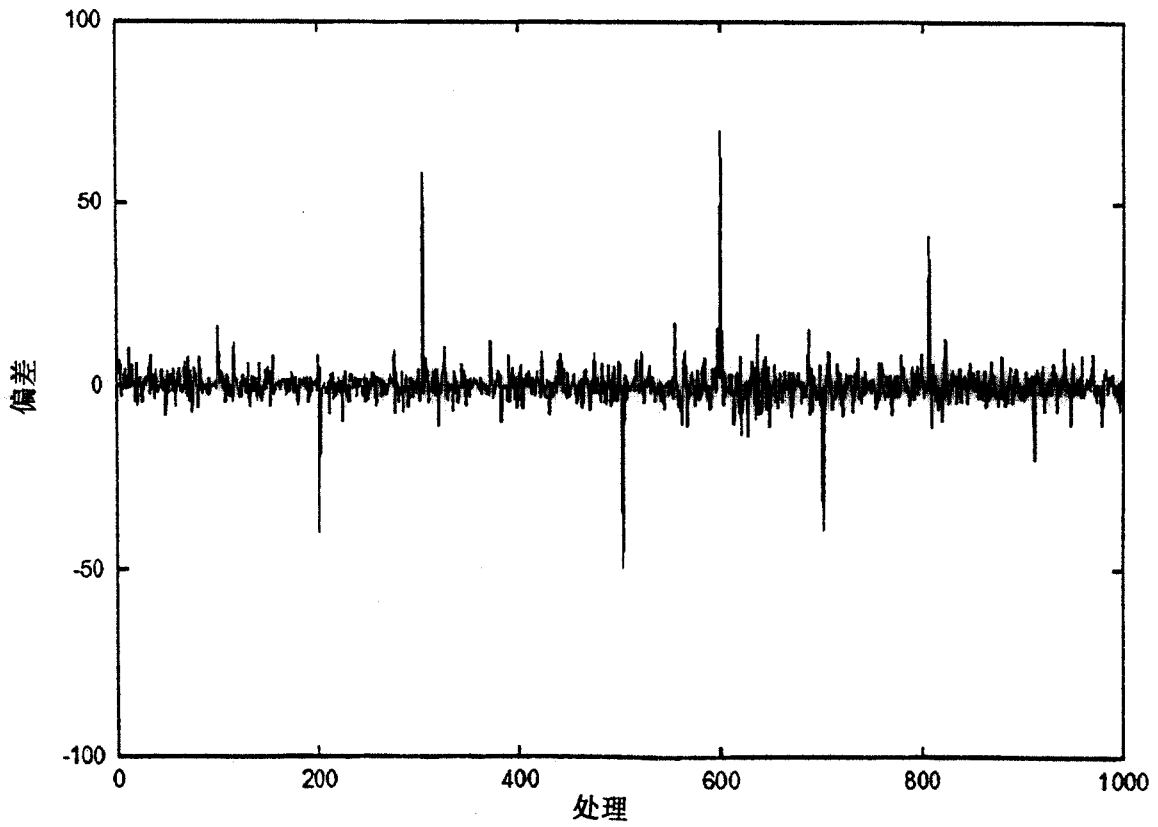


图 6

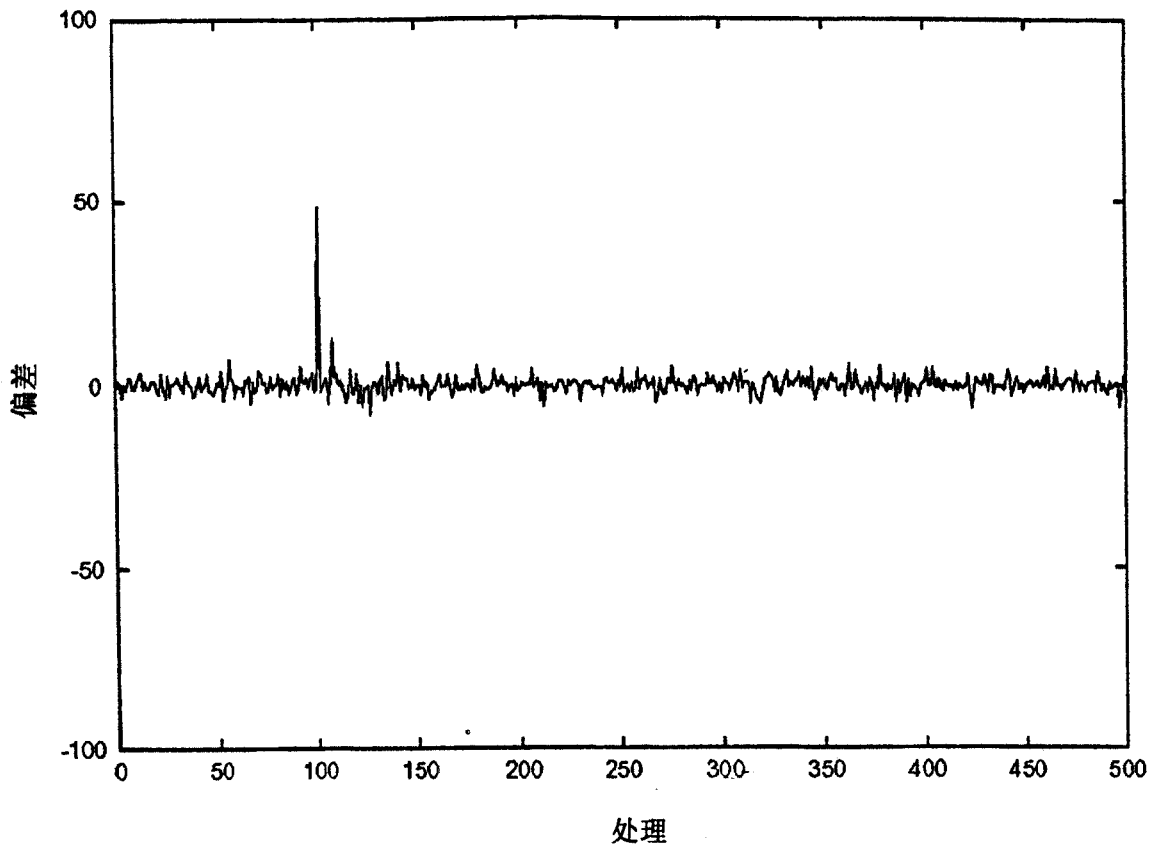


图 7

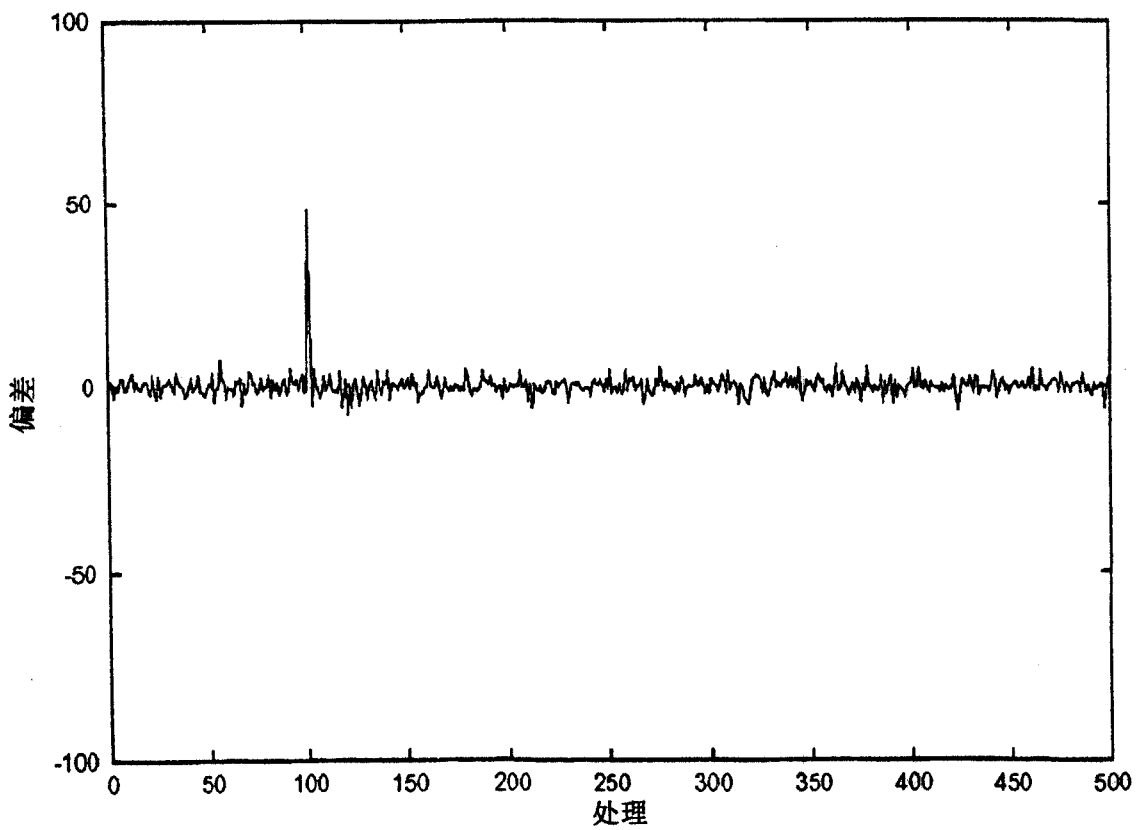


图 8

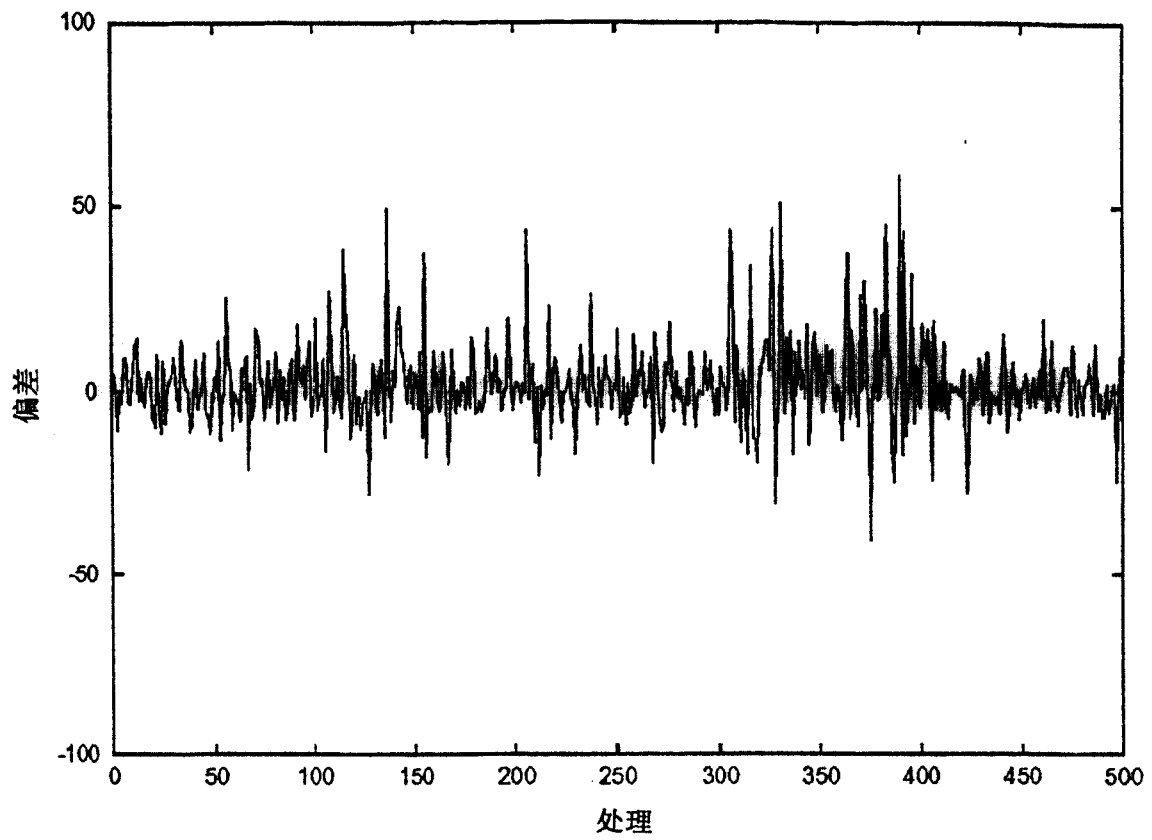


图 9

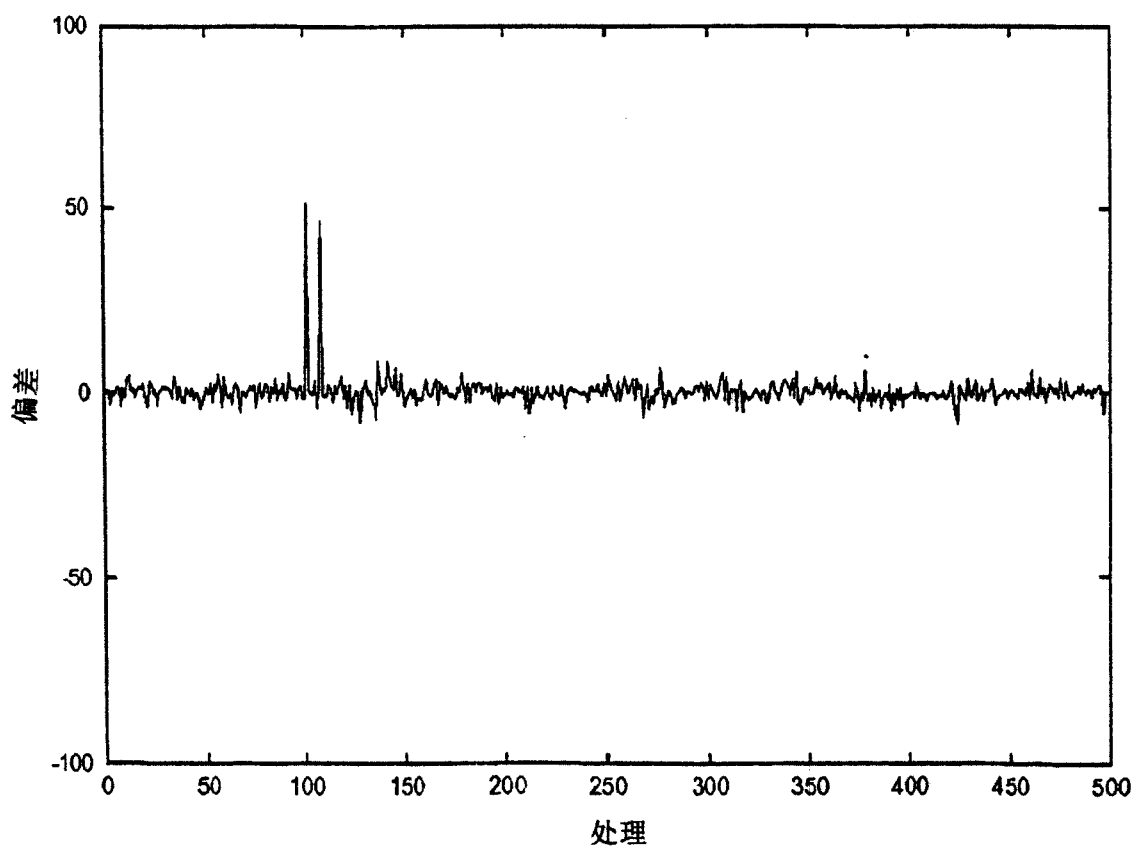


图 10

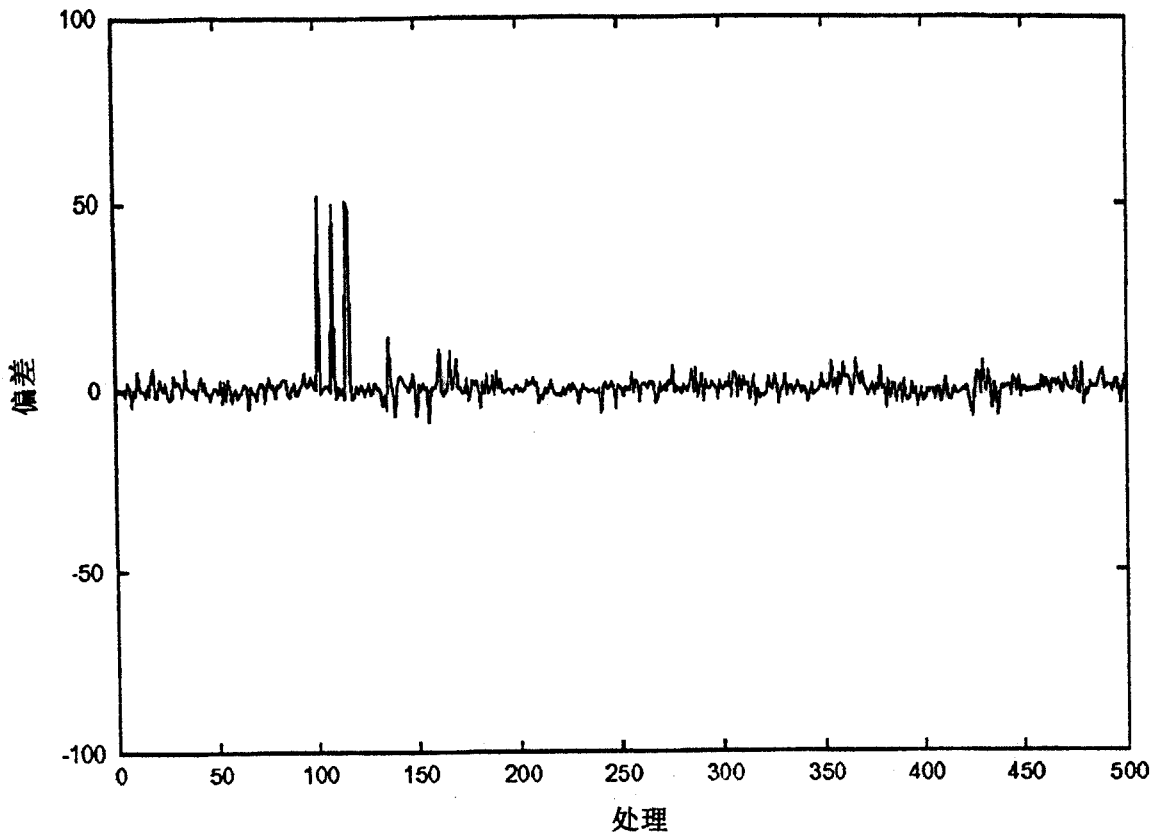


图 11

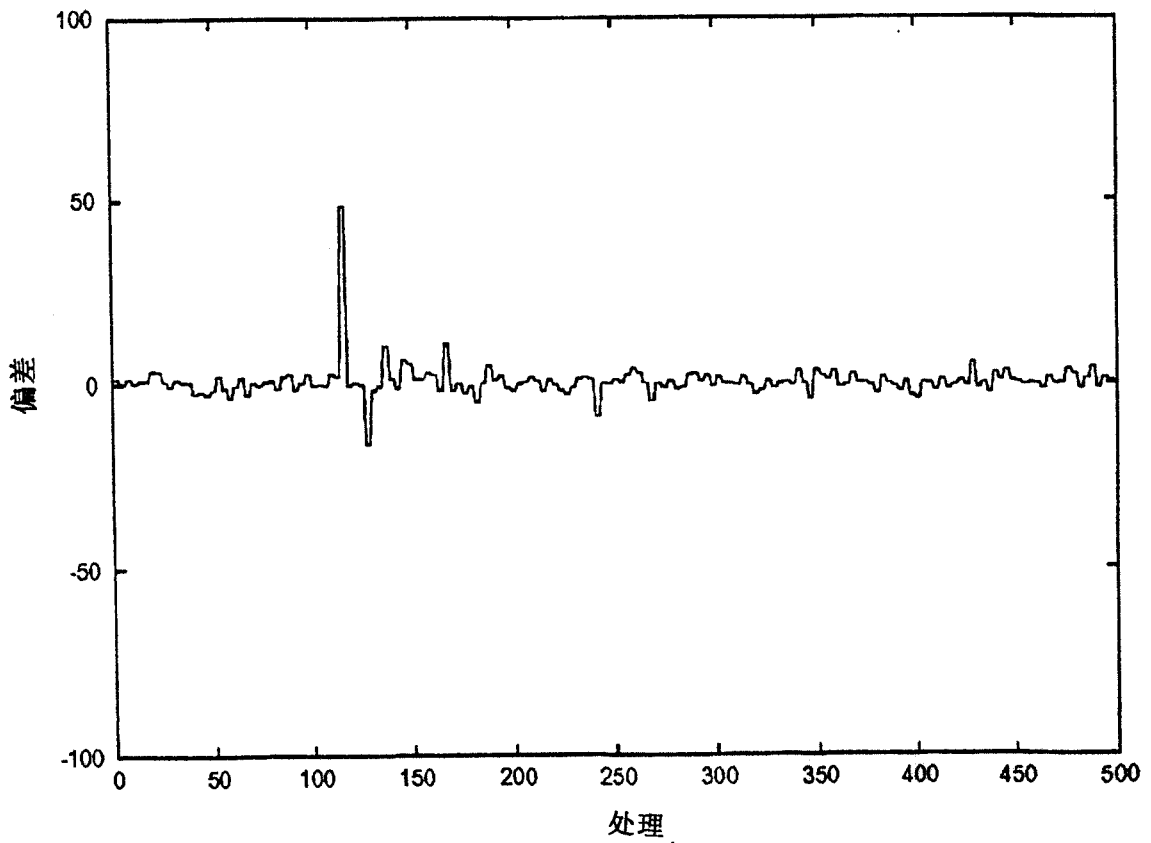


图 12

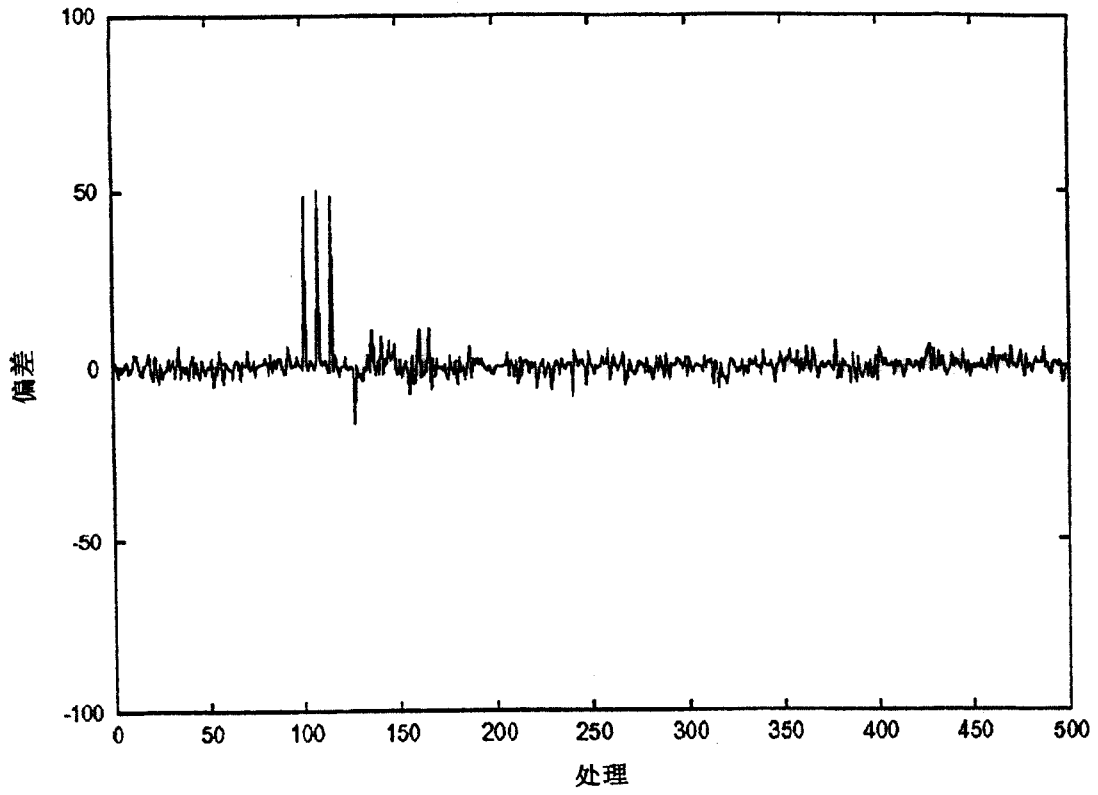


图 13

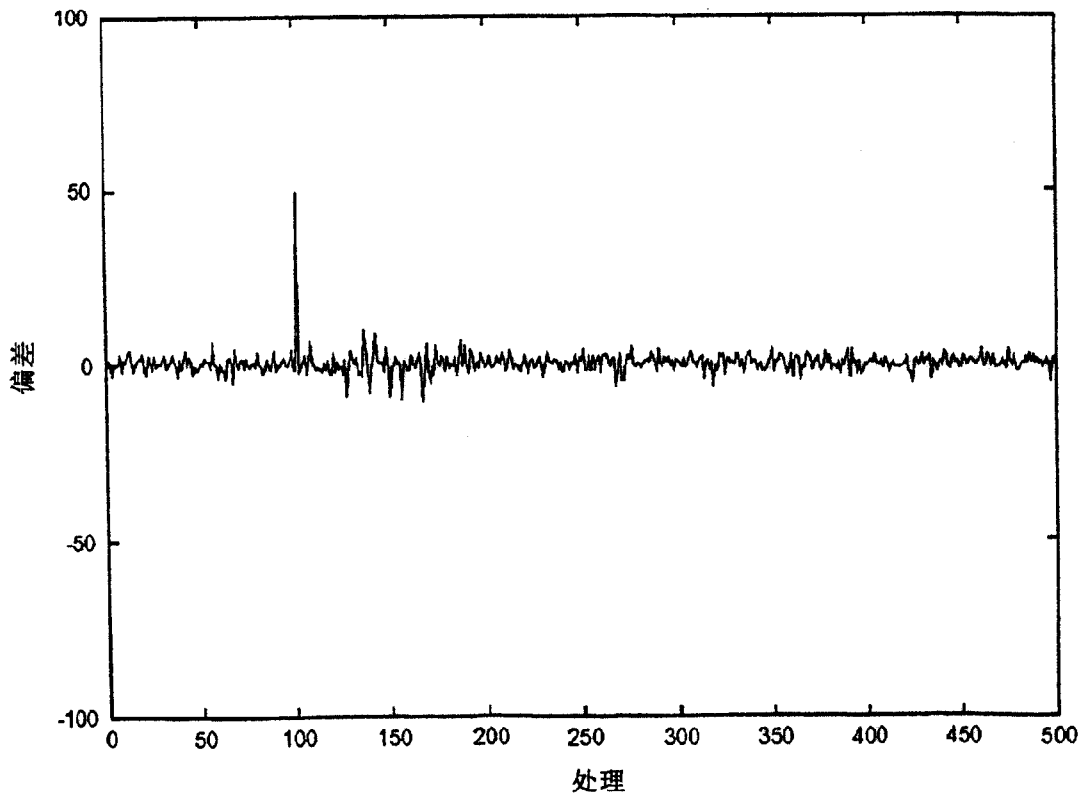


图 14

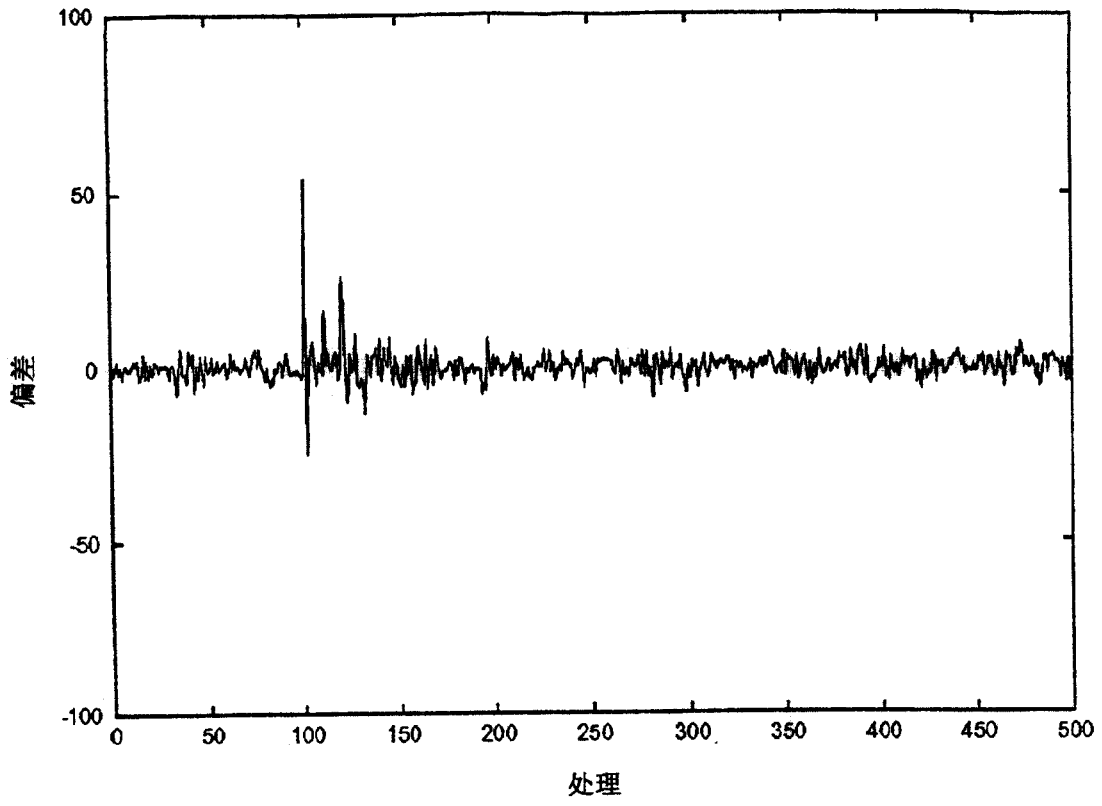


图 15

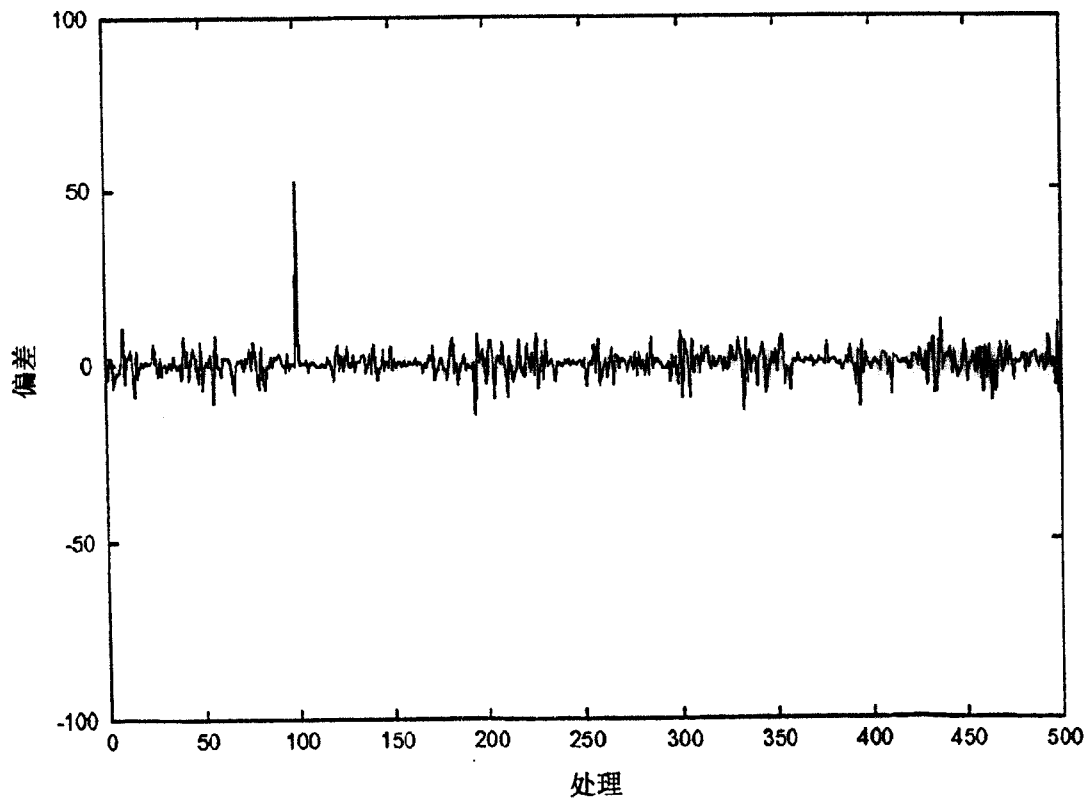


图 16

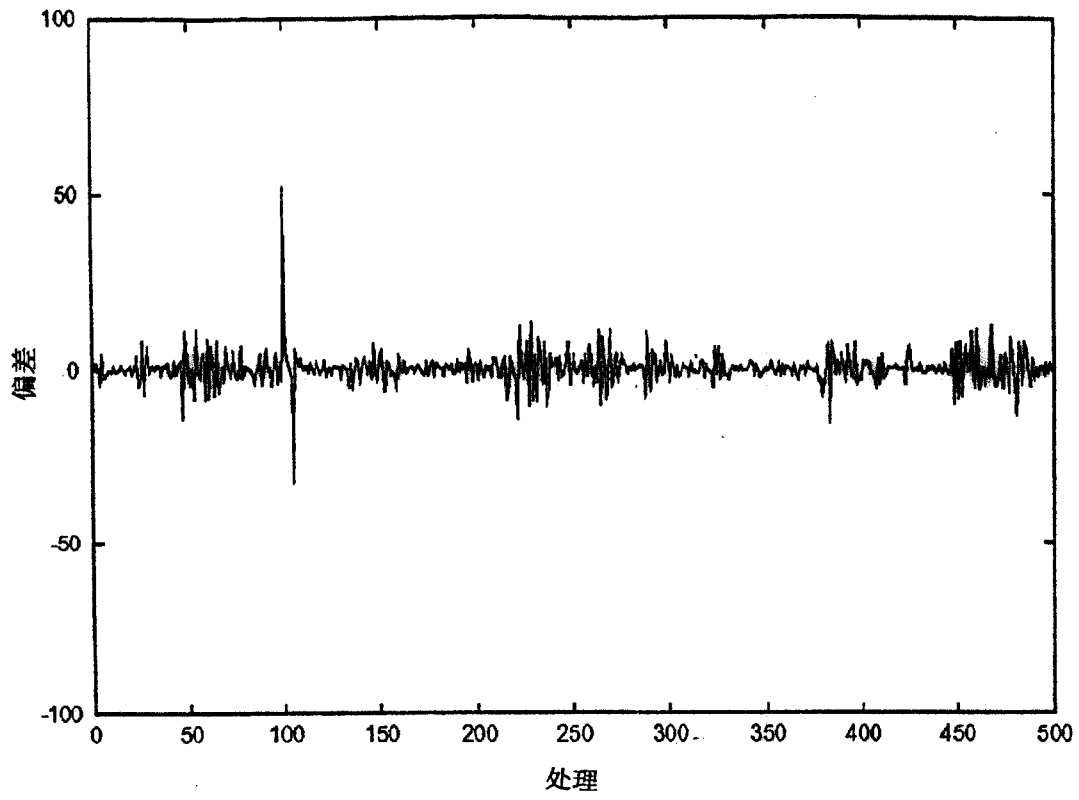


图 17

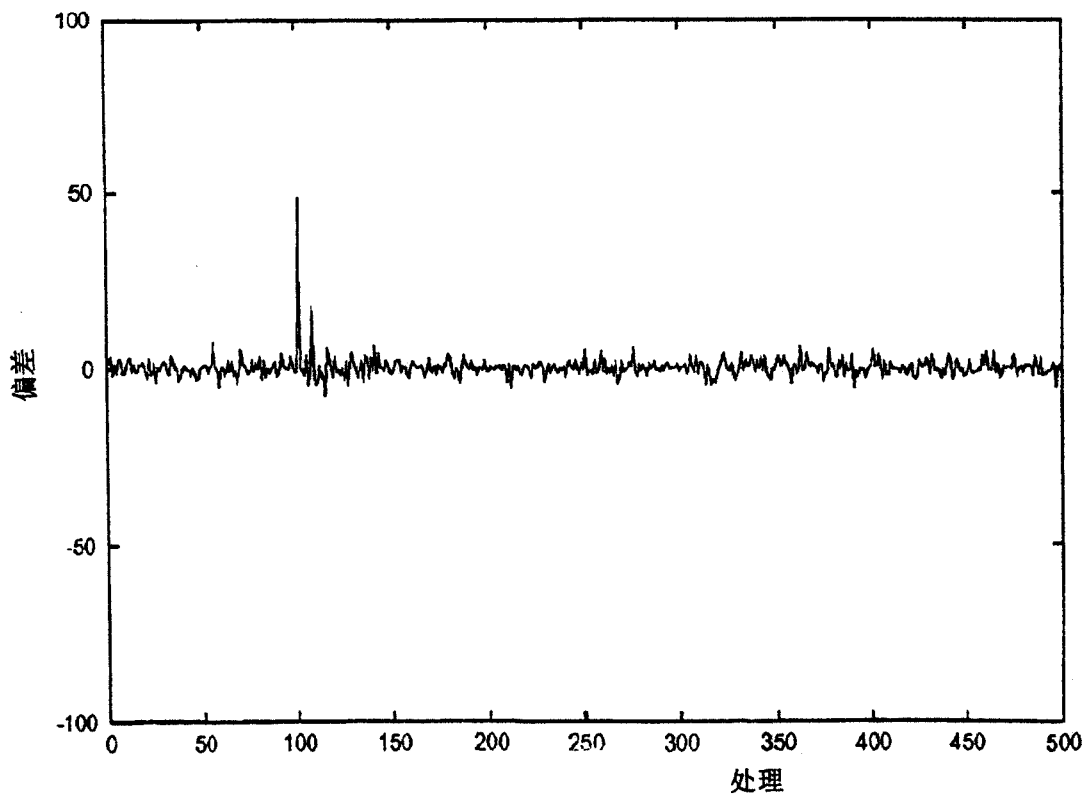


图 18

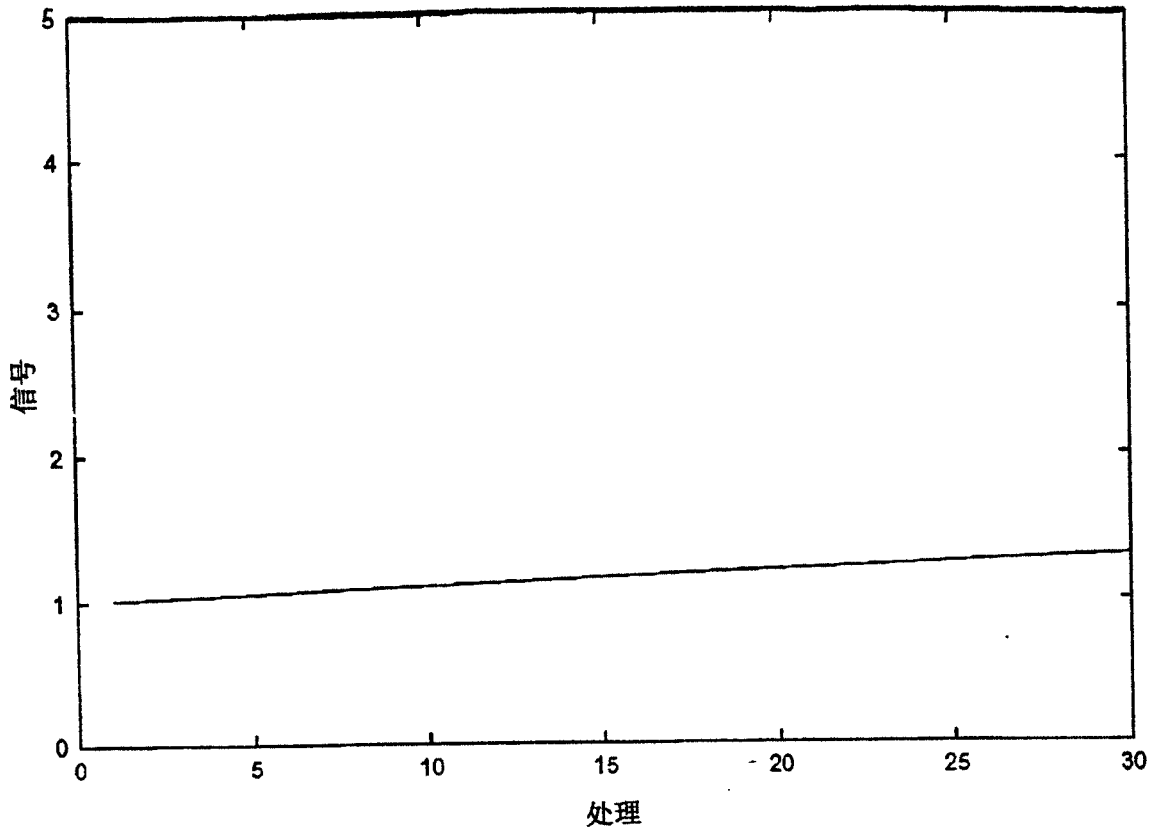


图 19

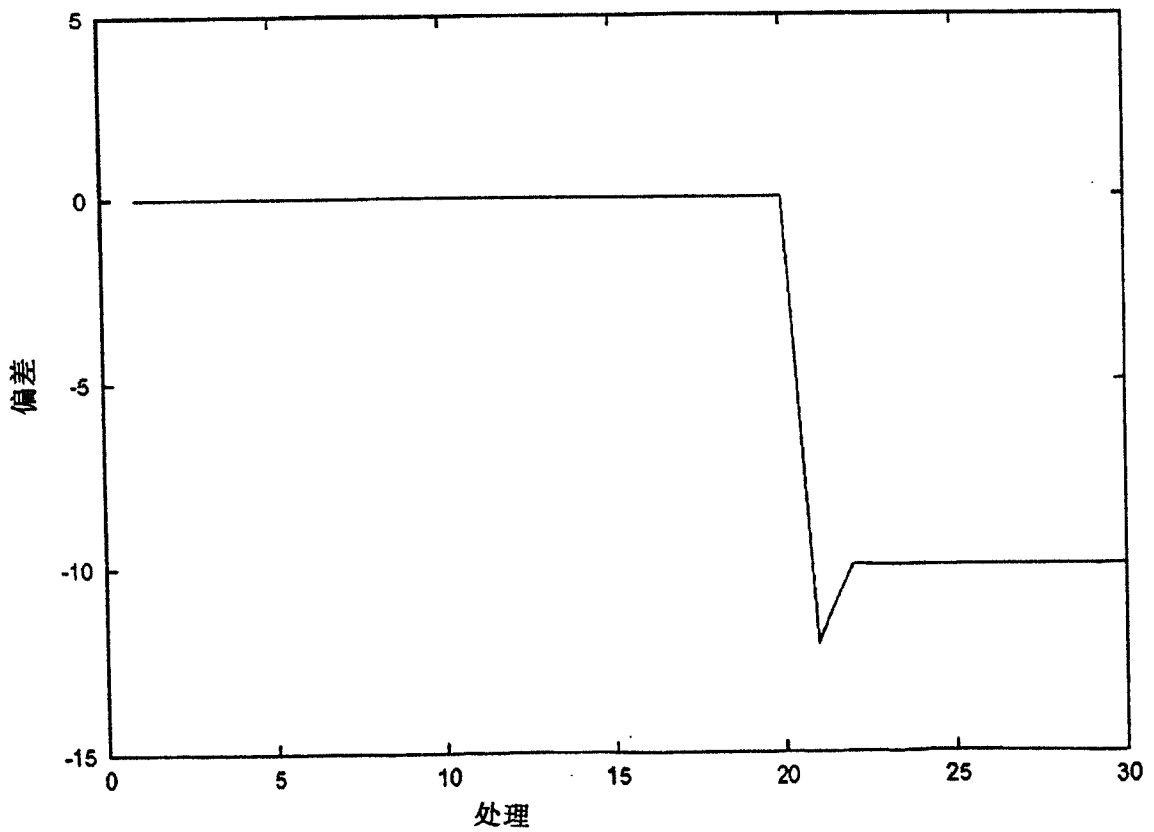


图 20

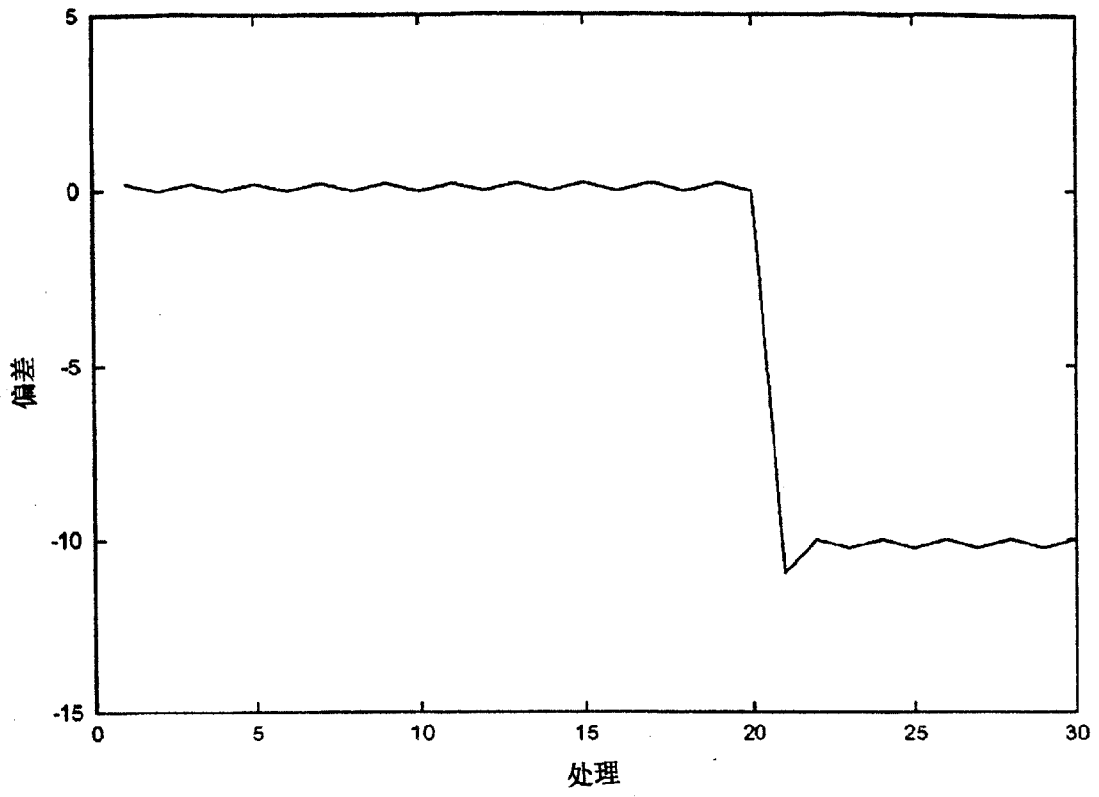


图 21

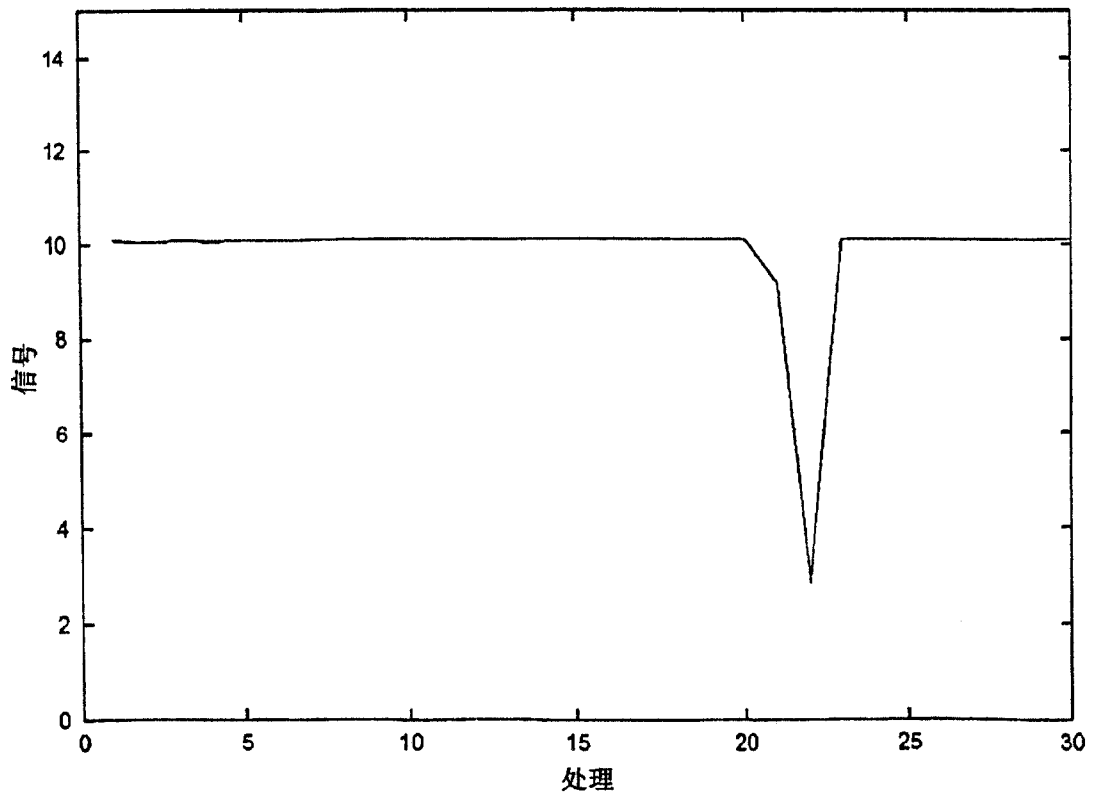


图 22

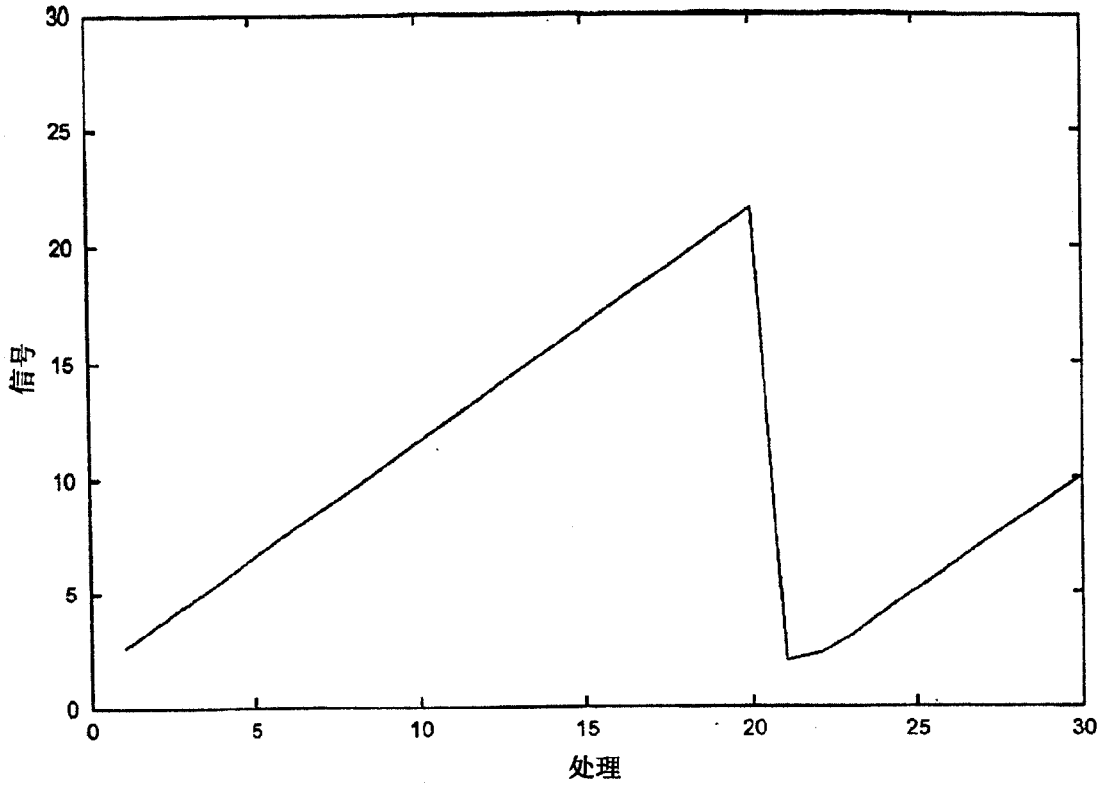


图 23

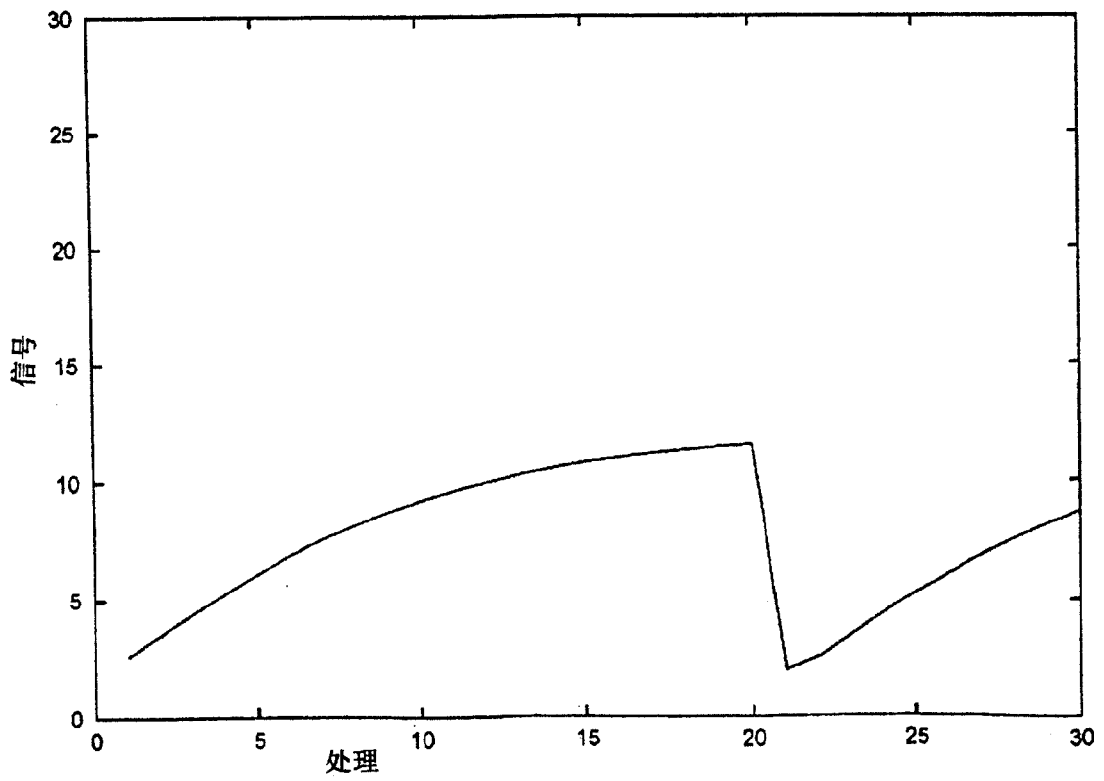


图 24

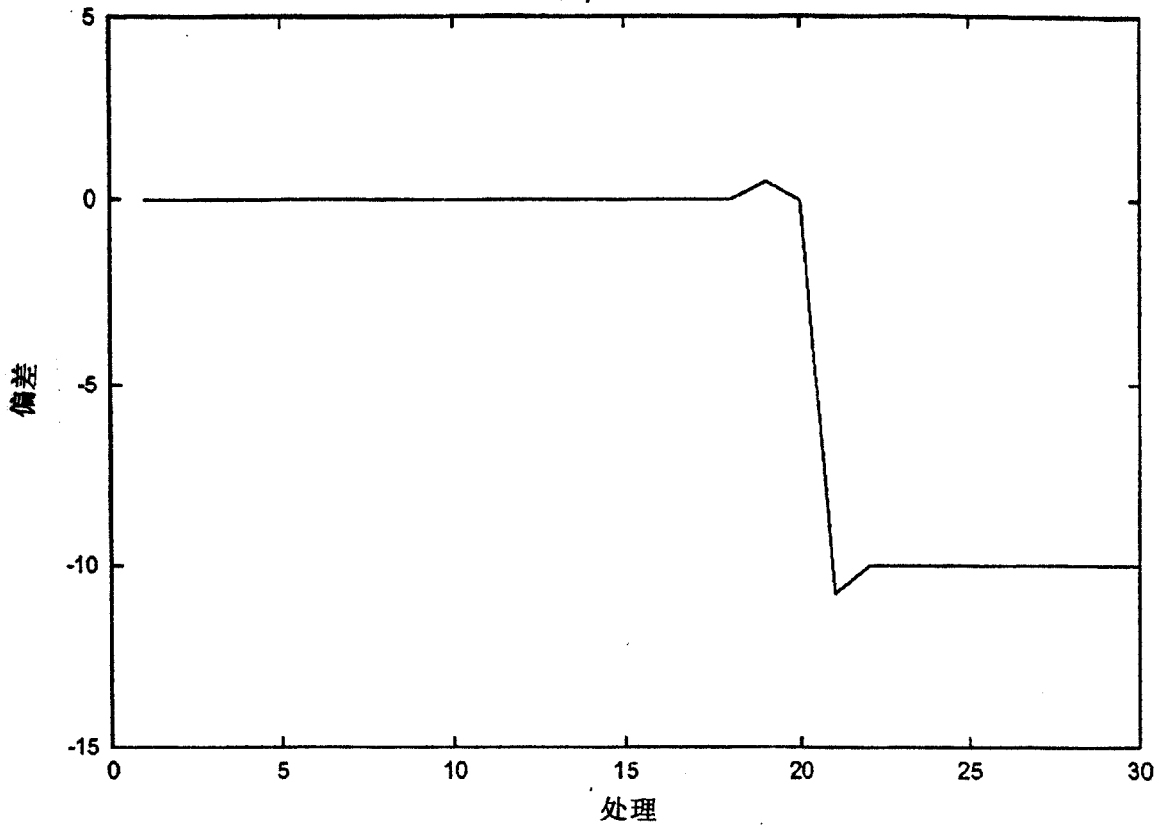


图 25

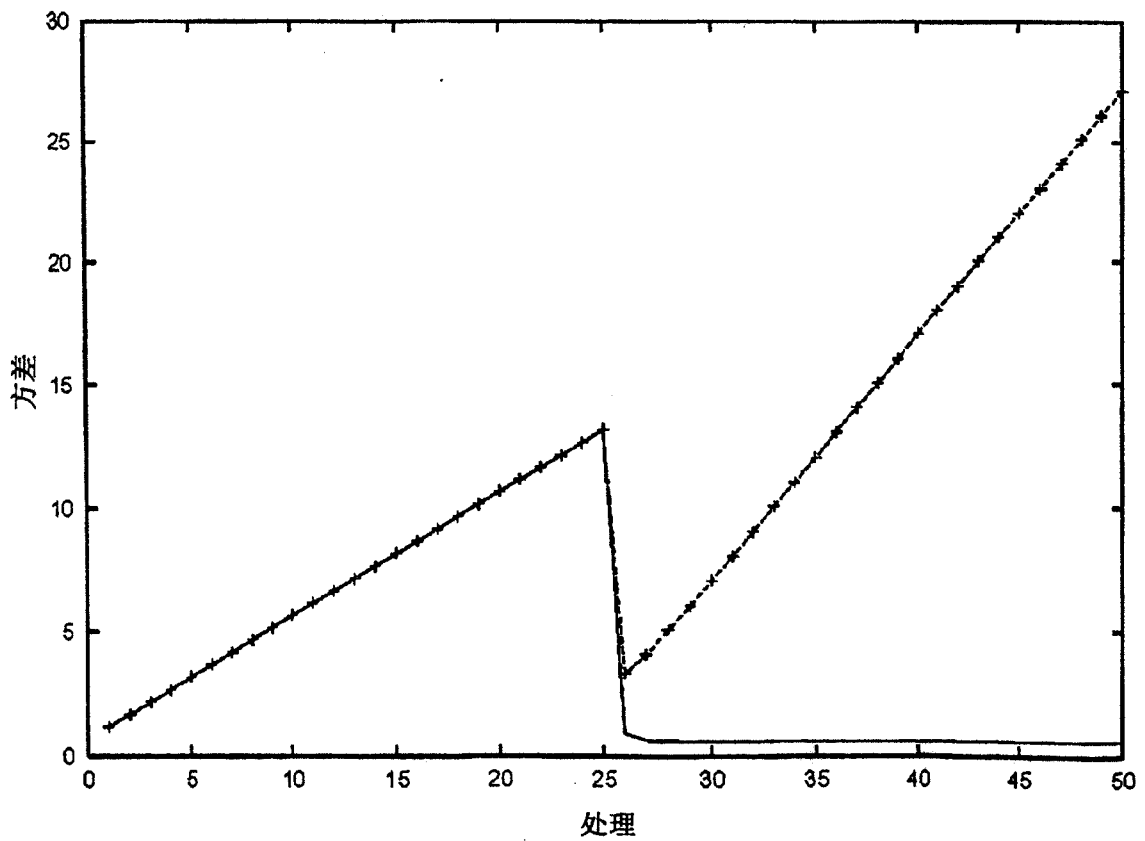


图 26

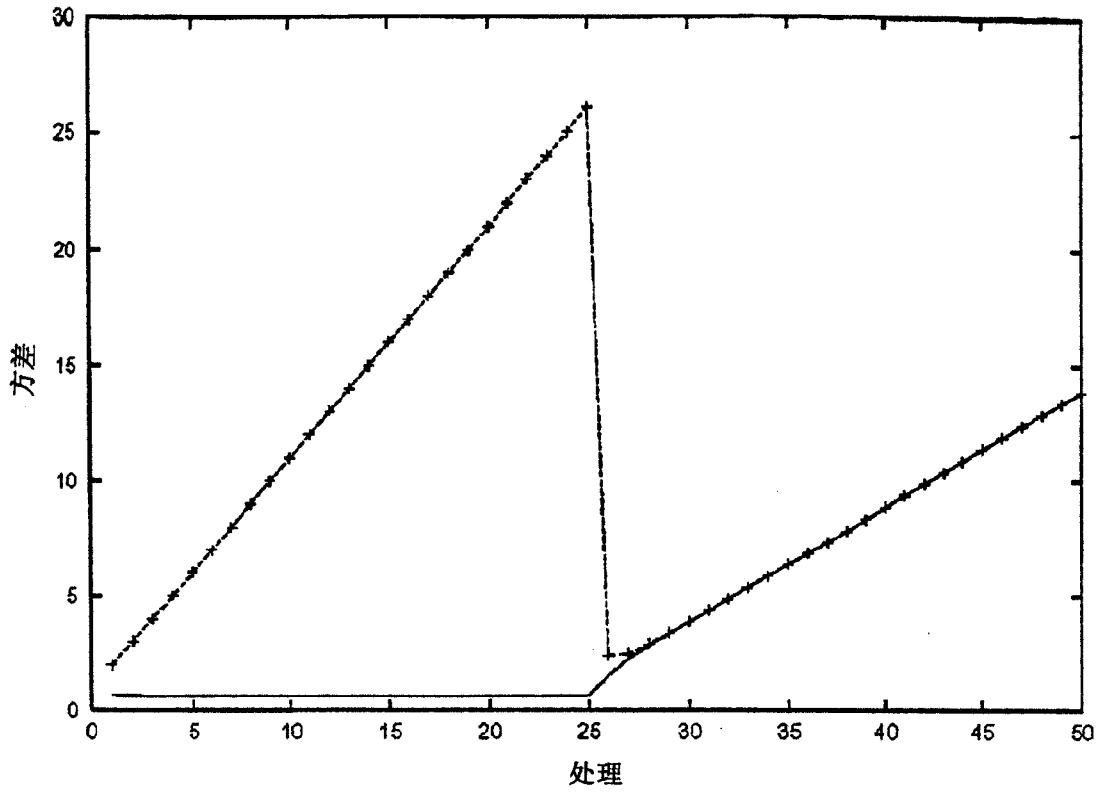


图 27

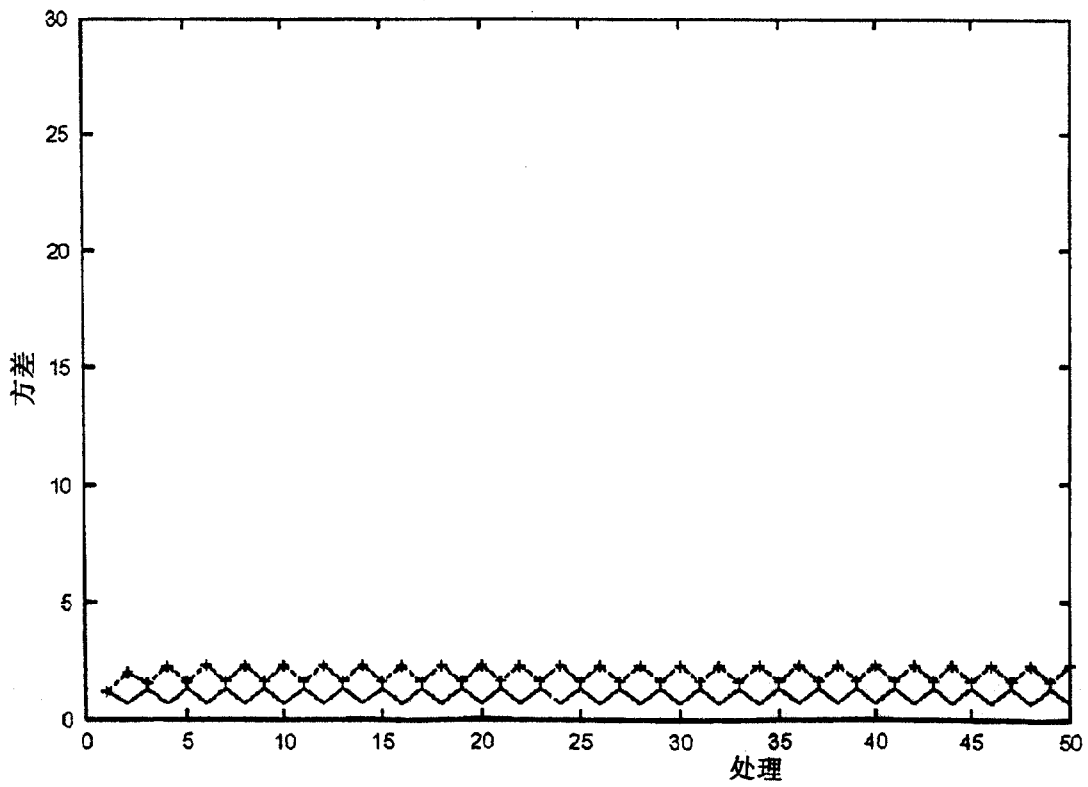


图28

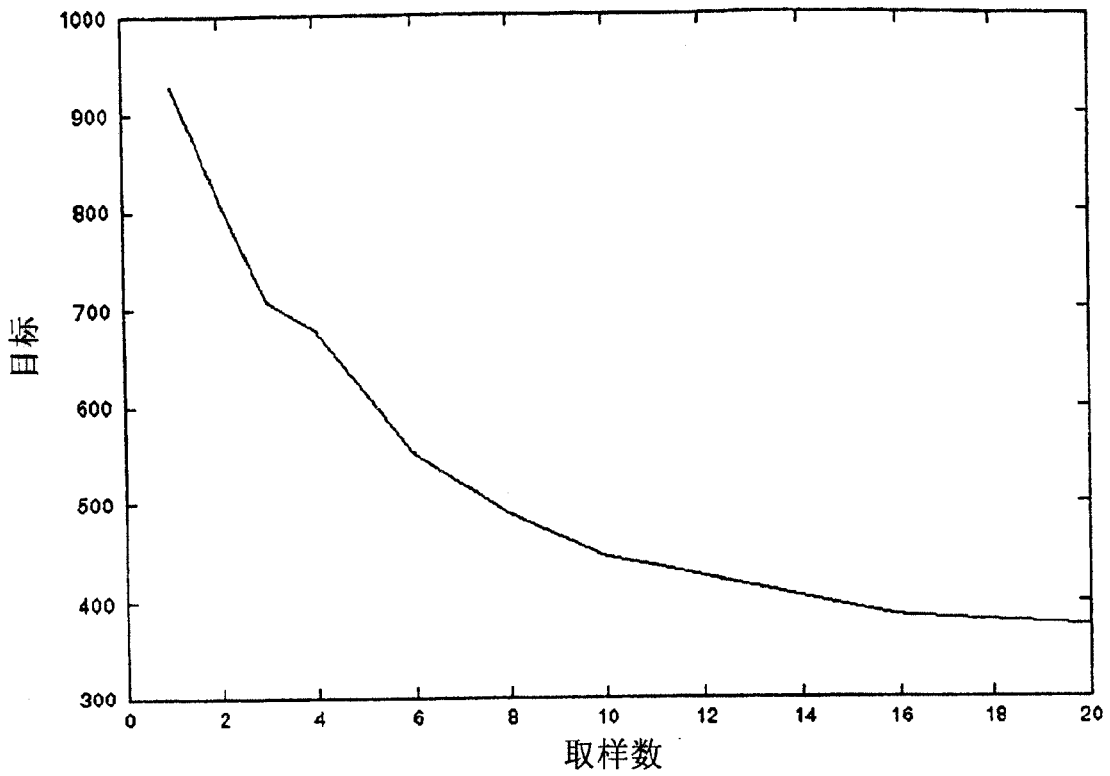
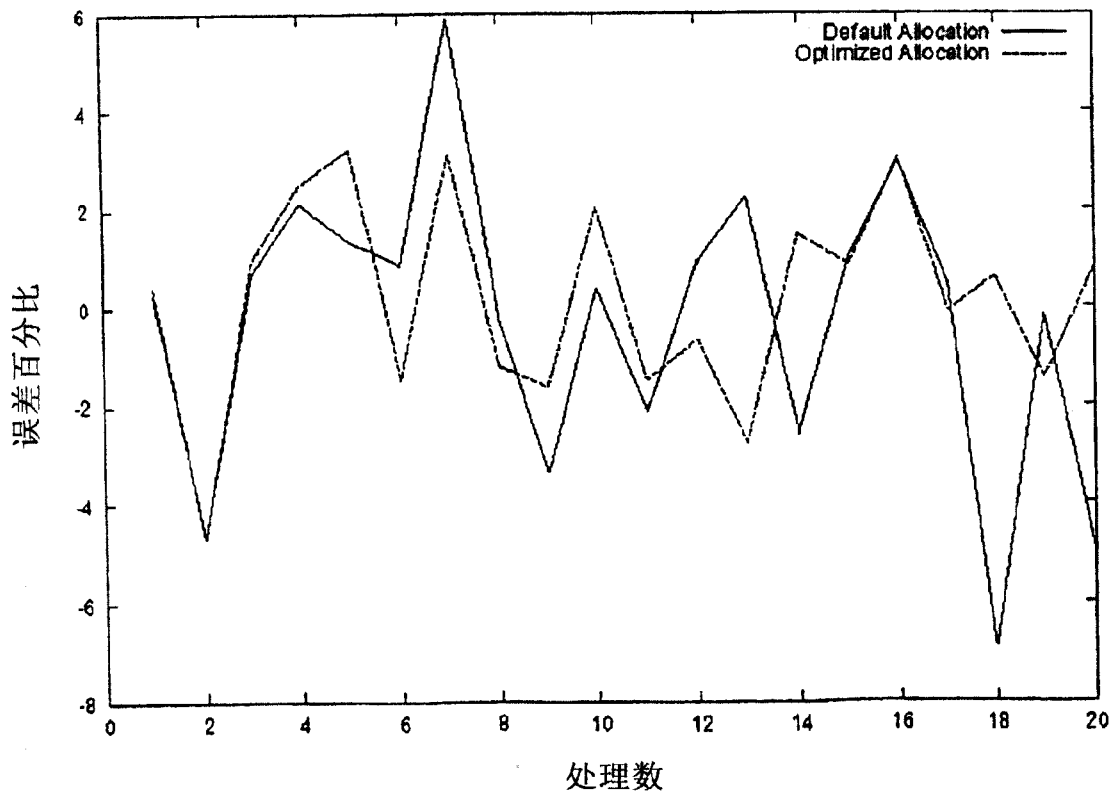


图29



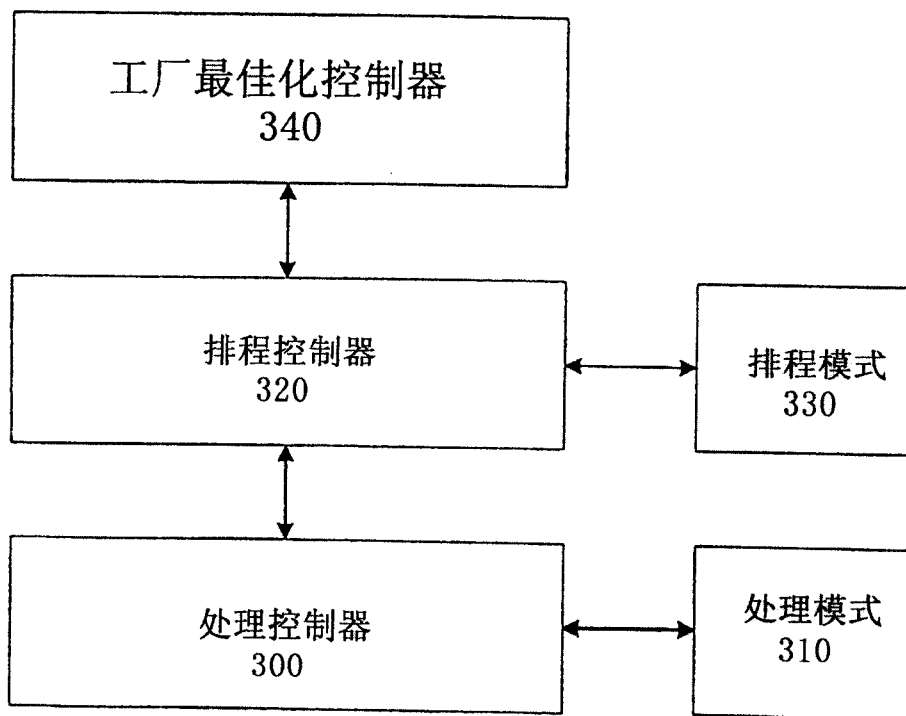


图30

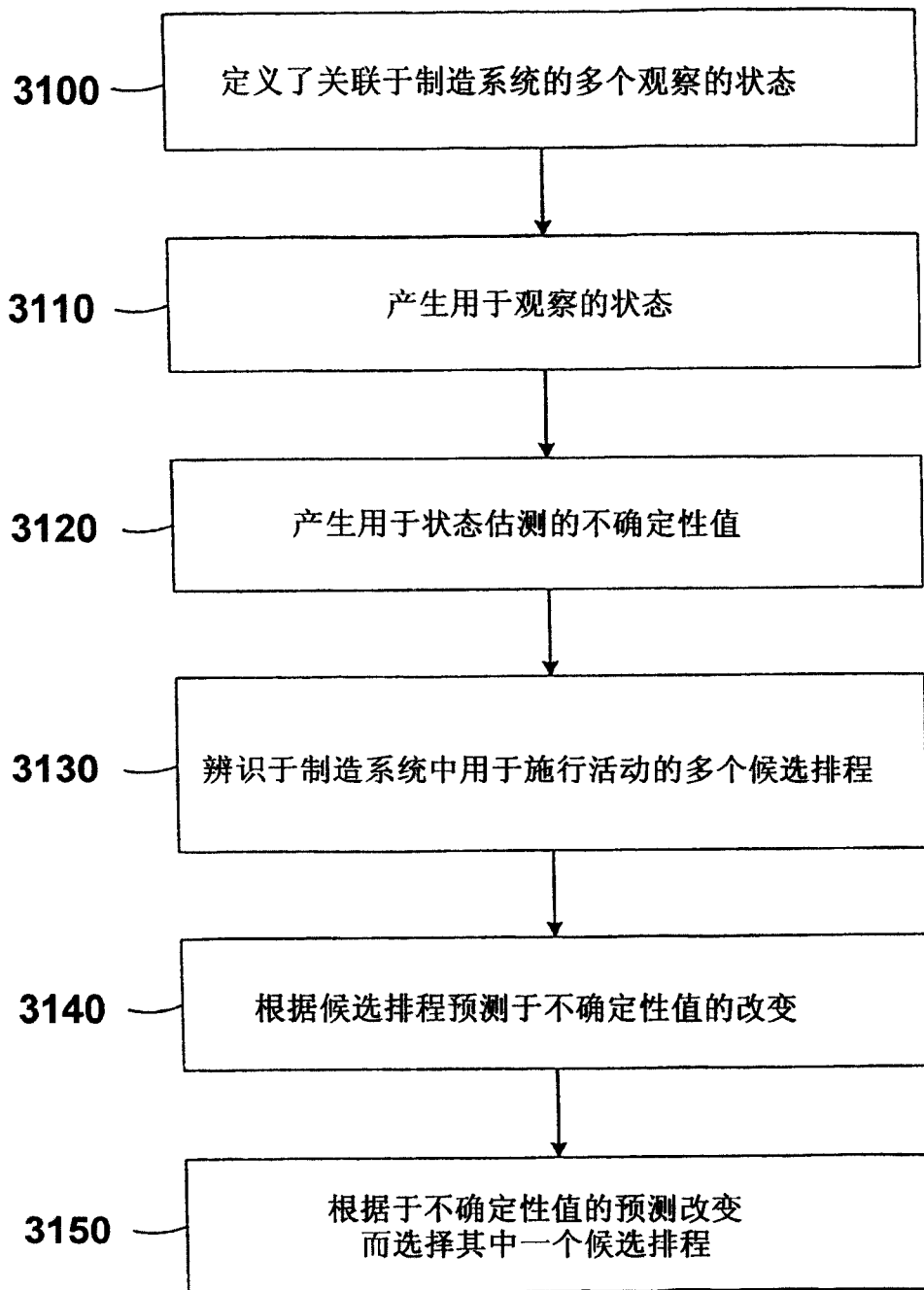


图31