



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1940781 B

(45) 授权公告日 2012. 09. 26

(21) 申请号 200610131751. 2

(22) 申请日 2006. 09. 30

(30) 优先权数据

11/241, 157 2005. 09. 30 US

(73) 专利权人 费舍 - 柔斯芒特系统股份有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 特瑞思 · L · 贝利文斯

迈克尔 · A · 邦德瑞

格雷戈里 · K · 麦克米伦

(74) 专利代理机构 北京德琦知识产权代理有限公司 11018

代理人 周艳玲 宋志强

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006. 01)

G05B 17/02 (2006. 01)

审查员 马燕

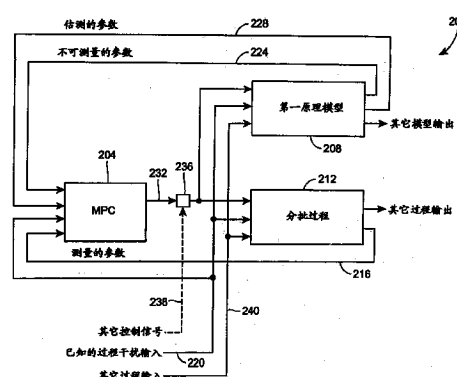
权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 10 页

(54) 发明名称

用于控制分批过程的方法和系统

(57) 摘要

第一原理模型可以用于仿真分批过程, 而且第一原理模型可用于配置用于控制分批过程的多输入 / 多输出控制例程序。第一原理模型可产生在实际分批过程操作期间无法测量或没有测量的分批参数的估计值。这种参数的例子可以是分批过程的组分变化率 (例如, 产率、细胞增长率等)。第一原理模型和所配置的多输入 / 多输出控制例程序可用于使分批过程的控制更方便。



1. 一种用于控制分批过程的方法,包括:

利用第一原理模型生成分批过程的不可测量的实时参数的估计值,所述第一原理模型接收过程干扰输入;

将所述估计值和所述过程干扰输入提供给用于控制分批过程的过程控制例行程序;

利用所述过程控制例行程序,基于所述估计值生成信号,以控制所述分批过程;以及

基于所述第一原理模型的输出与所述分批过程的测量值的比较结果,利用控制例行程序更新所述第一原理模型的至少一个参数。

2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

利用所述第一原理模型,生成分批过程附加的不可测量的实时参数的一个或更多个附加的估计值;

将所述一个或更多个附加的估计值提供给所述过程控制例行程序;

其中,所述生成信号以控制所述分批过程的步骤包括:利用所述过程控制例行程序,基于所述估计值和所述一个或更多个附加的估计值,生成所述信号。

3. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:

向所述过程控制例行程序提供一个或更多个所测量的分批过程参数;

其中,所述生成信号以控制所述分批过程的步骤包括:利用所述过程控制例行程序,基于所述估计值和所述一个或更多个所测量的分批过程参数,生成所述信号。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述过程控制例行程序包括多输入和多输出控制例行程序。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述过程控制例行程序包括模型预测控制例行程序。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述生成不可测量的实时参数的估计值的步骤包括:生成所述分批过程的组分变化率的估计值。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述生成信号以控制所述分批过程的步骤至少包括以下步骤之一:

生成信号以控制与所述分批过程相关的暂停时间;

生成信号以控制与所述分批过程相关的参数变化率;或

生成信号以控制与所述分批过程相关的分批周期。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述生成信号以控制分批过程的步骤包括:生成由另一过程控制例行程序使用的设定点;

所述方法进一步包括:向所述附加的过程控制例行程序提供该设定点。

9. 一种用于控制分批过程的系统,包括:

被配置为接收过程干扰输入和生成至少一个估计值的第一原理模型,其中所述至少一个估计值对应于分批过程的至少一个不可测量的实时参数;

与所述第一原理模型通信连接以接收所述至少一个估计值的第一多输入和多输出控制例行程序,该第一多输入和多输出控制例行程序被配置为接收所述过程干扰输入和基于所述至少一个估计值生成用于控制所述分批过程的控制信号;以及

被配置为接收所述过程干扰输入和与所述第一原理模型通信连接的第二多输入和多输出控制例行程序,基于所述第一原理模型的输出与所述分批过程的测量值的比较结果,

来更新所述第一原理模型的参数。

10. 根据权利要求 9 所述的系统,其中,所述第一多输入和多输出控制例行程序包括模型预测控制例行程序。

11. 根据权利要求 9 所述的系统,其中,所述第一多输入和多输出控制例行程序被通信连接,以接收所述分批过程的至少一个所测量的参数,所述第一多输入和多输出控制例行程序被配置为,基于所述至少一个估计值和所述至少一个所测量的参数,生成用于控制所述分批过程的所述控制信号。

12. 根据权利要求 9 所述的系统,其中,由所述第一多输入和多输出控制例行程序生成的所述控制信号与所述第一原理模型的输入端通信连接。

13. 根据权利要求 9 所述的系统,进一步包括与所述第一原理模型通信连接的第三多输入和多输出控制例行程序,以接收所述至少一个估计值,该第三多输入和多输出控制例行程序被配置为,基于所述至少一个估计值,生成用于控制所述分批过程的控制信号,其中,由所述第三多输入和多输出控制例行程序生成的控制信号与所述第一原理模型的输入端通信连接。

用于控制分批过程的方法和系统

技术领域

[0001] 本发明总地涉及过程控制系统,具体涉及用于对分批过程进行控制和 / 或建模的系统。

背景技术

[0002] 诸如化学、石油或其它工业中所使用的过程控制系统,例如分布式或可扩展的过程控制系统,一般包括一个或多个过程控制器,过程控制器经由模拟、数字或模拟 / 数字混合总线与至少一个主机或操作员工作站以及一个或多个现场设备通信连接。现场设备可以例如是阀、阀门定位器、开关、传感器(例如温度、压力和流量传感器)等,它们在过程中执行诸如开启或关闭阀以及测量过程参数等功能。过程控制器接收表示由现场设备产生的过程测量值的信号,和 / 或关于现场设备的其它信息,利用这些信息执行控制例行程序,并随后产生通过总线发送到现场设备以控制过程操作的控制信号。来自现场设备和控制器的信息典型地用于由操作员工作站执行的一个或多个应用程序中,以使操作员执行与过程相关的任何期望功能,例如查看过程的当前状态、修正过程操作等。

[0003] 过去,传统的现场设备用于经由模拟总线或模拟线路向过程控制器发送模拟信号(例如 4-20 毫安),并从过程控制器接收模拟信号(例如 4-20 毫安)。因为这些 4-20 毫安的信号表示由设备所作的测量值或表示控制器所产生的需要控制设备操作的控制信号,所以它们实际上是有局限的。然而,在过去的大约十年中,包括微处理器和存储器的智能现场设备已经普遍用于过程控制行业。除了在过程中发挥的主要功能以外,智能现场设备还存储属于设备的数据,以数字或数字和模拟混合的形式与控制器和 / 或其它设备通信,并执行例如自校准,识别,诊断等次要任务。已经开发出很多标准且开放的智能设备通信协议,例如 HART[®]、PROFIBUS[®]、WORLDVIEW[®]、DeviceNet[®] 和 CAN 协议,使得不同制造商制造的智能现场设备可以在同一个过程控制网络内一起使用。此外,由现场总线基金会(Fieldbus Foundation)发布的全数字、双线总线协议,称为 FOUNDATION[™] 现场总线(下文称“Fieldbus”)协议,其使用位于不同现场设备的功能块,执行之前已在集中控制器内执行了的控制操作。在这种情况下,Fieldbus 现场设备能够存储和运行一个或多个功能块,每个功能块都会从其它功能块(或者在同一设备内或者在不同设备内)接收输入,和 / 或向其它功能块提供输出,并执行一些过程控制操作,例如测量或检测过程参数,控制设备或执行控制操作,例如执行比例 - 积分 - 微分(PID)控制例行程序。过程控制系统内的不同功能块设置为彼此通信(例如通过总线),以形成一个或更多的控制回路,其各自的操作遍及整个过程,并因此分散开。

[0004] 无论如何,过程控制器(或现场设备)通常被编程为,针对限定在或包含在过程中的每个不同回路,运行不同的算法、子程序或控制回路(它们都是控制例行程序),例如流量控制回路、温度控制回路、压力控制回路等。一般来说,每个这样的控制回路都包括诸如模拟输入(AI)功能块的一个或多个输入块,诸如 PID 或模糊逻辑控制功能块的单输出控制块,以及诸如模拟输出(AO)功能块的单输出块。这些控制回路通常执行单输入 / 单输出控

制,因为控制块创建了用于控制单过程输入的单输出,例如阀门位置等。然而,在某些情况下,使用多个独立操作的单输入 / 单输出控制回路不是非常有效,因为被控过程变量或过程输出被不只一个过程输入所影响,实际上,每个过程输入都可以影响许多过程输出的状态。这样的实例有可能发生在例如这样的过程中:用两个输入管道填充一个储罐,并由一个输出管道将该储罐抽空,每个管道被不同的阀门控制,且在该过程中储罐的温度、压力和吞吐量都被控制为达到或接近期望值。如上所述,储罐吞吐量、温度和压力的控制可以用单独的吞吐量控制回路、单独的温度控制回路和单独的压力控制回路来执行。然而,在这种情况下,改变一个输入阀门的设置来控制储罐内温度的温度控制回路的操作,可能导致储罐内的压力的增加,这例如又会导致压力回路打开输出阀门以降低压力。这种动作随后可能导致吞吐量控制回路关闭其中一个输入阀门,由此影响温度并导致温度控制回路进行其它的动作。诚如对该例子的理解,单输入 / 单输出控制回路可能导致过程输出(在该例子中是吞吐量、温度和压力)振荡,而永远不会达到稳定的状态条件,这种情况是不希望看到的。

[0005] 在过去已经将模型预测控制(MPC)或其它类型的先进控制用于在这种类型的情况下执行控制。一般来说,模型预测控制是多输入 / 多输出控制策略,其中改变每个过程输入对每个过程输出的影响都会被测量到,而且这些被测的响应随后被用于产生该过程的典型线性模型。该过程的线性模型被数学转换,并随后用作多输入 / 多输出控制器,以根据对过程输入作出的改变来控制过程输出。在一些情况下,过程模型包括对应每个过程输入的过程输出响应曲线,而且这些曲线可以基于一系列的、例如传送到每个过程输入的伪随机阶跃变化来创建。这些响应曲线可用于以已知的方式对过程建模。模拟预测控制是公知技术,因此其具体细节这里不再描述。然而,模拟预测控制总地记述于 Qin, S. Joe 和 Thomas A. Badgwell 在 1996 年的美国化学工程师协会(AIChE)的会议上所发表的“工业模型预测控制技术综述(An Overview of Industrial Model Predictive Control Technology)”中。此外,美国专利 No. 6, 445, 963 所公开的内容也合并于此作为参考,其公开了一种将模型预测控制块与过程控制系统整合以用于控制过程的方法。

[0006] 通常可以将过程分成三类:连续过程、半连续过程和分批过程。连续过程以连续的速率操作原料或馈送元件,以在输出端产生连续的产品流。连续过程的例子包括炼油过程、维生素 C 生产过程和某些大量生产型化学品的制造过程。在连续过程中,诸如温度、压力、流速等过程变量值,通常在任何位置都随着时间的推移而保持不变。

[0007] 分批过程成组地操作有限数量的原料或馈送元件,而且分批过程迫使这些馈送元件随时间经过一系列的工序,在工序完成时出产产品。通常,在操作工序中,没有新的馈送元件引入分批过程。分批过程的例子包括啤酒生产、一些药品生产和许多特殊化学品的生产。在分批过程中,诸如温度、压力、流速等过程变量值,通常在一个或多个位置随时间的推移而变化。

[0008] 半连续过程是其中带有分批过程组成部分的连续过程。典型地,半连续过程对连续供给的原料操作以产生连续的产品流,但是,例如,在过程中的某处,有一套混合器将已经处理了有限时间的有限数量的材料进行混合。

[0009] 对于分批过程(以及半连续过程的分批过程组成部分)来说,过程的相关变量在过程操作期间经常无法被测量,或者在允许测量值来调整过程的足够短的时间内不可测量。例如,在生产过程中为了测量容器内产生的青霉素浓度,从容器中取出样本然后送到实

实验室分析。实验室的分析结果可能在样本取出后一段时间内都无法使用,甚至到分批过程完成时也不能使用。因而,这样的测量对于在生产过程期间进行调整,例如,以增加分批过程产量,提高分批过程完成速度等方面是无用的。同样,这样的测量也不能足够及时地因质量差而提前结束过程,或延长分批过程以提高产量等。

[0010] 在一个典型的操作分批过程的方法中,操作员可以记录下在成功的分批过程期间发生的过程条件。然后,在随后的分批过程中,操作员可以设法将分批过程的条件精确地保持与已知的成功分批过程条件接近。在这种方法中,假定如果分批过程的条件被保持接近已知的成功分批过程条件,则最终的分批过程状态应该接近于已知的成功分批过程状态。然而,其它未测量的条件或不能精确控制的条件可能会影响最终的分批过程状态。因此,即使可以精确地保持许多分批过程条件,那么分批过程的最终结果仍然会与已知的成功分批过程结果有所不同。

[0011] 数学方程式(也就是参数模型)可以发展成用于估计过程的反应速率,其中该方程式是已测量的过程条件的函数。然而,这种将许多过程条件考虑在内的方程式的开发常常是极其困难的。通常,所开发的方程式可以通过制造各种假设条件进行简化,因此导致方程式仅仅能提供对反应速率的粗略近似。相应地,基于这种方程式的任何对分批过程当前状态的估计,都仅能提供对分批过程当前状态的粗略近似。此外,与分批过程相关的设备条件以及其它条件可能会随着时间的推移发生变化。因此,由方程式所产生的估计随着时间的推移会更加不准确。

发明内容

[0012] 第一原理模型可用于仿真分批过程,而且第一原理模型可用于配置用于控制分批过程的多输入/多输出控制例行程序。第一原理模型可以产生在操作实际分批过程期间无法测量或没有测量的分批参数的估计值。这种参数的例子可以是分批过程的组分变化率(例如产率、细胞增长率等)。第一原理模型和所配置的多输入/多输出控制例行程序可以用于使分批过程的控制容易。

[0013] 例如,第一原理模型和所配置的多输入/多输出控制例行程序可用于仿真分批过程的控制。这有助于开发用于控制实际分批过程的控制策略,开发用于检测与分批过程有关的异常情况的策略等。另外,第一原理模型可以在实际分批过程的控制期间使用。例如,在实际分批过程的操作期间无法测量或没有测量的分批参数的估计值,可以用于控制分批过程、预测结束时间、预测成品收率等。

附图说明

[0014] 图1为示例性过程控制系统的方框图;

[0015] 图2为与分批过程的第一原理模型连接的模型预测控制块的方框图;

[0016] 图3为与分批过程的第一原理模型连接的模型预测控制块的示例性操作方法流程图;

[0017] 图4为用于控制分批过程的示例性系统的方框图;

[0018] 图5为用于控制分批过程的示例性方法的流程图;

[0019] 图6为用于控制分批过程的另一示例性方法的流程图;

- [0020] 图 7 为用于控制分批过程的另一示例性系统的方框图；
- [0021] 图 8 为用于控制分批过程的再一示例性系统的方框图；
- [0022] 图 9 为用于更新分批过程的第一原理模型的示例性方法流程图；以及
- [0023] 图 10 为用于生产青霉素的示例性分批过程系统的方框图。

具体实施方式

[0024] 参见图 1, 过程控制系统 10 包括过程控制器 12, 其经由通信网络 18 与数据历史记录器 14 以及一个或多个主机工作站或计算机 16 (其可以是任何类型的个人计算机、工作站等, 每个都具有显示器 17) 连接。控制器 12 也经由输入 / 输出 (I/O) 卡 28 和 29 与现场设备 20-27 连接。通信网络 18, 例如, 可以是以以太网通信网络或任何其它合适的或期望的通信网络, 数据历史记录器 14 可以是任何期望类型的数据采集单元, 其具有任何期望类型的存储器及任何期望的或已知的软件、硬件或固件, 以存储数据。举例来说, 控制器 12 可以是费舍 - 柔斯芒特系统股份有限公司销售的 DeltaV™ 控制器, 其与现场设备 20-27 通信连接, 该现场设备例如使用与标准的 4-20 毫安设备和 / 或任何智能通信协议 (例如 Fieldbus 协议, HART 协议等) 相关的任何期望的硬件和软件。

[0025] 现场设备 20-27 可以是任何类型的设备, 例如传感器、阀门、变送器、定位装置等, I/O 卡 28 和 29 可以是符合任何期望的通信或控制协议的任何类型的 I/O 设备。在如图 1 所示的实施例中, 现场设备 20-23 是经模拟线路与 I/O 卡 28 通信的标准的 4-20 毫安设备, 或者是经混合模拟和数字线路与 I/O 卡 28 通信的 HART 设备, 而现场设备 24-27 是智能设备, 例如 Fieldbus 现场设备, 其利用 Fieldbus 通信协议经由数据总线与 I/O 卡 29 通信。一般来说, Fieldbus 协议是全数字串行双向通信协议, 其为与现场设备交互连接的双线回路或总线提供标准化的物理接口。实际上, Fieldbus 协议为过程中的现场设备提供局域网络, 使得这些现场设备能够在分布于整个过程工厂的各位置上执行过程控制功能 (使用根据 Fieldbus 协议定义的功能块), 并能够在执行这些过程控制功能之前和之后彼此通信, 以实现全部的控制策略。当然, 现场设备 20-27 应与任何其它期望的标准或协议相符合, 包括日后开发的任何标准或协议。

[0026] 控制器 12 包括处理器 12a, 处理器 12a 实现或执行存储于计算机可读存储器 12b 上或与计算机可读存储器 12b 相关的一个或多个控制例行程序 (其可以包括控制回路), 并与设备 20-27、主机 16 和数据历史记录器 14 通信, 以便以任何期望的方式控制过程。应该注意, 如有需要, 此处所述的任何控制例行程序或元件可以是被诸如一个或多个现场设备 24-27 之类的不同控制器或其它设备中的处理器实现或执行的部分。同样地, 此处所述的要在过程控制系统 10 中实现的控制例行程序或元件可以采用任何形式, 包括软件、固件、硬件等。过程控制元件可以是过程控制系统的任何部分或部件, 例如包括存储在任何计算机可读介质上的例行程序、功能块或模块。控制例行程序可以是模块或控制程序的任何部分, 例如子程序、部分子程序 (如代码行) 等; 控制例行程序可以以任何期望的软件形式实现, 例如利用梯形逻辑、顺序功能图、功能块图或任何其它的软件编程语言或设计范例加以实现。同样地, 控制例行程序可以硬件编码到例如一个或多个 EPROM、EEPROM、特定用途集成电路 (ASIC), 或任何其它硬件或固件元件中。更进一步地, 控制例行程序可以利用任何设计工具来设计, 设计工具包括图形设计工具, 或任何其它类型的软件 / 硬件 / 固件编程工

具或设计工具。因此,应该理解控制器 12 可以配置为能以任何期望的方式实现控制策略或控制例行程序。

[0027] 在一实施例中,控制器 12 使用通常所说的功能块实现控制策略,其中每个功能块是整个控制例行程序的一部分(例如子程序),并且结合其它控制功能块进行操作(经由称为链接的通信方式),以在过程控制系统 10 中实现过程控制回路。功能块通常执行输入功能、控制功能或输出功能中的一个,以在过程控制系统 10 中执行一些物理功能,其中,输入功能例如与变送器、传感器或其它过程参数测量设备相关;控制功能例如与执行 PID、模糊逻辑等控制的控制例行程序相关;输出功能是例如控制诸如阀门之类的某些设备的操作的功能。当然,存在混合及其它类型的功能块。功能块可以存储于控制器 12 中并被其执行,此时典型的情况是这些功能块被用于或相关于 4-20 毫安设备及一些类型的智能现场设备,例如 HART 设备;或者功能块可以被存储在现场设备中并由现场设备本身执行,这时的情况可以是现场设备为 Fieldbus 设备。虽然此处采用功能块控制策略来对控制系统进行描述,但是控制策略或控制回路或模块也可以用其它规范实现或设计,例如梯形逻辑、顺序功能图等,或者使用任何其它期望的编程语言或范例。

[0028] 一个或更多个控制器 12 可以存储并执行控制器应用程序 30,应用程序 30 采用多个不同且独立执行的控制模块 32 来实现控制策略。每个控制模块 32 都可以包括与其它功能块协同操作(经由称为链接的通信方式)以在过程控制系统 10 中实现过程控制回路的功能块。然而,控制模块 32 可以采用任何期望的控制编程方案来设计,例如包括顺序功能块、梯形逻辑等。

[0029] 如图 1 中被分解的块 34 所示,控制器 12 可以包括多个单回路控制例行程序,例如例行程序 36 和 38,并且如果需要,可以实现一个或更多的先进控制回路,例如控制回路 40。每个这样的回路都可以是一个控制模块。如图所示,单回路控制例行程序 36 和 38 利用分别连接到适当的模拟输入(AI)和模拟输出(AO)功能块的单输入/单输出模糊逻辑控制块和单输入/单输出 PID 控制块,执行单回路控制,控制例行程序 36 和 38 可以与诸如阀门之类的过程控制设备、与诸如温度和压力变送器之类的测量设备或与过程控制系统 10 中的任何其它设备相关联。如图所示,先进控制回路 40 包括先进控制系统 42,该控制系统具有与许多 AI 功能块通信连接的输入端以及与许多 AO 功能块通信连接的输出端,尽管先进控制系统 42 的输入端和输出端可以与任何期望的功能块或控制元件连接,以接收其它类型的输入并提供其它类型的输出。如此处更详细描述,适于对非线性输入/输出特性的过程进行控制的先进控制系统 42,通常包括任何类型的多输入/多输出控制例行程序(通常用于通过向两个或更多个过程输入提供控制信号来控制两个或更多个过程输出),以及被开发为可精确地对过程的非线性特性进行建模的一个或更多的非线性或先进过程模块。因而,虽然先进控制系统 42 在此描述为采用模型预测控制(MPC)块,然而先进控制系统 42 可以以不同的实现方式并入或使用任何其它的多输入/多输出块,例如神经网络控制块、多变量模糊逻辑控制块、实时优化块等。

[0030] 应该理解,如图 1 所示的功能块,包括可以作为一个或多个交互连接功能块来执行的先进控制系统 42,其可由控制器 12 执行。例如,功能块可由控制器应用程序 30 执行。另外地或可选择地,功能块可以位于任何其它处理设备中,并被其执行,其它处理设备例如工作站 16 中的一个或甚至现场设备 24-27 中的一个。

[0031] 一个或更多的工作站 16, 可以存储并执行配置应用程序 50, 配置应用程序 50 用于创建或改变过程控制模块 30, 并经由网络 18 将这些控制模块下载到控制器 12 之一和 / 或现场设备中, 例如现场设备 24-27 之一中。工作站 16 也可以存储并执行查看应用软件 52, 其经由网络 18 从控制器 12 接收数据并经由使用预先确定的用户界面 54 或查看器的显示机制来显示该信息, 查看应用软件 52 通常使用配置应用程序 50 来创建。在一些情况下, 查看应用程序 52 从用户处接收诸如设定点变化这样的输入, 并向一个或更多个工作站 16 和 / 或控制器 12 内的控制器应用程序 30 提供这些输入。

[0032] 加工厂 10 的配置信息可以存储在与网络 18 连接的配置数据库 60 中。配置数据库 60 执行配置数据库应用程序 62, 其存储过程控制系统的当前配置及与之相关的数据。另外地或可选择地, 配置数据库应用程序 62 可以在一个或多个工作站 16 上执行。

[0033] 一个或更多的工作站 16 也可以存储并执行其它应用程序, 如训练、测试和 / 或仿真应用程序 70。这类应用程序通常与控制器 12 及与过程控制系统的操作或设置相关的配置数据库 60 相结合, 并从中接收数据。工作站 16、控制器 12 和 / 或现场设备 24-27 内的一个或多个过程控制模块 32 可以设置为仿真模式或状态, 用以将预先确定的或操作员提供的数据提供给仿真软件 70, 以测试控制器应用程序 30 使用的控制模块 32 及查看应用程序 52 使用的用户界面 54。在一些情况下, 仿真应用程序 70 可以另外地或可选择地在控制器 12 中实现。

[0034] 可以使用配置应用程序 50 来创建、下载和 / 或实现先进控制系统 42。用于创建、下载和实现先进控制系统的技术披露于美国专利 No. 6, 445, 963 中, 该专利已转让给受让人并特别在此引用作为参考。但是, 不同于美国专利 No. 6, 445, 963 中所披露的系统, 配置应用程序 50 可以允许使用者配置先进控制系统 42, 以结合分批过程模型进行操作, 这些随后将作详细的描述。虽然配置应用程序 50 可以存储在工作站 16 中的存储器上, 并被其上的处理器执行, 但是如果需要, 这种例行程序 (或其任何部分) 可以另外地或可选择地存储在过程控制系统 10 中的任何设备中并被其执行。本领域的普通技术人员应该理解美国专利 No. 6, 445, 963 所描述的技术不是必须使用的, 而是可以使用其它适合的技术。

[0035] 如上所述, 先进控制系统 42 可以包括 MPC 块。图 2 是与分批过程的第一原理模型 108 通信连接的 MPC 块 104 的方框图。如随后将作的描述, 第一原理模型 108 可用于在使用 MPC 块 104 来控制分批过程之前, 对 MPC 块 104 进行配置。另外地或可选择地, 第一原理模型 108 可用于与 MPC 块 104 结合, 来控制分批过程。例如, 图 2 的 MPC 块 104 和第一原理模型 108 可以由仿真应用程序 70 和 / 或控制应用程序 30 实现。

[0036] MPC 块 104 是 3×3 的控制块, 具有三个输入端 IN_1 - IN_3 以及三个输出端 OUT_1 - OUT_3 , 而第一原理模型 108 对应于分批过程的一部分, 具有输入端 X_1 - X_5 以及输出端 Y_1 - Y_6 。当然, MPC 块 104 和第一原理模型 108 可以包括任何其它数量的输入端和输出端。尽管 MPC 块通常可以是方形块, 也就是具有同样数量的输入端和输出端, 但是这种配置并非必要的, 而 MPC 块 104 可以具有不同数量的输入端和输出端。如图 2 所示, 模型输出端 Y_1 - Y_3 分别与 MPC 块的输入端 IN_1 - IN_3 通信连接, 而且 MPC 块的输出端 OUT_1 - OUT_3 分别与模型输入端 X_1 - X_3 通信连接。当然, 第一原理模型 108 的任何输入端和输出端都可以与跟过程控制系统 10 相关联的其它控制例行程序、模型和 / 或仿真中的其它控制回路或其它元件相连接 (如图 2 中虚线所示连接到过程输入端和输出端的)。可选择地, 向模型 108 提供控制输入的 MPC 块 104 和

其它块（如虚线所示连接到过程输入端 X_1 - X_3 的），可以通过某种开关连接，这些开关由图 2 的盒 110 示出。开关 110 可以是硬件开关或软件开关，如果需要，也可以由具有传送到诸如 Fieldbus 功能块之类的功能块的不同输入端的不同控制输入信号提供，开关 110 可以在来自 MPC 块 104 的控制信号和来自不同功能块（如 PID 功能块）的控制信号之间，根据功能块接收两种信号的模式进行选择。

[0037] 本领域普通技术人员应该理解，图 2 中与 MPC 控制块 104 输出端连接的模型输入端 X_1 - X_3 ，可以对应于任何所需的分批过程的输入，例如包括，在已有的控制策略范围内定义的控制回路的输入，与分批过程相关的阀门或其它设备的输入等。同样，与 MPC 块 104 的输入端相连接的一个或更多个模型输出端 Y_1 - Y_3 可以对应于任何需要的分批过程的输出，例如，阀门或其它传感器的输出，AO 或 AI 功能块的输出，或其它控制元件或例行程序的输出等。此外，零个、一个或更多的模型输出端 Y_1 - Y_3 可以对应于与分批过程相关的不可测量的实时参数。不可测量的实时参数是指这样的分批过程参数：其测量值在允许使用测量值来控制当前分批过程的时间帧内实际上无法获得。实时参数不包括要花费数分钟或数小时才能确定的分批过程参数的测量值。例如，要花费数分钟或数小时才能确定结果的实验室测试就不是实时参数。此外，实时参数不包括从以前的分批过程获得并用于控制当前分批过程的分批过程参数的测量值。进一步地，例如，不可测量的实时参数不包括在实时的某个点测量的分批过程参数，而包括由于传感器错误或失效而在进行估计的测量值。不可测量的实时参数的例子包括组分的浓度、组分浓度的变化率、组分量、组分量的变化率等。典型地，在分批过程中测量这种参数需要采集样本，并对样本进行实验室分析。实验室分析可能花费数分钟或数小时。

[0038] 使用一个或多个基于物理规律的方程式，第一原理模型 108 可以生成对应于不可测量的实时参数的模型输出。例如，分批过程中的化学反应可以由符合诸如质量守恒、能量守恒原理的一个或多个方程式进行建模。

[0039] MPC 块 104 的例子包括数据采集单元 110、信号发生器 112、通用控制逻辑 114 和用于存储控制参数 116 和控制预测过程模型 118 的存储器。通用逻辑 114 可以包括，例如，通用 MPC 例行程序，其需要系数或其它控制参数才能在特定情况下执行控制。在一些情况下，通用逻辑 114 也可能需要与由 MPC 块 104 控制的过程相对应的过程模型。在训练阶段，MPC 块 104 可以采集用于创建控制预测过程模型 118 的数据。例如，当操作者指示要这样做时（或在任何其它所需的时间里），MPC 块 104 的信号发生器 112 可以在输出端 OUT_1 - OUT_3 产生一系列的波形，以便于向每一个模型输入端 X_1 - X_3 提供激励波形。如果需要，这些波形可以通过 MPC 块外部的（例如从工作站 16、控制器 12 或一些其它设备）硬件和 / 或软件向信号发生器 112 提供波形。另外地或可选择地，波形也可以由信号发生器 112 创建。这些波形可以设计为能促使第一原理模型 108 在分批过程的正常操作期间对不同范围内的所需输入进行操作。要为 MPC 控制例行程序开发控制预测过程模型 118，信号发生器 112 可以向每一个模型输入端 X_1 - X_3 发送一系列不同的脉冲组，其中每个脉冲组内的脉冲具有同样的振幅，但具有伪随机长度，且不同脉冲组内的脉冲具有不同振幅。这样一系列脉冲组可以为每个不同模型输入端 X_1 - X_3 创建，并随后每次传送一个地依次传送给每个不同模型输入端 X_1 - X_3 。在此期间，MPC 块 104 内的数据采集单元 110 可以采集表示模型输出端 Y_1 - Y_3 响应的数据，或将表示模型输出端 Y_1 - Y_3 响应的采集数据进行调整与信号发生器 12 产生的波形匹

配,并且数据采集单元 110 采集或调整属于所产生的激励波形的采集数据。这些数据可以存储在 MPC 块 104 中。另外地或可选择地,这些数据可以自动发送到用于存储的数据历史记录器 14 和 / 或发送到工作站 16,这些数据可以在其中的显示器 17 上进行显示。

[0040] 当然,信号发生器 112 产生的激励信号可以是任何期望的波形,其被开发为创建过程模型,并有助于为任何先进的控制例行程序创建控制逻辑参数。在本例中,信号发生器 112 产生任何波形组,已知这些波形组有助于为模型预测控制器开发控制预测过程模型,并且这些波形可以采用任何已知的或为该目的而在将来开发的形式。因为本领域的普通技术人员熟知为了采集数据以便为模型预测控制开发控制预测过程模型的目的而用于激活过程的波形,所以在此对这些波形不做描述。同样,可由信号发生器 112 产生任何其它或任何所需类型的波形,用于利用诸如神经网络、多变量模糊逻辑等其它控制技术,为先进控制(包括建模)单元开发过程模型。

[0041] 应当注意,信号发生器 112 可以采用任何期望的形式,并且可以,例如用硬件、软件或二者兼用来实现。如果用软件实现,则信号发生器 112 可以存储用于产生所需波形的运算法则,可以存储要产生的波形的数字表达形式,或者可以使用任何其它例行程序或已存储的数据来创建这样的波形。如果用硬件实现,信号发生器 112 可以采用诸如振荡器或方波发生器的形式。如果需要,操作者可以输入所需的特定参数来设计波形,例如与第一原理模型 108 相对应的过程近似响应时间、要传送到过程输入的波形振幅步长等。当 MPC 块 104 首次被创建时,或者当操作者指示 MPC 块 104 开始推翻或激励第一原理模型 108 并采集数据时,操作者会被提示输入这些信息。在一个实施例中,响应于每个激励波形,数据采集单元 10 在由操作者输入的响应时间的三倍或五倍时间里,对数据进行采集(或保证采集),以便保证能开发出一个完全且准确的过程模型。然而,可以在任意长的时间里对数据进行采集。例如,数据采集单元 110 可以直接从第一原理模型 108 或数据历史记录器上采集数据。

[0042] 在任何情况下,MPC 控制块 104 可以操作,直到信号发生器 112 完成向每个模型输入端 X_1 - X_3 发送所有必需的激励波形,并且数据采集单元 110 从模型输出端 Y_1 - Y_3 处采集完数据。当然,在数据采集过程期间,如果希望或必需,可以中断对 MPC 块 104 的操作。

[0043] 控制预测过程模型 118 可以包括各种模型,包括已知的模型,并且可以包括数学算法、一系列的响应曲线等。控制参数 116 可以包括一个或多个矩阵、MPC 系数等。在利用控制单元而不是 MPC 进行实现中,控制参数可以包括,例如,调谐参数、神经网络参数、多变量模糊逻辑的比例因子等。

[0044] 本领域的普通技术人员应知 MPC 控制块 104 仅仅是可以利用 MPC 的一个例子。再举一例,可以利用 MPC、外部信号发生器以及外部数据采集单元。本领域的普通技术人员应知可以采用许多不同的配置来代替 MPC 控制块 104 的例子。

[0045] 再次参见图 1, MPC 块 104 和第一原理模型 108 可以由工厂 10 中的各种计算设备来实现。例如,MPC 块 104 和第一原理模型 108 可以由一个或多个工作站 16 来实现。此外,至少部分的 MPC 块 104 和 / 或至少部分的第一原理模型 108 可以由控制器 12 和 / 或现场设备来实现。本领域的普通技术人员应知,有许多途径来实现 MPC 块 104 和第一原理模型 108 的部分。

[0046] 图 3 是结合分批过程的第一原理模型操作 MPC 的一个示例性方法 150 的流程图。

例如,方法 150 可用于对 MPC 进行配置以使其能用于控制分批过程。方法 150 可以通过将图 2 中的 MPC 块与第一原理模型 108 连接来实现。然而,本领域的普通技术人员应知,方法 150 可用各种 MPC 和第一原理模型实现。

[0047] 在框 154 处,将 MPC 的输出提供给分批过程的第一原理模型。例如,如上面对于图 2 的描述,MPC 可以在配置阶段向第一原理模型提供激励信号。作为替换,从 MPC 分离的信号发生器可以在配置阶段提供激励信号。另外地或可选择地,如下面更详细的描述,MPC 可以在操作分批过程期间向第一原理模型提供控制信号。

[0048] 在框 158 处,将第一原理模型的输出提供给 MPC。第一原理模型的输出可以包括与分批过程输出相对应的一个或更多个输出,例如包括,阀门或其它传感器的输出、AO 或 AI 功能块的输出、其它控制元件或例程序的输出等。此外,第一原理模型的输出可以包括对应于与分批过程相关的不可测量的实时参数的一个或更多个输出。可以将第一原理模型的输出直接或间接地提供给 MPC。例如,可以向 MPC 提供从数据历史记录器处取回的数据。

[0049] 在框 162 处,可以根据至少一些第一原理模型的输出产生 MPC 的控制预测过程模型。也可根据诸如功能块、控制例程序的仿真输出之类的另外信息来生成 MPC 的控制预测过程模型。进一步地,这样的另外信息可以包括从实际分批过程中获得的信息。任何一种技术,包括已知的技术,都可以用于生成 MPC 的控制预测过程模型。这样的技术可选择地包括对将数据界外值、明显的错误数据等消除的筛选程序进行执行。

[0050] 在框 166 处,可以根据至少一些第一原理模型的输出生成 MPC 控制参数。例如,可以通过转换控制预测过程模型来生成控制参数,该控制预测过程模型是根据第一原理模型的输出在框 162 处生成的。任何一种技术,包括已知技术,都可以用于生成控制参数。

[0051] 一旦生成了控制参数,则 MPC 可以用于控制分批过程和 / 或用于仿真对分批过程的控制。再次参见图 2,已配置的 MPC 块 104 和第一原理模型 108,结合仿真应用程序,可用于仿真分批过程的操作。如本领域普通技术人员所知的,仿真分批过程可以用比完成实际分批过程所花费的时间要快的速度执行。由此,可以在相对短的时间段内仿真更多的控制策略。例如,工程师可以执行“what-if”脚本来确定一个好的策略或改善一个已存在的策略。决定用于仿真的控制策略可以包括专门的程序或某种系统程序。例如,由于“whatif 脚本”可以由其它技术来分析,例如多变量统计过程控制 (MSPC),所以可以使用比实时仿真更快的仿真来生成当前及未来分批的过程框架,以诊断并避免不正常的分批。

[0052] 与第一原理模型连接的多输入 / 多输出控制系统,也可以在操作分批过程期间使用,以有助于控制分批过程。图 4 为用于控制分批过程的示例性系统的方框图,其中系统 200 包括多输入 / 多输出控制块,在这种情况下,其为与第一原理模型 208 通信相连接的 MPC 块 204。此外,MPC 块 204 与分批过程 212 通信连接。在图 4 中,信号组由单实线表示,以便清晰。因此,应该理解单实线可以代表一个或更多个信号。MPC 块 204 可以包括图 2 的 MPC 块 104 或任何合适的 MPC 块,并且第一原理模型 208 可以是例如图 2 所描述的第一原理模型。

[0053] 至少有一些分批过程输出,标记为分批过程 212 的分批过程输出 216(例如,其可以是控制和约束测量值或参数),可以如典型的 MPC 控制那样被反馈到 MPC 块 204 的输入端。同样,也如典型的已知 MPC 技术那样,可以向分批过程 212 和 MPC 块 204 的输入端提供一组被测量的或已知的过程干扰输入 220。

[0054] 进一步地,可以将一组第一原理模型 208 的输出馈送到 MPC 块 204 的输入端,且这些第一原理模型 208 的输出在图 4 中标记为 224。第一原理模型 208 的输出 224 可以对应于分批过程 212 的不可测量的实时参数。换句话说,可以向 MPC 块 204 提供分批过程 212 的不可测量的实时参数的估计值。可选择地,可将由第一原理模型 208 产生的并对应于所测量的参数 216 的一组估计参数 228,馈送到 MPC 块 204 的输入端。

[0055] MPC 控制块 204 可以包括标准 MPC 逻辑,其具有线性过程模型(即,控制预测过程模型),而且通常可以以典型的或已知的方式操作,以开发一组过程控制信号或操纵变量控制信号 232。操纵变量控制信号 232 可以被提供给分批过程 212 的输入端,以及被提供给第一原理 208 的输入端。可选择地,可以提供开关 236,以允许在操纵变量控制信号 232 和其它控制信号 238 之间转换。可选择地,其它过程输入信号 240 可以被提供给分批过程 212,以及被提供给第一原理模型 208。

[0056] 如前面所讨论一样,第一原理模型 208 可产生不可测量的实时参数,以及对应于至少一些分批过程 212 输出的参数。根据至少一些 MPC 块 204 的输出 232、已知的过程干扰输入 220 和过程输入 240,第一原理模型 208 可以产生这些参数。如上所述,可将至少一些第一原理模型 208 的输出提供给 MPC 块 204。

[0057] 一般地, MPC 块 204 可以利用由第一原理模型 208 产生的不可测量的实时参数估计值,以帮助控制分批过程 212。进一步地,因为将不可测量的实时参数的估计值作为输入提供给 MPC 块 204,所以,例如, MPC 块 204 可以使用已知的 MPC 技术来帮助控制一个或多个不可测量的实时参数。例如, MPC 块 204 可以尝试控制变化率参数(例如产品浓度的变化率,副产品浓度的变化率,装料(charge)浓度的变化率,污染物浓度的变化率等)。将与分批过程相关的变化率保持在期望的范围内可能是有用的。例如,分批过程期间,将产品浓度的变化率保持在期望水平的常数上以一段时间,可能有助于提高产量,改善产品质量,预测分批周期,减少分批周期等。在某些情况下,快速反应速率可能导致反应失控或产生不希望的副产品。相反,慢速率可能导致较长的分批时间以及较低的产量。通过减少由于暂停和异常操作引起的时间转换效应,控制速率可以更准确的预测分批过程的执行情况,并可以更快和更准确地对分批方案进行修正。

[0058] 一般地,系统 200 有助于改善分批过程的结束点,连同改善容量和/或质量。如系统 200 的系统有助于处理分批过程的变量反弹(ramping)响应以及非静止行为,而已有技术的模型识别和 MPC 系统假定了典型连续过程的稳定状态或恒定斜率。

[0059] 再次参见图 1,系统 200 的某些部分可由各种计算设备实现。例如,第一原理模型 208 可以由一个或更多个工作站 16 实现。在一实施例中,控制器应用程序 30 和/或仿真应用程序 70,在一个或更多个工作站 16 上执行,并可以实现第一原理模型 208。此外,一个或更多个控制器 12 和/或一个或更多个现场设备 24-27 可以实现 MPC 块 204,以及与分批过程 212 相关的其它控制例行程序。在一实施例中, MPC 块 204 可以通过由控制器 12 和/或一个或更多个现场设备 24-27 实现的控制器应用程序 30 来实现。本领域的普通技术人员应知有许多途径实现系统 200 的某些部分。例如,第一原理模型 208 的至少某些部分可以由控制器 12 和/或现场设备实现,并且 MPC 块 204 的至少某些部分可以由一个或更多个工作站 16 实现。

[0060] 图 5 为用于控制分批过程的示例性方法 260 的流程图。方法 260 可以用例如图 4

的系统 200 实现,并且为了解释方便,方法 260 将参考图 4 进行描述。然而,本领域普通技术人员应知方法 260 也可以用其它系统实现。

[0061] 在框 264 处,分批过程的第一原理模型可用于生成与分批过程有关的不可测量的实时参数估计值。例如,第一原理模型 208 可以产生不可测量的实时参数估计值,例如与分批过程相关的变化率的估计值。在框 268 处,在框 264 处产生的估计值可以被提供给控制例行程序。控制例行程序可以包括多输入 / 多输出控制例行程序,例如 MPC 块 204。可选择地,也可以利用其它类型的控制例行程序,例如模糊逻辑例行程序、神经网络等。

[0062] 在框 272 处,根据框 264 处生成的估计值生成控制信号,该控制信号由控制例行程序生成,以有助于控制分批过程。当然,也可以根据其它信息,例如来自实际分批过程的测量值,以及可选择地由第一原理模型生成的其它输出,来生成控制信号。控制信号可用于以各种方式来控制分批程序。例如,控制信号可以尝试控制与分批过程有关的变化率、分批过程的终点、分批过程结束时的产品量、成品收率等。如另一例子,控制信号可以尝试将变化率保持在期望的范围内。该期望范围可以是分批过程期间一段时间内的恒定变化率。本领域的普通技术人员应知,期望的范围可以根据被控的具体分批过程而变化。由此,期望的变化率范围可以包括至少一些变化率不恒定的时间段。

[0063] 采用在框 264 处生成的估计值的控制例行程序,可以利用第一原理模型,以及可选择地与实际分批过程有关的数据进行设置。一般地,控制例行程序可以利用各种控制技术,包括已知的技术,通过利用有第一原理模型产生的不可测量的实时参数来控制分批过程的各个方面。

[0064] 图 6 为用于控制分批过程的另一示例性方法 280 的流程图。方法 280 可以使用例如图 4 的系统 200 来实现,为了解释方便,参考图 4 对方法 280 进行描述。然而,本领域普通技术人员应知,方法 280 也可以用其它系统实现。

[0065] 在框 284 处,可以产生分批过程组分变化率的实时估计值。例如,第一原理模型 208 可以生成估计值。可选择地,其它建模 / 估计系统也可以用于生成估计值,例如模糊逻辑系统、神经网络等。在框 288 处,框 284 处生成的估计值可以提供给控制例行程序。控制例行程序可以包括多输入 / 多输出控制例行程序,如 MPC 块 204。可选择地,可以利用其它类型的控制例行程序,如模糊逻辑例行程序、神经网络等。

[0066] 在框 292 处,根据在框 284 处生成的估计值生成控制信号,该控制信号由控制例行程序生成,以有助于控制变化率。当然,也可以根据其它信息,例如来自实际分批过程的测量值,以及可选择地其它估计值,例如不可测量的实时参数估计值,来生成控制信号。例如,控制信号可用于将变化率保持接近期望的范围。期望的范围可以是在分批过程期间一定时间段内的恒定变化率。本领域普通技术人员应知,期望的范围可以根据被控的具体分批过程而变化。由此,期望的变化率范围可以包括至少一些变化率不为常数的时间段。例如,在分批过程的某个时间段内,变化率可能需要恒定地或指数地增加或减少。

[0067] 图 7 为用于控制分批过程的另一示例性系统方框图。系统 300 包括许多与图 4 的示例性系统 200 编号相同的元件。此外,图 5 和图 6 的方法 260 和 280 可选择地由例如系统 300 那样的系统实现。系统 300 一般包括虚拟工厂 304 和实际工厂 308。实际工厂 308 与用于实现分批过程的实际物理设备的控制相对应,而虚拟工厂 304 与实际工厂 308 的仿真相对应。图 7 中,为了清晰,由一条单实线代表一组信号。因此,应该理解,单实线可以代

表一个或更多个信号。如下所述,在分批过程的操作期间,数据可在虚拟工厂 304 和实际工厂 308 之间交换,以有助于控制分批过程。

[0068] 实际工厂 308 包括 MPC 块 204 以及与图 4 的系统 200 类似配置的分批过程 212。虚拟工厂 304 包括与虚拟工厂 MPC 块 312 通信连接的第一原理模型 208。虚拟工厂 MPC 块 312 可以提供有不可测量的实时参数估计值 228。可选择地,由第一原理模型 208 生成的一组估计参数 228 可以被馈送到虚拟工厂 MPC 块 312 的输入端。进一步地,虚拟工厂 MPC 块 312 可以提供有信号 316,其与被测或已知的过程干扰输入 220 的模拟值、或被测或已知的过程干扰输入 220 本身相对应。

[0069] 虚拟工厂 MPC 控制块 312 可以包括具有线性过程模型的标准 MPC 逻辑,并且一般可以以典型的或已知的方式操作,以产生一组过程控制信号或操纵变量控制信号 320。可将操纵变量控制信号 320 提供给第一原理模型 208 的输入端。可选择地,可以提供开关 324,以允许在操纵变量控制信号 320 和其它信号 328 之间切换,其它信号 328 可以是与控制信号 238 相对应的仿真信号或控制信号 238 本身。可选择地,可以将其它信号 332 提供给第一原理模型 208,其它信号 332 可以是过程输入信号 240 的仿真信号或者过程输入信号 240 本身。

[0070] MPC 块 204 和虚拟工厂 MPC 块 312 可以至少是类似的配置。例如,可以用已知的方式配置 MPC 块 204,以控制分批过程 212(例如,可以生成控制预测过程模型和控制参数)。然后,同样的控制预测过程模型和 / 或控制参数可以提供给虚拟工厂 MPC 块 312。当然,本领域的普通技术人员应知有许多其它的技术可以类似地配置 MPC 块 204 和虚拟工厂 MPC 块 312。

[0071] 一般地,在分批过程期间,虚拟工厂 304 可以仿真实际工厂 308 的操作。例如,第一原理模型 208 接收反映分批过程 212 输入的输入,并且第一原理模型 208 一般被配置为对分批过程 212 的操作进行建模。由此,第一原理模型 208 的输出 228 应当典型地追踪分批过程 212 的输出 216。此外,因为 MPC 块 204 和虚拟工厂 MPC 块 312 应当具有同样的或类似的配置,并且因为它们应当都接收同样的或类似的输入,所以 MPC 块 204 和虚拟工厂 MPC 块 312 应当生成同样的或类似的操纵变量控制信号。

[0072] 在操作分批过程期间,信息可以在虚拟工厂 304 和实际工厂 308 之间传送。例如,将不可测量的实时参数 224 提供给 MPC 块 204。如另一示例,实际工厂 308 中的被测参数 216 可以被传送给虚拟工厂 304,以便虚拟工厂 304 可以可选择地利用被测参数 216。本领域普通技术人员应知,许多其它类型的信息可以在虚拟工厂 304 和实际工厂 308 之间传送。

[0073] 在一实施例中,虚拟工厂 304 可选择地采用过程模块,其中过程模块能使用质量转移率、泥浆和水泡的残留、模数压力流动解算程序等。这可以允许虚拟工厂 304 对空过程量、零流动、不平衡条件等进行处理。此外,在该实施例中,虚拟工厂 304 可选择地采用带有分段量和循环流动的过程模块,以允许对混合和运送的延迟进行仿真。

[0074] 再次参见图 1,虚拟工厂 304 和部分的实际工厂 308 可由各种计算设备实现。例如,部分的虚拟工厂 304 可以由一个或多个工作站 16 实现。在一实施例中,控制器应用程序 30 和 / 或仿真应用程序 70,在一个或多个工作站上 16 上执行,并可以实现至少部分的虚拟工厂 304。此外,一个或多个控制器 12 和 / 或一个或多个现场设备 24-27 可以实现部分的实际工厂 308,例如 MPC 块 204 及与分批过程相关的其它控制例行程序。在一实施例

中, MPC 块 204 可以通过由控制器 12 和 / 或一个或更多现场设备 24-27 实现的控制器应用程序 30 来实现。本领域的普通技术人员应知, 有许多其它的方法可以实现部分的虚拟工厂 304 和实际工厂 308。例如, 部分的虚拟工厂 304 可以在控制器 12 和 / 或现场设备上实现, 而部分的实际工厂 308 可以由一个或多个工作站 16 实现。

[0075] 图 8 为用于控制分批过程的另一个示例性系统的方框图。系统 400 类似于图 7 的系统 300, 并且包括许多与示例性系统 300 编号相同的元件。此外, 图 5 和图 6 的方法 260 和 280 可选择地可由如系统 280 这样的系统实现。

[0076] 已知的, 与分批过程相关的设备条件和其它条件会随着时间的推移发生变化。这可能导致第一原理模型 208 随着时间的推移变得更不准确。为了有助于找到潜在的问题, 系统 400 包括用于更新第一原理模型 208 的模型更新系统 404, 以反映分批过程 212 随时间的变化。

[0077] 一般地, 模型更新系统 404 将分批过程 212 的输出与对应的第一原理模型 208 的输出进行比较, 并且根据比较结果调整第一原理模型 208。模型更新系统 404 包括与第一原理模型 208 通信连接的模型更新 MPC 块 408。也就是说, 第一原理模型 208 的参数可被模型更新 MPC 块 408 操作。换句话说, MPC 块 408 的输出, 通常称为操纵变量控制信号, 与第一原理模型 208 通信连接, 以根据第一原理模型 208 的输出与分批过程 212 的输出之间的比较结果来更新第一原理模型 208 中的参数。

[0078] 已知的, MPC 可以包括控制预测过程模型, 其通常针对过程对于由 MPC 产生的操纵变量控制信号中的扰动的响应进行建模。模型更新 MPC 块 408 可以包括控制预测过程模型, 其通常针对第一原理模型 208 对于第一原理模型 208 参数扰动的响应进行建模。模型更新 MPC 块 408 也可以包括控制参数, 例如矩阵、MPC 系数等, 这些控制参数通常基于 MPC 块 408 的控制预测过程模型或利用 MPC 块 408 的控制预测过程模型来确定。

[0079] MPC 块 408 可以接收一些或全部的分批过程 212 的输入和输出, 以及相应的第一原理模型 208 的输入和输出。分批过程 212 的输入和输出可以经由工厂内的历史记录器获得或从现场设备、控制器等处获得。可选择地, 模型更新系统 404 可以包括用于获取无法或没有实时获得的参数测量值的系统。这个系统在此称为实验室 412。例如, 在分批期间获得的样本可以被实验室处理, 以产生无法被实时测量的分批参数测量值, 例如容器中组分的浓度、组分的变化率等。尽管对于控制分批过程来说, 这样的测量值不能实时使用, 但是它们可以用于, 通过比较第一原理模型 208 产生的对应于这些测量值的估计值来调整第一原理模型 208。由此, 可以向 MPC 块 408 提供数据, 该数据是对应于由实验室 412 产生的、并对应于由第一原理模型 208 产生的不可测量的实时参数的估计值的测量值。此外, 第一原理模型 208 产生的不可测量的实时参数的估计值可以提供给 MPC 块 408。

[0080] MPC 块 408 可以利用向其提供的数据调整第一原理模型 208 的参数。这就提供了一种当分批过程 212 随时间改变时, 用于调整第一原理模型 208 的技术。当然, 上述的模型更新系统 404 仅仅是用于调整分批过程第一原理模型的系统的一个例子。例如, 可以采用其它的多输入 / 多输出系统作为对 MPC 块的替换, 例如模糊逻辑系统、神经网络等。

[0081] 再次参见图 1, 模型更新系统 404 可以由各种计算设备实现。例如部分的模型更新系统 404 可以由一个或更多个工作站 16 实现。在一实施例中, 控制器应用程序 30 和 / 或模拟应用程序 70, 在一个或更多个工作站 16 上执行, 并可以实现至少部分的模型更新系统

404,例如 MPC 块 408。此外,一个或更多个控制器 12 和 / 或一个或更多个现场设备 24-27 可以实现部分的模型更新系统 404,例如 MPC 块 408。本领域普通技术人员应知,还有许多其它途径可以实现模型控制系统 404。

[0082] 图 9 为用于更新分批过程第一原理模型的示例性方法 450 的流程图。例如,方法 450 可以用图 8 所示的系统 404 实现,并且为了方便起见,参考图 8 对方法 450 进行描述。然而,本领域普通技术人员应知,方法 450 也可用其它系统实现。

[0083] 在框 454 处,第一原理模型的输出可以提供给多输入 / 多输出控制例行程序。例如,图 8 中,将第一原理模型 208 的输出提供给模型更新 MPC 块 408。第一原理模型的输出可以包括分批过程可测量的实时参数的估计值。另外地及可选择地,第一原理模型的输出可以包括分批过程不可测量的实时参数的估计值。例如,在框 454 处提供的的数据可以包括从数据历史记录器取回的数据。另外地及可选择地,在框 454 处提供的的数据可以包括从工作站 16、控制器 12、现场设备等接收的数据。

[0084] 在框 458 处,可以将与分批过程相关的输出数据和对应于第一原理模型输出的输出数据,提供给多输入 / 多输出控制例行程序。例如,图 8 中,将分批过程 212 的数据输出提供给模型更新 MPC 块 408。可选择地,被提供的输出数据可以包括实验室 408 的数据。由此,被提供的输出数据可以另外地或可选择地包括与第一原理模型所产生的不可测量的实时参数的估计值相对应的输出数据。

[0085] 在框 462 处,根据在框 454 和框 458 处所接收的数据,多输入 / 多输出控制系统可以产生用于修改第一原理模型参数的输出。例如,第一原理模型产生估计值可以认为是一个控制变量,并且来自实际工厂的相应测量参数可认为是一个设定点。多输入 / 多输出控制系统可以随后产生用于修改第一原理模型参数的数据,以试图使估计值跟踪相应的测量参数。可调整的模型参数的一个例子是亨利系数 (Henry Coefficient)。亨利系数是用于确定溶解氧的平衡浓度的参数,其确定气相与液相之间氧的质量传递。可调整的模型参数的其它例子包括活化能,及用于具体反应、增长、质量传递的系数,以及产品和副产品的成形率、氧的限制、酶抑制、电解槽维护、离子分裂、产量和周期。

[0086] 本领域普通技术人员应知,许多变化都是可能的。例如,提供给多输入 / 多输出控制系统的第一原理模型的输出和 / 或相应的测量参数,可以被过滤,以筛选出短期的瞬变现象。如另一例,提供给多输入 / 多输出控制系统的第一原理模型的输出,可以依比例确定,以便将过程增益和调整范围保持在合理的范围内。又如另一例,可以在分批周期中自动开始和停止适配,以允许只在分批周期的适当部分进行适配。

[0087] 图 10 为利用这里所描述的技术的示例性分批过程系统 500 的方框图。分批过程系统 500 设置为生产青霉素。为了解释方便,系统 500 的许多组件未在图 10 中示出。系统 500 包括生物反应器 504,其容纳酶、碱性试剂、酸性试剂和空气。一旦分批完成,生物反应器 504 就可以经由分批排水管 508 排水。泵 512 向生物反应器 504 提供碱性试剂,泵 514 向生物反应器 504 提供酸性试剂。泵 512 可以被控制例行程序 516 控制,而泵 514 可以被控制例行程序 518 控制。Ph 值传感器 520 可以产生关于生物反应器中的 Ph 值的数据。该 Ph 值数据可以提供给分离器 522,其依次向控制例行程序 516 和 518 提供分离的 Ph 值数据,控制例行程序 516 和 518 控制泵 512 和 514,以控制生物反应器中的 Ph 值。

[0088] 泵 528 向生物反应器 504 提供酶,并且泵 528 可被控制例行程序 530 控制。酶可

以包括葡萄糖。葡萄糖浓度传感器 532 可以向控制例行程序 530 提供关于生物反应器 504 内葡萄糖浓度的数据。泵 536 向生物反应器 504 提供空气,并且泵 536 可以被控制例行程序 538 控制。生物反应器 504 的通风口 542 可以被控制例行程序 544 控制。

[0089] 溶解氧传感器 548 可以产生关于生物反应器 504 内溶解氧浓度的数据。溶解氧数据可以提供给控制例行程序 550。控制例行程序 550 可以依次经由分离器 554 向控制例行程序 538 和控制例行程序 544 提供控制数据。

[0090] MPC 控制块 560 从虚拟工厂接收生物量增长率和产品形成率的估计值,虚拟工厂例如如上所述的具有分批过程的第一原理模型的虚拟工厂。所估计的生物量增长率和所估计的产品形成率,是生物反应器 504 内相应速率的实时估计值。特别地,所估计的生物量增长率可以是生物反应器 504 内的真菌细胞的增长率的估计值,并且所估计的产品形成率可以是生物反应器 504 内的青霉素浓度估计值。

[0091] MPC 块 560 产生第一控制信号输出,并将其提供给控制例行程序 530,并且产生第二控制信号输出,并将其提供给控制例行程序 550。由 MPC 块 560 产生的输出可以当作由控制例行程序 530 和控制例行程序 550 所使用的设定点。例如,提供给控制例行程序 530 的第一控制信号可以是葡萄糖浓度的设定点,而提供给控制例行程序 550 的第二控制信号可以使溶解氧浓度的设定点。由此,在分批操作期间,MPC 块 560 可以响应于所估计的生物量增长率和所估计的产品形成率,对葡萄糖浓度的设定点和溶解氧浓度的设定点进行调整。依次地,控制例行程序 530 可以产生控制数据,以促使泵 536 向输入生物反应器 504 加入较多或较少的空气,并产生控制数据,以调整通风口 542,使生物反应器 504 内的空气较多或较少地排出。

[0092] 在生产青霉素的分批过程中,为真菌细胞提供葡萄糖和溶解氧。经过一段时间,真菌细胞分泌青霉素,也产生二氧化碳。在一种实现过程中,不会使用利用 MPC 块 260 所作的控制,直到分批过程开始后一段时间,此时据估计,产率大约达到其最大值。然后,利用 MPC 块 260,以试图将产率保持为常数。

[0093] 据观察,随着细胞浓度的增加,更高的溶解氧浓度逐渐地增加生物量增长率和产品形成率。然而,高空气流动增加了气体处理成本,而且高压增加了溶解的二氧化碳量,所以在具有极小有益效果的分批开始时,溶解氧量较低。由于较低的酶抑制因子,所以较低的酶浓度减小了生物增长率,但是增加了产品形成率。结果,一开始酶浓度高,促使细胞增长,但是随后在分批进行时,降低酶浓度,提高产品形成率。由于在分批周期的馈送分批部分期间,产率比增长率更重要,所以 MPC 块的调整可以包括对产率的移动和错误使用更高的惩罚措施。

[0094] MPC 块 560 可以有助于保持净产率不下降。由此,MPC 块 560 可以使产品浓度以恒定斜率增长,并可以使分批周期更短。此外,由于产品浓度以恒定斜率增长,所以分批完成的估计时间可以相对地准确。本领域普通技术人员应知,系统 500 可以有变化。例如,如果需要在分批结束附近降低生物量浓度,以降低酶的消耗速率,并释放控制器以更好地维持净产率,那么增长率的说定点可以随产品浓度接近其结束点而降低。

[0095] 为了通过系统 500 来预测所产生的分批所剩时间,可以用因数净产率除以当前产品浓度和结束点浓度之间的偏差。随后这可以被加入到当前分批时间中,以产生所预测的分批周期。葡萄糖消耗量可以通过用分批过程剩余时间乘以因数葡萄糖馈送速率,并将其

加入到当前葡萄糖的总装料中进行预测。可以用所预测的葡萄糖消耗量除以产品结束点的浓度,以便产生以产品的公斤数 / 葡萄糖的公斤数这样的形式所表示的预测产量。

[0096] 当然,图 10 的系统 500 仅仅是利用上述技术的生物化学分批过程系统的一个例子。其它例子,包括用于生产抗生素、合成蛋白质、成长激素、抗体、制药、添加剂、啤酒、酒、聚合物、润滑剂、专用化学品等的系统。

[0097] 这里所描述的技术和系统的不同实施例可以以各种方式加以利用。例如,诸如图 2 所示系统的系统、虚拟工厂 304 等,可以用于开发用于控制和 / 或处理正常的分批操作和 / 或异常情况的策略。这种系统可以用于开发检测异常情况的策略。进一步地,这里所描述的技术和系统可以用于识别、预测和 / 或获得符合经济目标的分批方案。分批的结束点可以被预测,及 / 或分批过程可以被控制,以提高产量和 / 或质量。分批周期可以被预测,及 / 或分批过程可以被控制,以降低分批周期。识别方案可以被存储和使用,以检测及 / 或量化分批操作条件、原料(例如微量营养物、添加剂等)的改变。方案可以使用诸如多变量静态过程控制等工具先验地分析。

[0098] 这里描述了各种多输入 / 多输出控制系统,例如 MPC 块。本领域普通技术人员应知,各种多输入 / 多输出控制系统,包括已知的系统,可以用在这里所描述的技术的各种实现中。例如,以下的转让专利和专利申请描述了可选择使用的技术和系统。为了所有的目的,引入以下每个转让专利和专利申请的全部内容作为参考。美国专利 No. 6, 445, 963 描述了实现多输入 / 多输出控制的先进控制块,以及用于创建和配置这些控制块的技术。美国专利 No. 6, 721, 609 描述了多输入 / 多输出控制块,其实现优化控制逻辑,以保证操纵变量不会溢出或破坏约束条件。美国专利 No. 6, 901, 308 描述了包括补偿块或算法的多输入 / 多输出控制块,以针对过程的不同操作区域,改变多输入 / 多输出控制块的执行时期。美国专利 No. 10/241, 350 描述了多输入 / 多输出控制块,其包括可以为操纵变量计算最佳操作对象的优化例行程序。美国专利 No. 10/454, 937 描述了多输入 / 多输出控制块,其包括对被控过程进行建模的线性过程模型,以及产生对线性过程模型的预测进行修正的非线性过程模型。这可以改善具有非线性特性的过程控制。

[0099] 这里所描述的多输入 / 多输出控制系统、第一原理模型、控制例行程序、方法框等可以使用硬件、固件及软件的任何组合。由此,如有所需,这里所描述的系统和技术可以用标准的多功能处理器,或用特别设计的硬件或固件实现。当用软件实现时,软件可以存储在任何计算机可读存储器中,例如磁盘、光盘或其它存储介质,也可以存储在计算机或处理器的 RAM 或 ROM 或闪存中等。同样,软件可以经由任何已知的或期望的传送方法,例如包括,计算机可读磁盘或其它可移动的计算机存储机制或经由通信媒介,传送给使用者或过程控制系统。通信媒介典型地具体化为计算机可读指令、数据结构、程序模块或其它被解调的数据信号中的数据,例如载波或其它传送机制。“被解调的数据信号”是指具有以在信号中编码信息的方式设置或改变的一个或更多个特性的信号。以举例的方式而不是限制的方式来说,通信媒介包括诸如有线网络或直接线缆连接的有线媒介,以及诸如声波、RF、红外线和其它无线媒介的无线媒介。由此,软件可以经由诸如电话线、英特网等的通信信道(其可以被视为与经由可移动的存储介质提供这种软件一样或可互换),传送给使用者或过程控制系统。

[0100] 由此,虽然已经参照具体的示例描述了本发明,并且这些示例仅仅是示例性的而

不是对本发明的限制,但是对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以对所公开的实施例做修改、添加或删除是显而易见的。

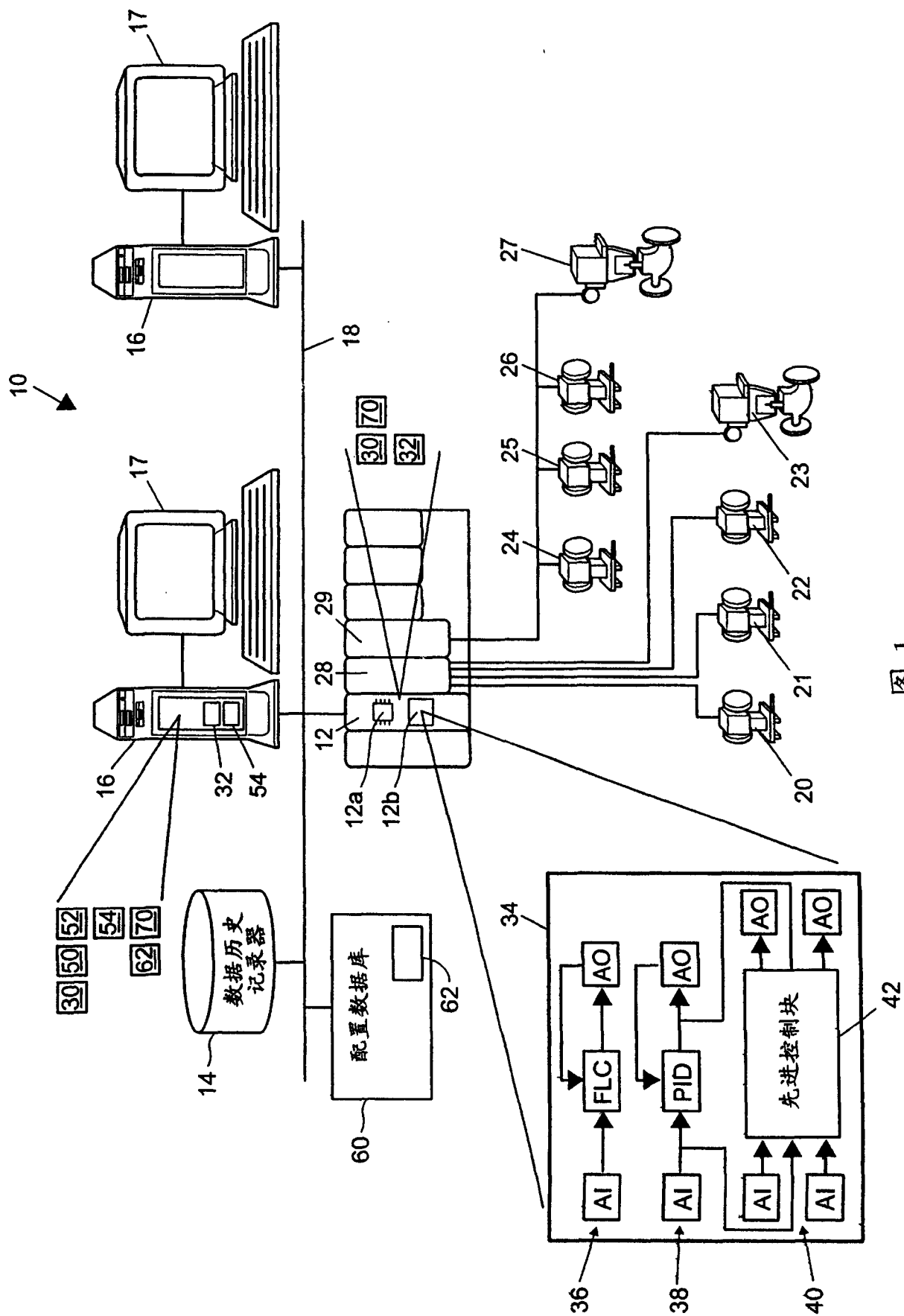


图 1

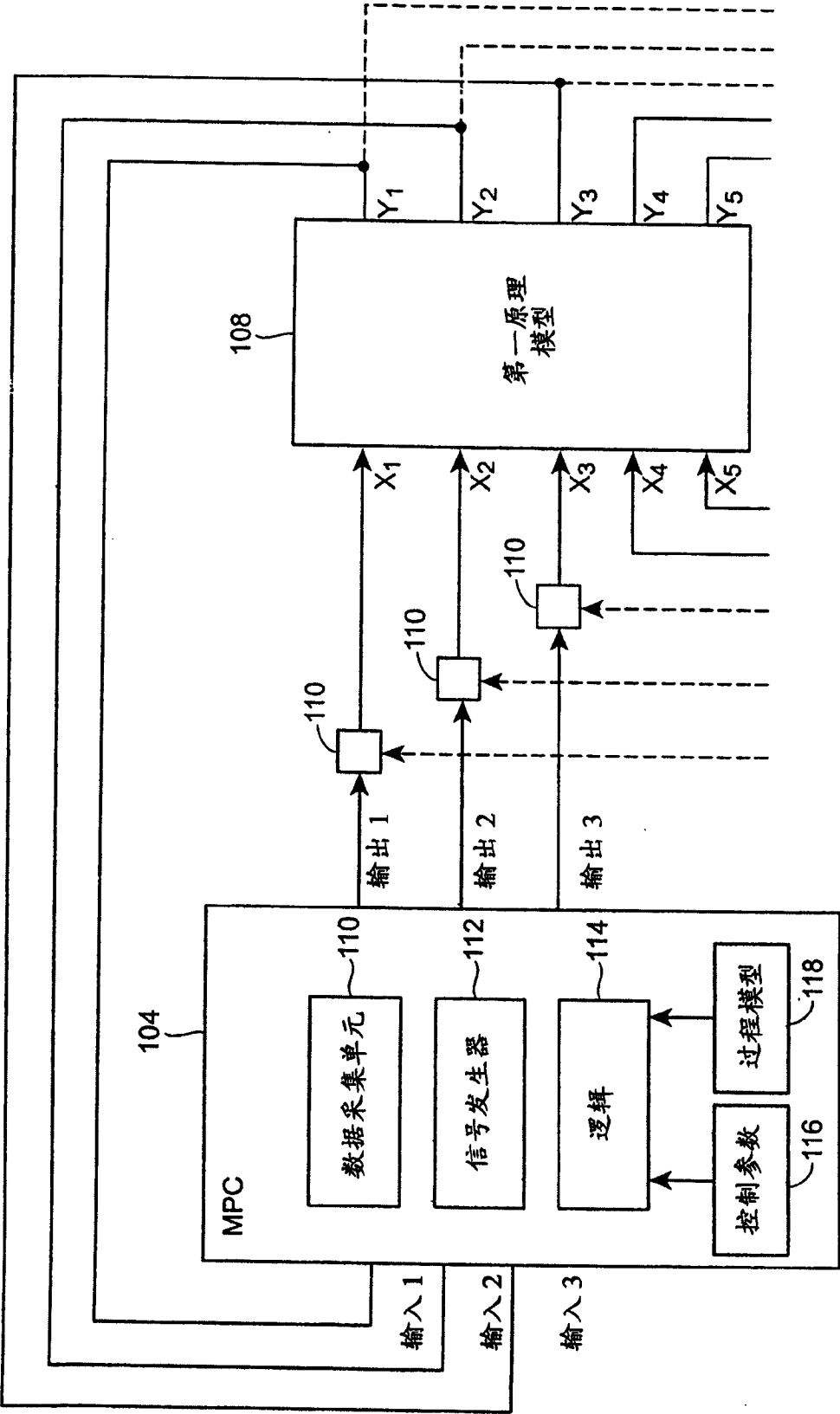


图 2

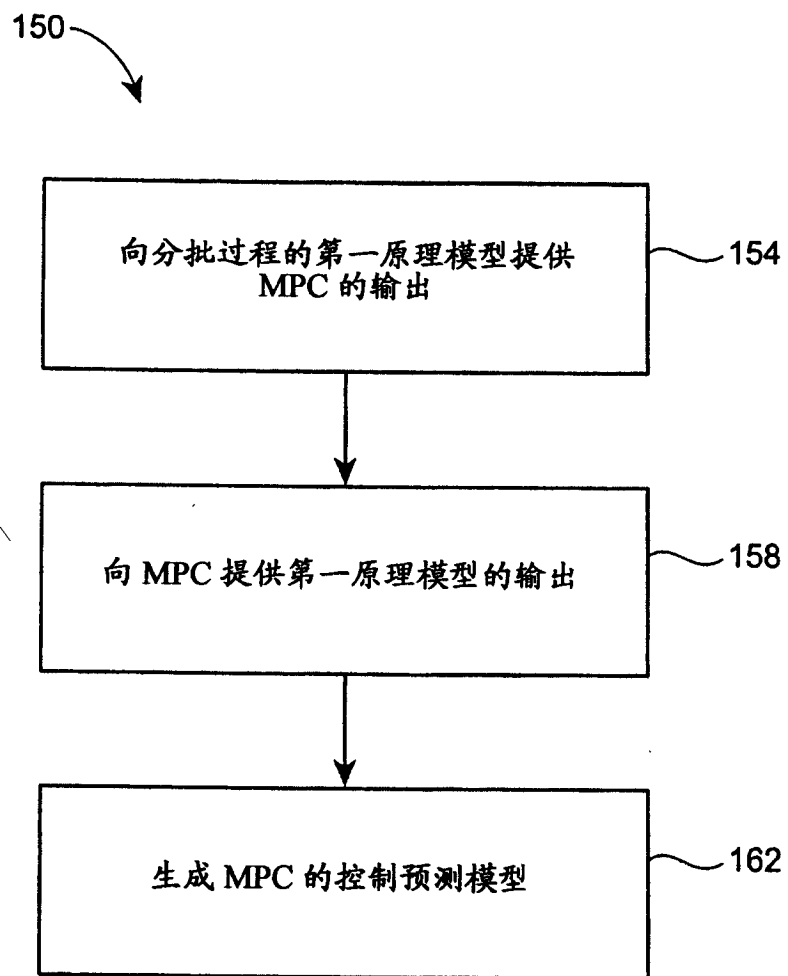


图 3

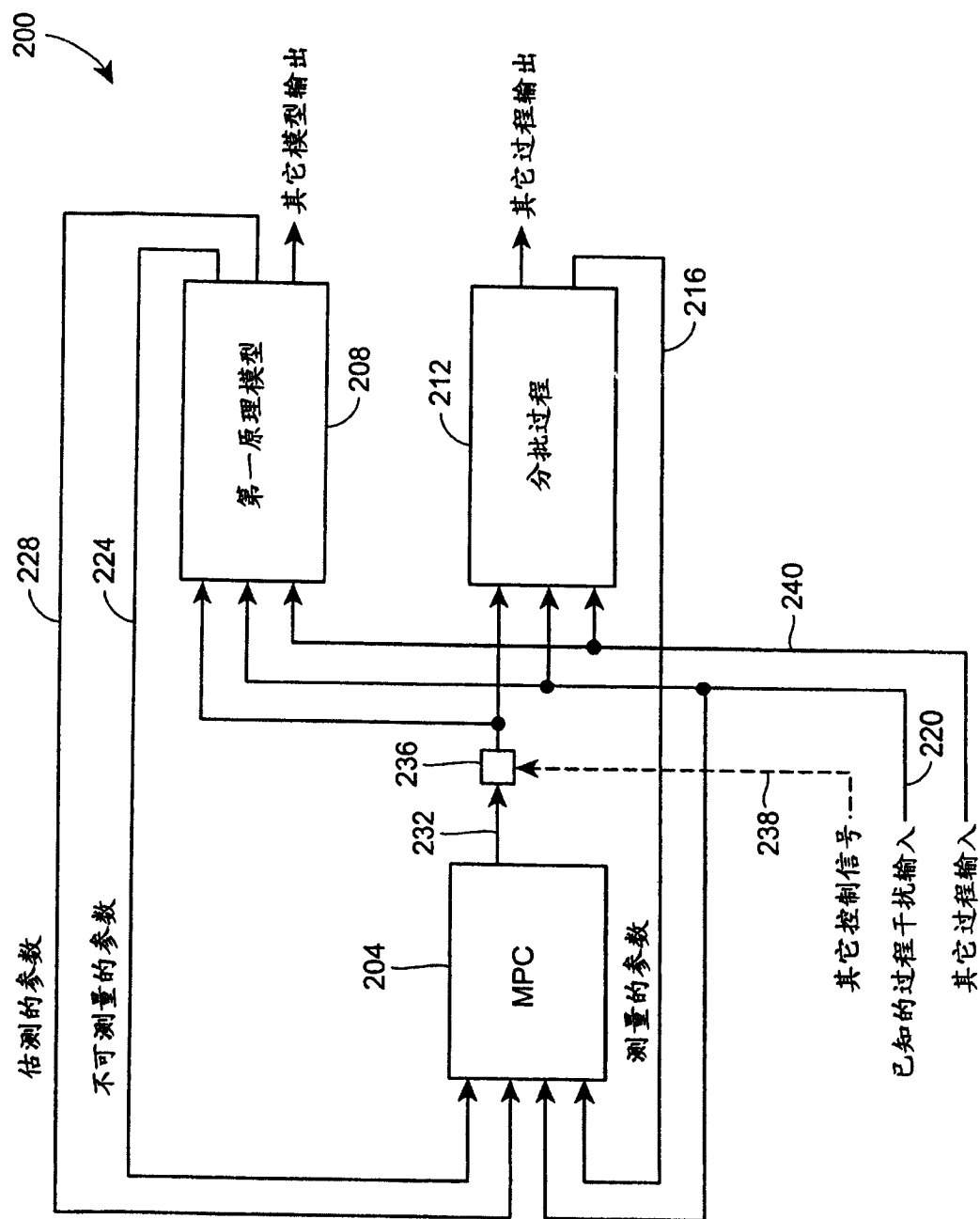


图 4

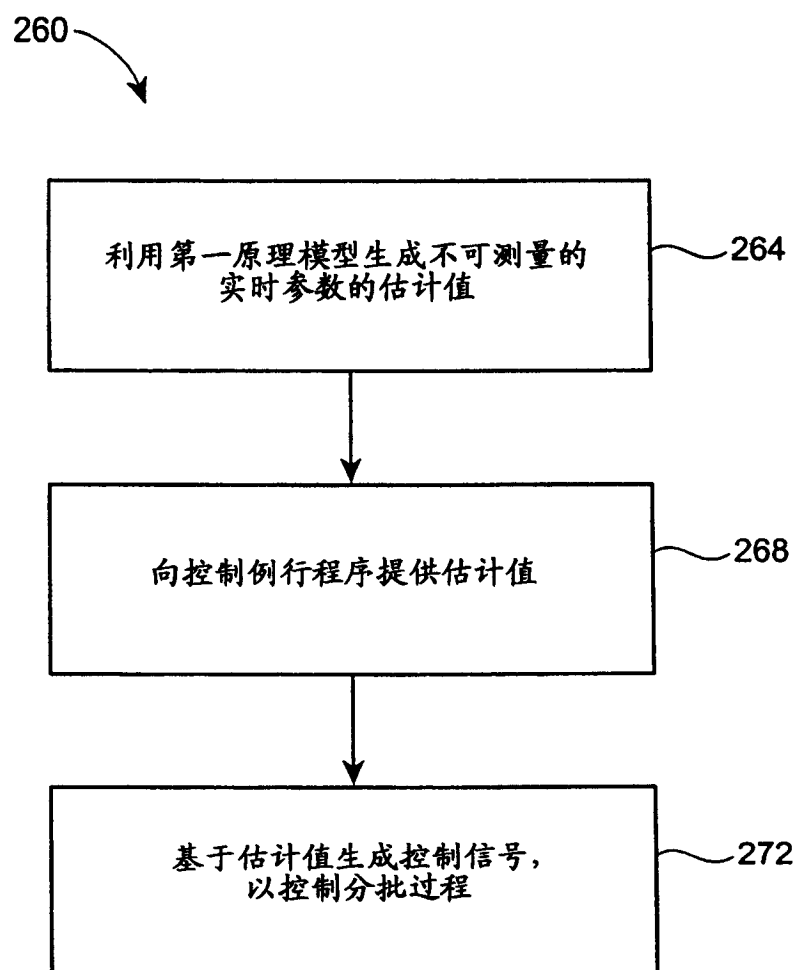


图 5

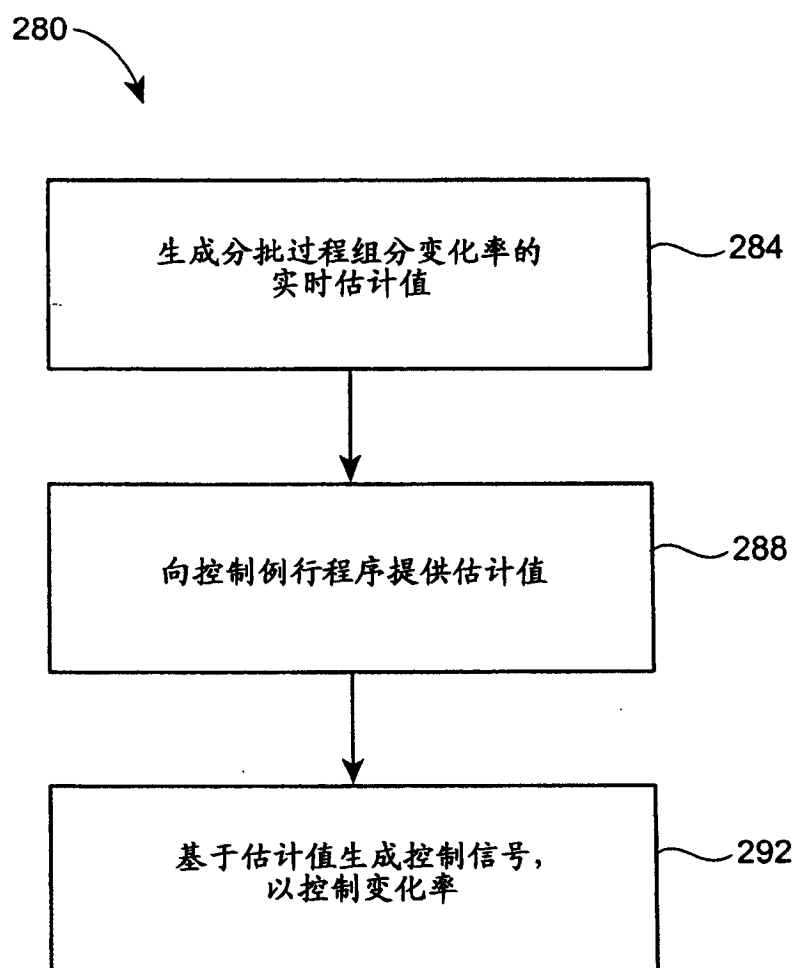


图 6

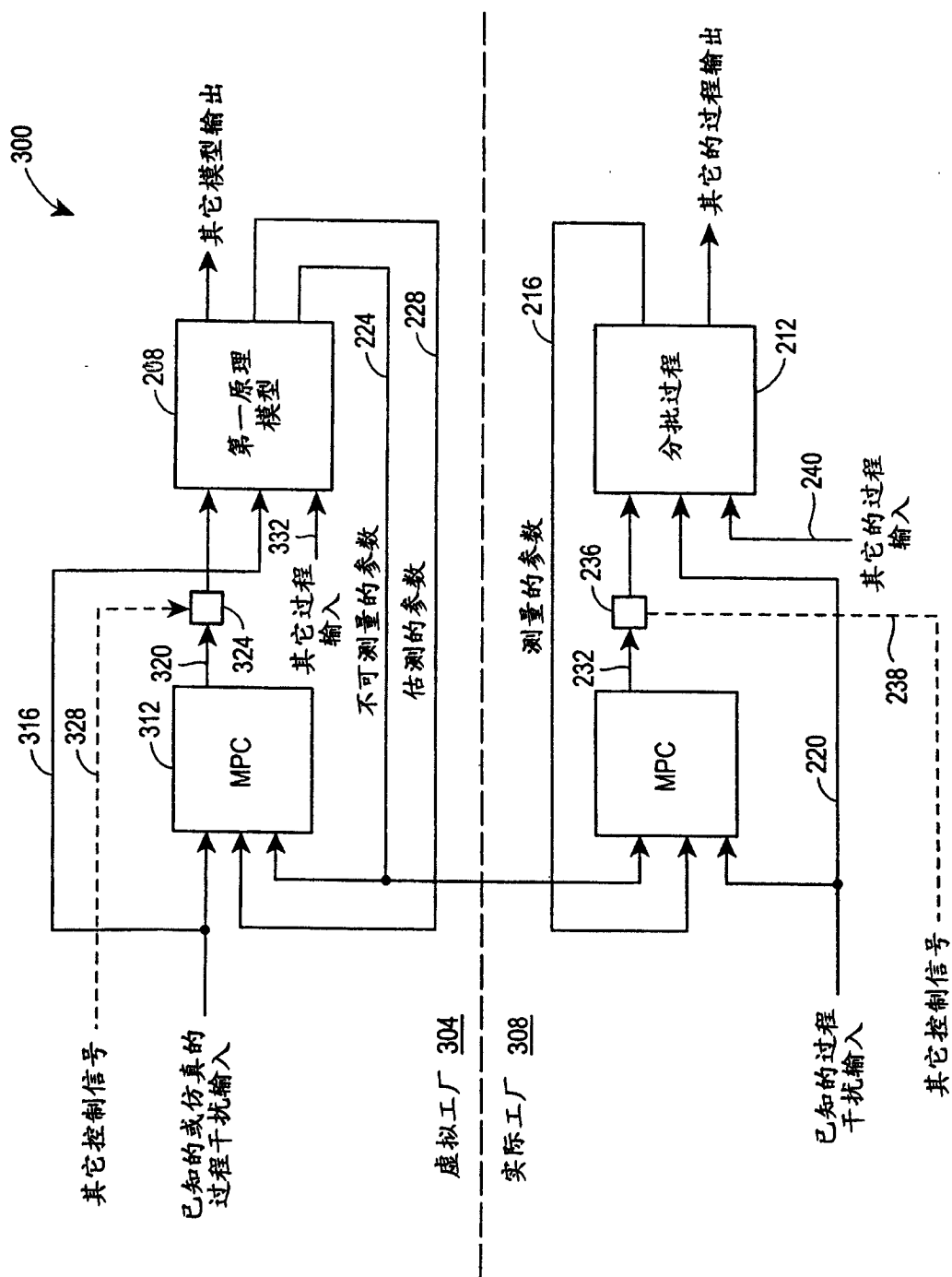


图 7

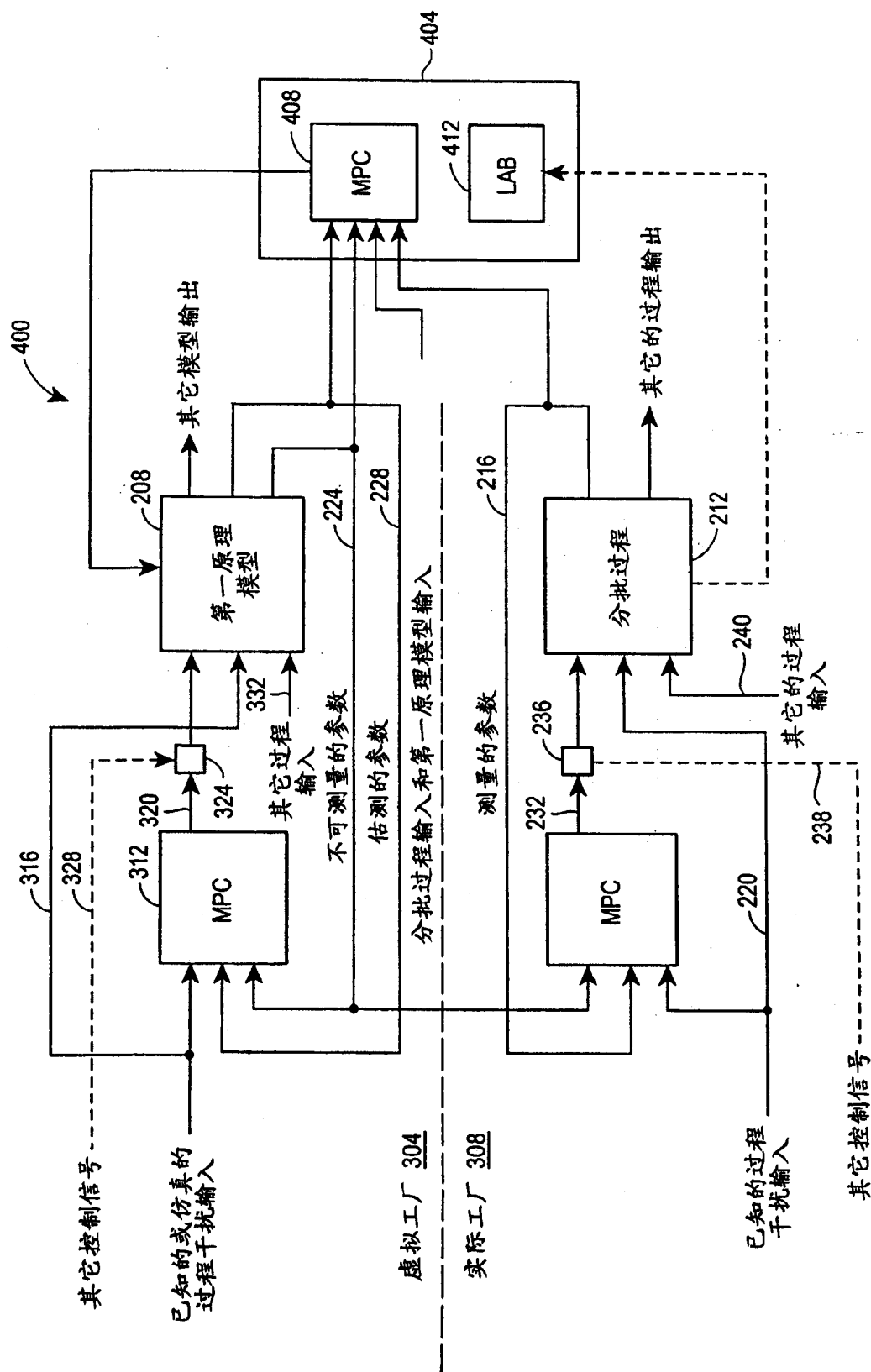


图 8

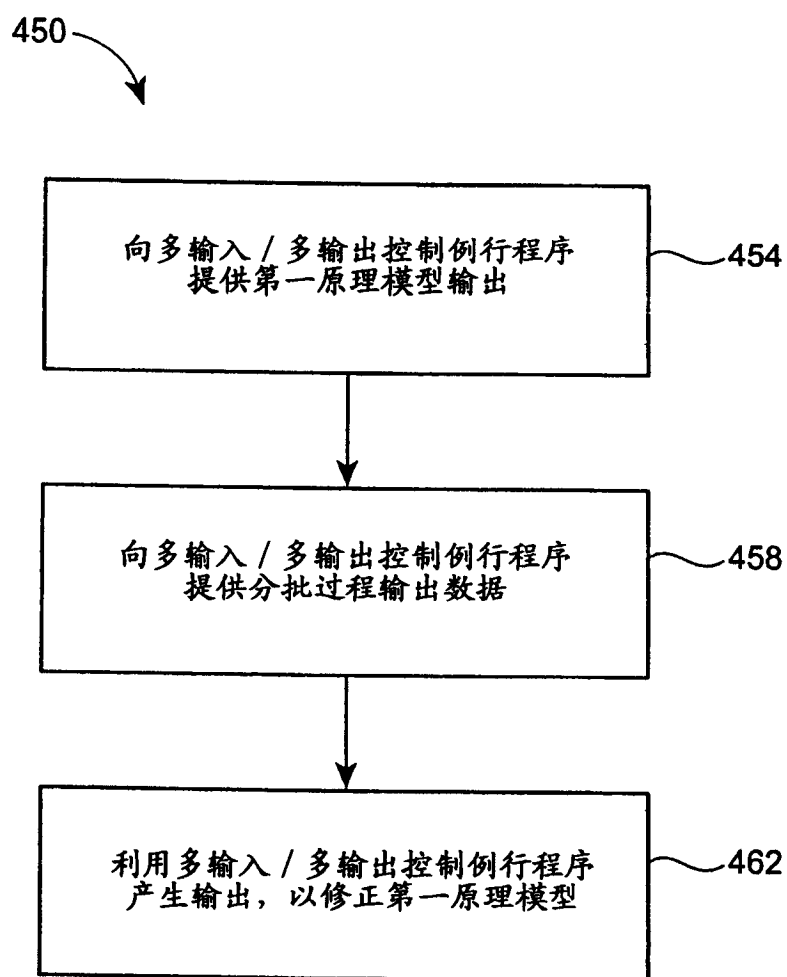


图 9

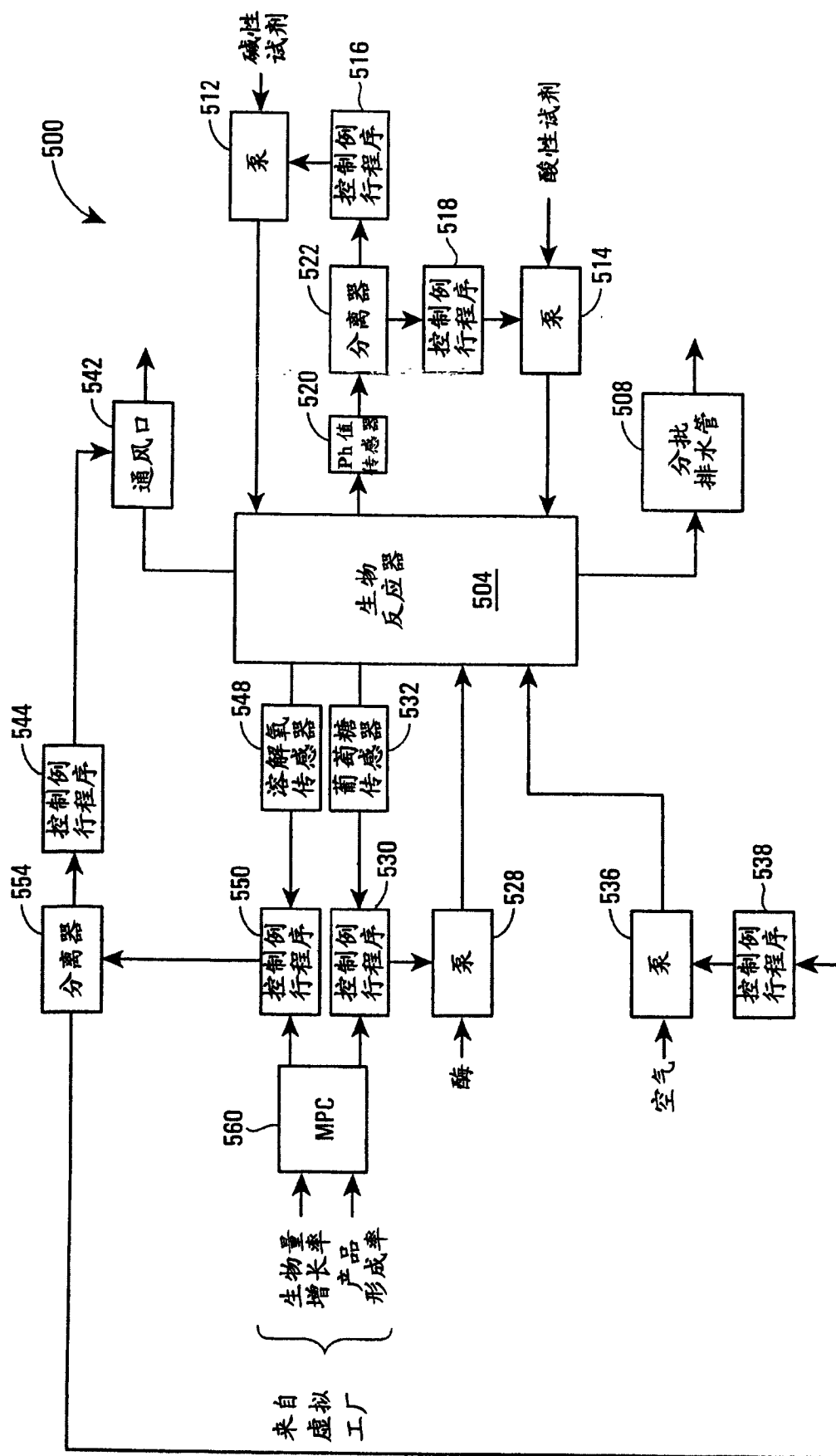


图 10