



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102985884 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201180019994. 6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 04. 19

G05B 13/04(2006. 01)

## (30) 优先权数据

1086/CHE/2010 2010. 04. 19 IN

## (56) 对比文件

## (85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 10. 19

CN 1742241 A , 2006. 03. 01, 全文 .

## (86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2011/000845 2011. 04. 19

JP 特开 2009-181392 A , 2009. 08. 13, 全文 .

## (87) PCT国际申请的公布数据

W02011/132050 EN 2011. 10. 27

US 2009/0198350 A1 , 2009. 08. 06, 全文 .

14-40 段以及附图 1-5.

审查员 李立功

## (73) 专利权人 ABB 研究有限公司

地址 瑞士苏黎世

## (72) 发明人 A. 巴德维 N. 库巴 S. 布哈特

N. N. 南多拉

## (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 汤春龙 朱海煜

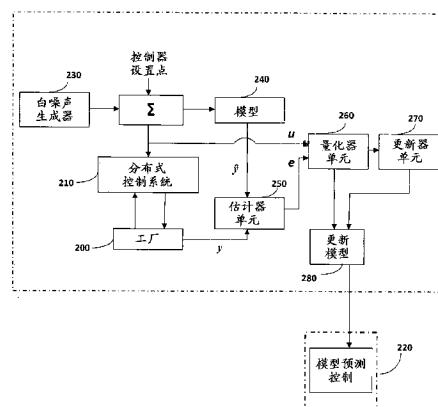
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54) 发明名称

用于更新模型预测控制器中模型的方法和系统

## (57) 摘要

本发明涉及用于更新模型预测控制器中模型的方法。该方法包括评估加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差。通过更新模型预测控制器中的模型针对模型工厂不匹配诊断模型预测控制。诊断模型预测控制器包括确定与模型工厂不匹配相关的模型预测误差，量化模型工厂不匹配，并更新所述模型预测控制器中的模型。本发明还涉及用于根据本发明方法更新模型预测控制器中模型的系统。



1. 一种用于更新模型预测控制器中模型的方法,所述方法包括：
  - a. 评估加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差；
  - b. 针对模型工厂不匹配 MPM 诊断模型预测控制 MPC, 用于更新模型预测控制器中的模型及其 MPC ;其中诊断所述 MPC 包括：
    - a. 确定与 MPM 相关的模型预测误差, 其中确定与 MPM 相关的模型预测误差包括：
      - i. 向所述加工厂中的所述控制器的设置点值添加白噪声,
      - ii. 向所述加工厂中的所述控制器和所述 MPC 的现有模型提供具有添加的白噪声的设置点值,
      - iii. 通过计算所述加工厂的输出值与所述 MPC 的所述现有模型的输出值之间的差来估计所述模型预测误差,
    - b. 使用所述模型预测误差与所述 MPC 的每一个操控变量之间的非零滞后相关系数量化所述 MPM, 所述 MPC 的所述操控变量是所述加工厂中的所述控制器的所述具有添加的白噪声的设置点值 ;以及
    - c. 基于所量化的 MPM 来更新所述模型预测控制器中的所述模型以便校正所述模型；
    - d. 基于所述 MPC 的所校正的模型来校正加工厂的操作性能等级与期望性能等级的所述偏差。
  2. 如权利要求 1 所述的方法,其中评估所述加工厂的所述操作性能等级与所述期望性能等级的偏差包含监视所述 MPC 的性能 ;以及检测造成所述偏差的原因,所述加工厂的所述操作性能等级与所述期望性能等级的所述偏差对应于 MPM。
  3. 如权利要求 1 所述的方法,其中诊断所述 MPC 包含通过针对所述 MPM 校正所述 MPC 的模型及其所述 MPC 来校正所述加工厂的所述操作性能等级与所述期望性能等级的所述偏差。
  4. 如权利要求 1-3 中任一项所述的方法,其中离线或在线执行所述模型更新。
  5. 如权利要求 1-3 中任一项所述的方法,其中所述加工厂中涉及的过程是开环或闭环。
  6. 如权利要求 1-3 中任一项所述的方法,其中所述模型包含所述加工厂的整个模型和 / 或其子模型。
  7. 一种用于根据权利要求 1-6 中任一项所述的方法更新模型预测控制器中模型的系统,所述系统包括：
    - 性能监视单元,用于监视所述 MPC 的性能；
    - 检测单元,用于检测所述加工厂的所述操作性能等级与所述期望性能等级的偏差的原因；
    - 白噪声生成单元,用于生成特征上仅足以计算非零滞后相关系数的白噪声信号；
    - 估计器单元,用于通过计算所述加工厂的输出值与所述 MPC 的现有模型的输出值之间的差来估计所述模型预测误差；
    - 量化器单元,用于量化所述 MPM ;以及
    - 更新器单元,用于基于量化的 MPM 提供更新模型并更新所述模型预测控制器中所述加工厂的模型。

## 用于更新模型预测控制器中模型的方法和系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及模型预测控制 (MPC)，并且更具体地说，涉及用于更新模型预测控制器中模型的方法和系统。

### 背景技术

[0002] 在过程控制工业中，采用先进过程控制 (APC) 以便降低操作成本，获得高生产率，始终如一地保持质量，还有其它类似原因。APC 允许从过程控制工业的目前操作方案变换到改进且更大生产率的操作方案，并且还适应过程控制工业中涉及的过程的操作和设计约束。

[0003] 一般而言，多变量 APC 在多变量预测控制器中实现了更流行的先进多变量控制方案，称为模型预测控制 (MPC)。MPC 使用加工厂中涉及的过程的数学模型，以便预测过程的未来动态行为，从而提供其工厂的过程和操作的最优操控变量。由此，可以理解，模型的准确性是有效且成功实现 MPC 的关键要素。

[0004] 实际上，工厂动态特性改变，从而引起模型与工厂之间的不匹配。该不匹配称为模型工厂不匹配 (MPM)。MPM 导致工厂动态特性的不准确预测。使用模型受所述 MPM 影响的 APC 将降级 MPC 及其总体控制性能，这因此改变产品质量并引起经济损失。

[0005] 为了消除控制器的性能降级，在检测到差的控制器性能时更新模型变得很重要。可通过良好确立的 MPC 性能监视来检测差的控制器性能。例如，简单方法可以是分析预测误差，预测误差是模型预测与真实输出之间的差。在检测到差的控制器性能之后，可识别并使用确立的诊断技术诊断造成差的控制器性能的原因，诸如差的模型（即 MPM）、未测量的干扰以及约束饱和等。

[0006] 当前，在识别或检测到差的模型时，MPM 由模型诊断，并在重新识别模型之后诊断。重新识别模型涉及设计扰动信号、判定和 / 或考虑扰动期间工厂的操作条件、选择适当模型并估计模型参数。这要求专业程度高并且相当耗时。还有，更重要的是，它涉及较长的扰动周期，由此在扰动周期期间制造大量或大数量质量低的产品，通常称为不合格产品。

[0007] 因而，存在对于显著降低扰动周期并更有效地降低和 / 或消除 MPM 的替换方法的需要。

[0008] 发明目的

[0009] 本发明的一个目的是降低诊断 MPM 期间的扰动周期以便降低和 / 或消除 MPM。

[0010] 本发明的另一目的是更有效地降低 MPM。

### 发明内容

[0011] 本发明旨在提供用于更新加工厂的模型预测控制器中模型的方法和系统，以便降低和 / 或消除由 MPM 引起的、加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差。

[0012] 相应地，本发明提供了用于模型预测控制器中的模型更新的方法。该方法包括评估加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差的步骤。通过更新模型预测控制器中的模

型及其 MPC 针对模型工厂不匹配 (MPM) 诊断模型预测控制 (MPC)。诊断所述 MPC 包括确定与 MPM 相关的模型预测误差。然后，量化 MPM 并更新所述模型预测控制器中的模型。

[0013] 相应地，本发明还提供了用于根据本发明方法更新模型预测控制器中模型的系统。该系统包括用于监视 MPC 性能的性能监视单元、用于检测造成加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差的原因的检测单元以及用于生成特征上仅足以计算  $m+1$  个非零滞后相关系数的白噪声信号的白噪声生成单元，其中  $m$  是 MPC 的操控变量数。提供估计器单元用于通过计算加工厂的控制器的输出值与 MPC 的现有模型的输出值之间的差来估计模型预测误差。还有，提供量化器单元用于量化 MPM。另外，该系统还具有更新器单元用于基于量化的 MPM 提供更新模型，并用于更新模型预测控制器中加工厂的模型。

## 附图说明

[0014] 参考附图，附图中：

[0015] 图 1 描绘了加工厂中的典型模型预测控制设置；以及

[0016] 图 2 示出了根据本发明的模型预测控制器中的模型更新的框架。

## 具体实施方式

[0017] 参考图 1 和 2 作为非详尽性示范实施例的例证描述本发明。

[0018] 在图 1 中，加工厂 (100) 由分布式控制系统 DCS (110) 中的初级等级控制器、诸如 PID 控制器等控制。提供了模型预测控制 (120)，模型预测控制 (120) 使用加工厂中涉及的过程的数学模型，下文称为模型，以便预测过程的未来动态行为，相应地提供其工厂的过程和操作的最优操控变量。提供性能监视单元 (130) 用于监视 MPC (120) 的性能。另外，检测单元 (140) 检测造成加工厂的操作性能等级与期望性能等级的偏差的原因。

[0019] 设想本文上面提到的偏差已经由作为模型与加工厂之间的不匹配的模型工厂不匹配 (MPM) 造成或由于模型工厂不匹配 (MPM) 而出现，还相对于加工厂的开环条件进一步说明本发明，该设想本质上不是约束性的，而纯粹是示范性的，以便更好地理解。

[0020] 针对 MPM 诊断 MPC 变成强制性的。本文进一步参考图 2 来描述本发明。本文提到的诊断还包含相对于校正所述偏差及其 MPM 来实现 MPC (220) 的模型 (240) 中的必要校正。

[0021] 相应地，离线采取 MPC (220)，其中向控制器的设置点值是具有预定值的恒定值，或者是紧接在离线采取 MPC (220) 之前从 MPC (220) 演进的。在后一情况下 MPC (220) 被视为在线，其中控制器的设置点是 MPC (220) 的操控变量。提供白噪声生成单元 (230) 用于生成白噪声信号，所述白噪声信号在特征上仅足以计算模型预测误差  $\epsilon$  与 MPC 的操控变量  $w_i(t)$  之间的 ( $m+1$  个，其中  $m$  是 MPC 的操控变量数) 非零滞后相关系数。白噪声信号被添加到设置点，如下式所示：

$$[0022] (SP_i)_{DCS,t} = SP_i(t) + w_i(t).$$

[0023] 这里， $SP_i(t)$  是在时刻  $t$  当 MPC 处于“离线”模式时的第  $i$  个设置点值， $w_i(t)$  是在时刻  $t$  的第  $i$  个白噪声序列中的值，并且  $(SP_i)_{DCS,t}$  是要到 DCS (210) 的第  $i$  个设置点值。应该注意，在 MPC (220) “在线”的情况下， $SP_i(t)$  由 MPC (220) 计算，并且因此是 MPC (220) 的操控变量。再者，在 MPC (220) “在线”模式下，

[0024]  $(SP_i)_{DCS,t} = SP_i(t) = MV_i(t)$ 。

[0025]  $(SP_i)_{DCS,t}$  值还被传到现有模型 (240), 现有模型 (240) 的输出由  $\hat{y}$  表示, 它们是受控变量的预测值。来自工厂 (200) 的受控变量的实际值由  $y$  表示。可通过在线测量或通过其它适当手段、诸如定期实验室分析获得来自工厂 (200) 的受控变量值。测量值  $y$  与模型 (240) 预测的值  $\hat{y}$  之间的差称为模型预测误差或模型残差, 并且由  $e$  表示。注意, 在图 2 中, 为了标示简单,  $(SP_i)_{DCS,t}$  由  $\bullet$  表示。

[0026] 量化器单元 (260) 计算  $e$  与  $\bullet$  之间的滞后相关系数。这些系数的值用于计算现有模型与当前工厂之间的“间隙”, 即量化 MPM。

[0027] 考虑加工厂的单输入和单输出开环条件, 为了理解上简单, 说明增益不匹配的如下情况。这绝不是约束性的, 而是纯粹示范性的, 并且相对本发明非详尽的。类似地, 本发明也适用于多输入和多输出以及闭环条件, 并且可共同扩展地应用。

[0028] 对于第一阶时延系统, 该多项式表示如下:

$$y(k) = a_1 y(k-1) + b u(k-t_{dp}) + \vartheta(k)$$

[0029]  $\hat{y}(k) = a_m \hat{y}(k-1) + b_m u(k-t_{dm})$ ,

[0030] 其中  $y(k)$  是工厂的输出;  $\hat{y}(k)$  是模型的输出; 且  $e(k)$  是模型误差;

[0031]  $a$  和  $b$  是工厂的参数;  $a_m$  和  $b_m$  是模型的参数;

[0032]  $k$  是采样时刻;

[0033]  $t_{dp}$  是工厂的时延;  $t_{dm}$  是模型的时延。

[0034] 仅考虑增益不匹配 (即  $a=a_m$  且  $t_{dp}=t_{dm}$ ) :

[0035]

$$e(k) = y(k) - \hat{y}(k) = a e(k-1) + (b - b_m) u(k-t_{dp}-1) + \vartheta(k) \quad (1)$$

[0036] 要注意, 即使在所有三个参数、即  $a$ 、 $b$  和  $t_d$  中都存在不匹配, 也可应用本发明的方法。为了简化原因, 仅考虑一个参数、即增益或  $b$  和  $b_m$  中的不匹配。

[0037] 现在, 给出在两个时间序列  $x_1$  与  $x_2$  之间的滞后  $m$  的相关系数:

[0038]

$$r_{xy} = \frac{E\{x_1(k)x_2(k-m)\}}{\sigma_{x1}\sigma_{x2}}$$

[0039]

$$r'_{xy} = r_{xy} \sigma_{x1} \sigma_{x2} = E\{x_1(k)x_2(k-m)\}$$

[0040] 然后, 根据等式 1,

[0041] 在滞后 0,  $r'_{xy} = E\{e(k)u(k)\} = 0$ ,

[0042] 在滞后 1,  $r'_{xy} = E\{e(k)u(k-1)\} = 0$ ,

[0043] 在滞后  $t_{dp}+1$ ,  $r'_{xy} = E\{e(k)u(k-t_{dp}-1)\} = (b - b_m) \sigma^2$ ,

[0044] 在滞后  $t_{dp}+2$ ,  $r'_{xy} = E\{e(k)u(k-t_{dp}-2)\} = a(b - b_m) \sigma^2$ ,

[0045] 在滞后  $t_{dp}+n$ ,  $r'_{xy} = E\{e(k)u(k-t_{dp}-n)\} = a^{n-1}(b - b_m) \sigma^2$ 。

[0046] 因而,在滞后  $t_{dp}+1$  观察到第一非零相关系数。此外,该相关显示出指数式衰减。

[0047] 现在,假设  $\hat{r}_{m+1}$  是在滞后  $t_{dp}+1$  在  $\mathbf{e}$  与  $\mathbf{u}$  之间观察到的相关系数。我们然后可写:

$$[0048] \hat{r}_{m+1} = \frac{(b - b_m) \sigma^2}{a_m}.$$

[0049] 这里,  $b - b_m$  是量化的 MPM。

[0050] 更新器单元 (270) 基于量化的 MPM 将现有模型 (240) 更新成更新模型 (280), 并更新模型预测控制器中 MPC(220) 的模型。MPC(220) 然后切换到在线模式。

[0051] 本发明还可扩展成以与本文之前在说明书中所描述的类似方式更新子模型。由于 MPM 而需要更新的子模型的识别可通过已知技术(诸如应用部分相关分析的技术或任何其它适当技术或方法) 来完成。这样,在子模型级更新模型还减少了更新 MPM 的模型的工作, 并变得更有效。

[0052] 因而,视情况而定,本发明可应用于更新整个模型或子模型。

[0053] 此说明书中描述的示范实施例相对于本发明的范围实质上不是约束性的。将满足相同功能性和方法并且在本说明书中未明确提到或阐述的其它修改、改变、变化被视为也在本发明的范围内。在本发明范围的意义内,使用单数术语将包含其复数形式,并且反之亦然。

[0054] 本发明在化学和石油化学、水泥、制浆和纸以及医药工业中发现了广泛用途,这里举出了几个示例。一些其它应用包含发电、供应链管理和行为健康等。

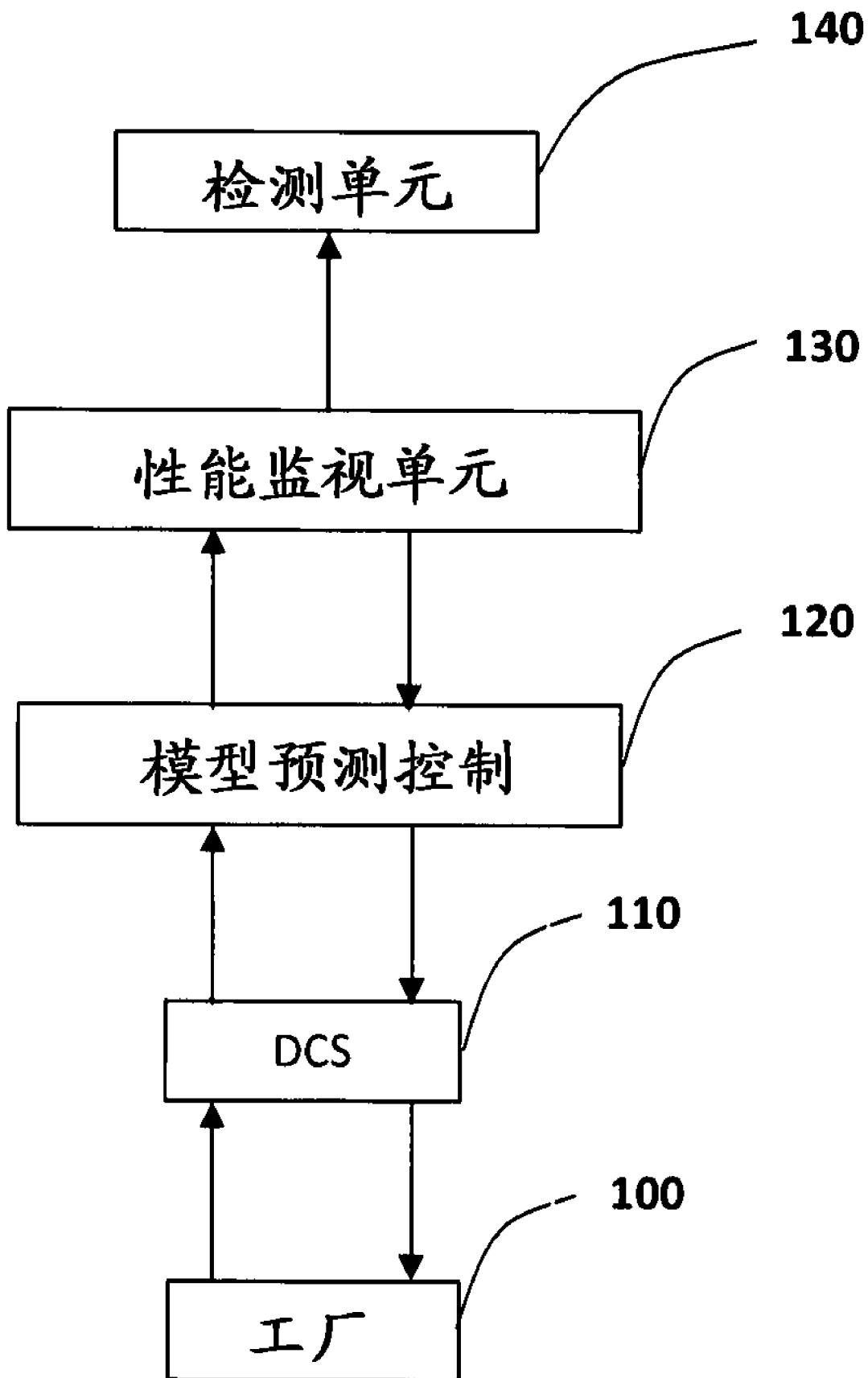


图 1

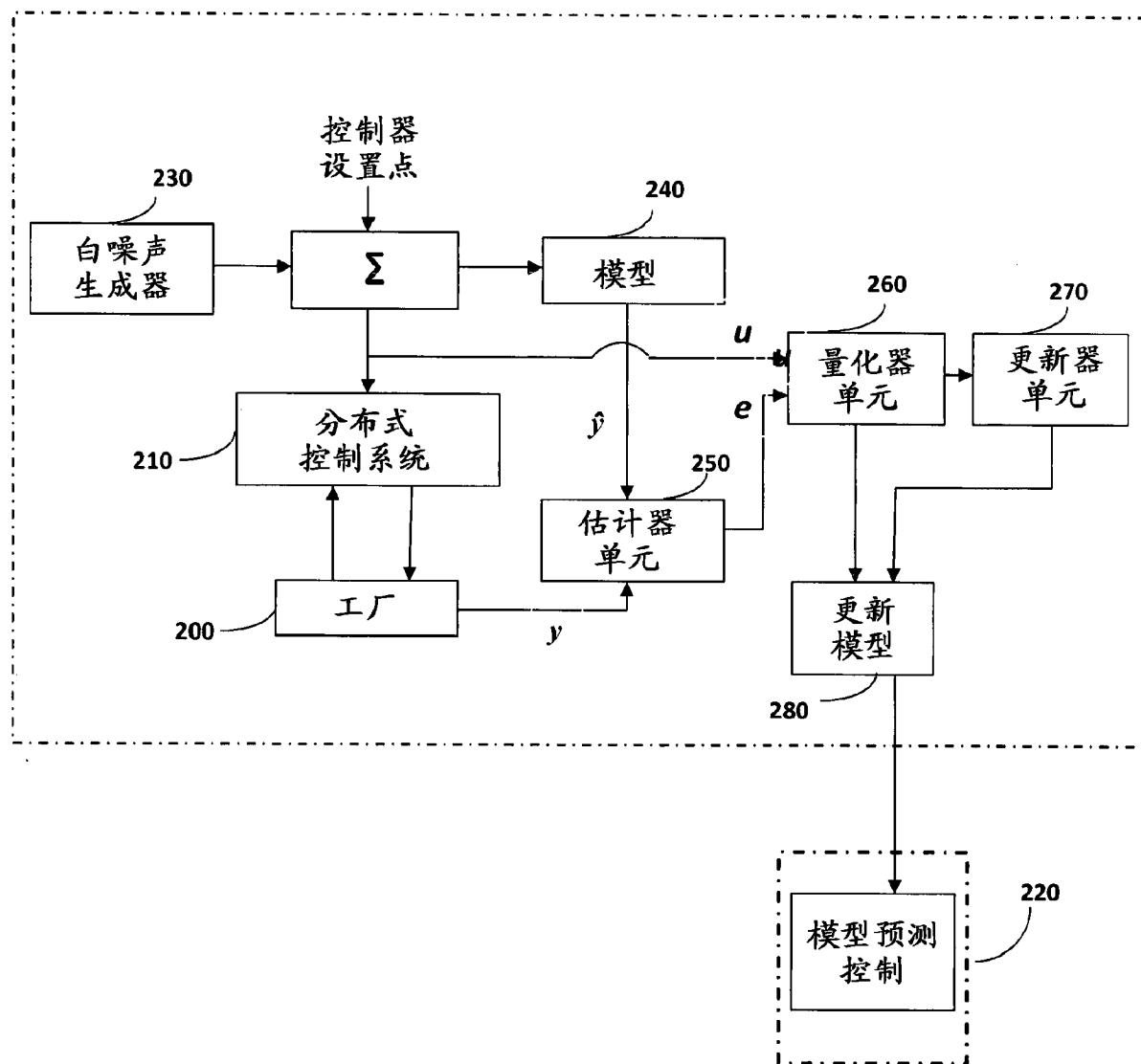


图 2