



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106575104 A

(43)申请公布日 2017. 04. 19

(21)申请号 201580043474.7

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(22)申请日 2015.08.13

代理人 曹雯

(30)优先权数据

62/036,928 2014.08.13 US

(51)Int.Cl.

G05B 13/04(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

G05B 17/02(2006.01)

2017.02.13

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2015/045051 2015.08.13

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/025710 EN 2016.02.18

(71)申请人 费希尔-罗斯蒙特系统公司

地址 美国德克萨斯州

(72)发明人 W·K·沃杰茨尼斯 T·布莱文斯

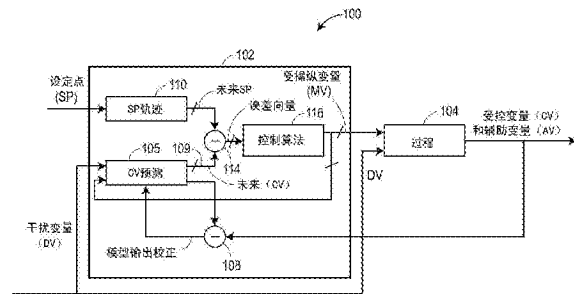
权利要求书6页 说明书19页 附图13页

(54)发明名称

使用无线过程信号的模型预测控制

(57)摘要

多输入/多输出控制例程以模型预测控制(MPC)例程的形式以无线或其他传感器来操作,该无线或其他传感器以慢于MPC控制器扫描或执行速率的有效速率提供非周期性、间歇性或其他延迟过程变量测量信号。甚至当针对受控过程变量的测量扫描周期显著大于MPC控制器例程的操作扫描周期时,无线MPC例程也正常操作,同时提供能够以鲁棒和可接受的方式控制过程的控制信号。在操作期间,MPC例程在没有在扫描周期期间执行模型偏差校正的情况下使用内部过程模型以模拟一个或多个所测量的过程参数值,其中,没有新的过程参数测量结果被传输到控制器。当针对特定过程变量的新的测量结果在控制器中可用时,根据典型的MPC技术,基于新的测量结果值的模型偏差校正来更新模型预测和模拟参数值。



1. 一种过程控制器,所述过程控制器用于控制执行过程的一组过程设备,所述过程控制器包括:

设定点输入端,所述设定点输入端接收用于所述过程中的受控过程变量的设定点;

过程变量输入端,所述过程变量输入端接收所述受控过程变量的测量值;

过程模型,所述过程模型在多个执行循环中的每个执行循环期间产生所述受控过程变量的一个或多个预测值;

控制信号发生器,所述控制信号发生器耦接到所述过程模型并且耦接到所述设定点输入端,所述控制信号发生器在所述多个执行循环中的每个执行循环期间进行操作,以使用所述设定点和由所述过程模型在所述执行循环期间所产生的所述受控过程变量的一个或多个预测值,来产生用于控制所述过程设备的控制信号,由此朝向所述设定点驱动所述受控过程变量;以及

模型偏差校正单元,所述模型偏差校正单元耦接到所述过程变量输入端并且耦接到所述过程模型,其中,所述模型偏差校正单元确定要由所述过程模型应用的模型校正,以产生所述受控过程变量的预测值;

其中,所述控制信号发生器和所述过程模型以执行速率来操作连续的执行循环;

其中,所述过程变量输入端以小于所述控制信号发生器和所述过程模型的执行速率的速率来接收所述受控过程变量的测量值;

其中,所述模型偏差校正单元在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,基于针对所述特定时间的所述受控过程变量的之前预测值和针对所述特定时间的所述受控过程变量的新接收的测量值来产生新的模型校正;并且

其中,仅在与所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,所述过程模型利用所述新的模型校正来偏移一个或多个算得的预测受控过程变量值,以产生所述受控过程变量的一个或多个预测值。

2. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述控制信号发生器和所述过程模型的所述执行速率是周期性执行速率。

3. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述模型偏差校正单元在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间仅产生新的模型校正。

4. 根据权利要求3所述的过程控制器,其中,所述过程模型在与接收到所述受控过程变量的新的测量值不相关联的执行循环期间使用所述模型校正的之前算得的值。

5. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程模型是迭代过程模型,所述迭代过程模型使用所述受控过程变量的之前算得的预测值,来在每个执行循环期间产生所述受控过程变量的新的预测值,并且其中,所述过程模型仅在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,将所述新的模型校正应用到所述受控过程变量的新的预测值。

6. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程变量输入端以小于所述控制信号发生器和所述过程模型的执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

7. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程变量输入端以非周期性速率来接

收所述受控过程变量的新的测量值。

8. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程变量输入端以间歇性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

9. 根据权利要求1所述的过程控制器,还包括状况发生器,其中,所述状况发生器指示所述控制器在所述过程变量输入端处未接收到所述受控过程变量的新的测量值的执行循环中处于第一无错状况状态,并且指示所述控制器在所述过程变量输入端处已接收到所述受控过程变量的新的测量值的执行循环中处于第二无错状况状态。

10. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述控制信号发生器是模型预测控制器。

11. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程模型在每个执行循环期间,产生在时间范围上的多个不同的将来时间处的所述受控过程变量的预测值。

12. 根据权利要求11所述的过程控制器,其中,所述过程模型在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,以所述模型校正来偏移在时间范围上的所述多个不同的将来时间处的所述受控过程变量的预测值中的每一个预测值。

13. 根据权利要求1所述的过程控制器,其中,所述过程变量输入端包括标记生成单元,所述标记生成单元生成用于指示接收到所述受控过程变量的新的测量值的标记,并且其中,所述过程模型使用所述标记来确定哪个执行循环与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联。

14. 一种控制过程的方法,包括:

在计算机处理设备以执行速率来实施控制例程的多个执行循环,以生成用于在每个执行循环期间控制所述过程的控制信号,包括:

在所述控制例程的每个执行循环期间,执行以下操作:

在所述计算机处理设备上执行过程模型,以产生所述过程中的受控过程变量的一个或多个预测值;并且

在所述计算机处理设备上确定用于控制所述过程的控制信号,由此控制所述受控过程变量,包括使用设定点和在所述执行循环期间由所述过程模型所产生的所述受控过程变量的一个或多个预测值,来产生用于控制所述过程设备的控制信号;并且

还包括在所述执行循环中的多个执行循环期间,在用以确定所述控制信号之前调节所述受控过程变量的一个或多个预测值,包括:

以小于所述执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值;

经由所述计算机处理设备确定要被应用到所述受控过程变量的一个或多个预测值的新的模型偏差校正,包括在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,基于针对特定时间的所述受控过程变量的之前预测值和针对所述特定时间的所述受控过程变量的新接收的测量值来产生新的模型偏差校正;以及

仅在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,利用所述新的模型偏差校正来调节由所述过程模型开发的所述受控过程变量的预测值中的一个或多个预测值,以产生所述受控过程变量值的一个或多个经校正的预测值。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,确定要被应用到所述受控过程变量的一个或多个预测值的新的模型偏差校正包括仅在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联

的所述执行循环期间确定所述新的模型偏差校正。

16. 根据权利要求14所述的方法,还包括:在与接收到所述受控过程变量的新的测量值不相关联的执行循环期间,使用所述模型校正的之前算得的值,以调节所述受控过程变量的一个或多个预测值。

17. 根据权利要求14所述的方法,其中,执行过程模型以产生受控过程变量的一个或多个预测值包括执行迭代过程模型,所述迭代过程模型使用所述受控过程变量的从之前的执行循环中算得的预测值,以产生针对当前执行循环的所述受控过程变量的新的预测值,并且包括仅在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的所述执行循环期间,利用所述新的模型偏差校正来调节针对所述当前执行循环由所述过程模型开发的所述受控过程变量的预测值中的一个或多个预测值,以产生所述受控过程变量值的一个或多个经校正的预测值。

18. 根据权利要求14所述的方法,其中,以小于所述执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值包括以小于所述执行速率的周期性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

19. 根据权利要求14所述的方法,其中,以小于所述执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值包括以非周期性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

20. 根据权利要求14所述的方法,其中,以小于所述执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值包括以间歇性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

21. 根据权利要求14所述的方法,还包括使用所述计算机处理设备生成状况指示,所述状况指示指示在新的过程变量测量未被接收的执行循环中的第一无错状态状况,并且指示在新的过程变量测量已被接收的执行循环中的第二无错状态状况。

22. 根据权利要求14所述的方法,其中,确定用于控制所述过程的控制信号包括在所述计算机处理设备上使用模型预测控制例程以生成所述控制信号。

23. 根据权利要求14所述的方法,其中,执行所述过程模型包括在每个执行循环期间产生在时间范围上的多个不同的将来时间处的所述受控过程变量的预测值。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中,利用所述模型偏差校正来调节由所述过程模型开发的所述受控过程变量的预测值中的一个或多个预测值包括:在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,以所述模型偏差校正来偏移在时间范围上的所述多个不同的将来的时间处的所述受控过程变量的预测值中每一个预测值。

25. 根据权利要求14所述的方法,还包括:使用所述计算机处理设备生成标记,当接收到所述受控过程变量的新的测量值时,所述标记指示接收到所述受控过程变量的新的测量值,并且使用所述标记以确定哪个执行循环与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联。

26. 一种用于控制过程的设备,包括:

处理器;

通信接口,所述通信接口耦接到所述处理器,以接收过程变量测量结果;

计算机可读介质;以及

控制例程,所述控制例程存储在所述计算机可读介质上,所述控制例程在所述处理器上执行,以产生用于控制所述过程的受控过程变量的控制信号,其中,所述控制例程以执行

速率来串行地执行多个执行循环,来在每个执行循环期间生成所述控制信号的新值,并且其中所述控制例程包括;

过程模型,所述过程模型在所述多个执行循环中的每个执行循环期间在所述处理器上执行,以产生所述受控过程变量的一个或多个预测值;

控制信号发生器,所述控制信号发生器耦接到所述过程模型,所述控制信号发生器在所述多个执行循环中的每个执行循环期间在所述处理器上执行,以使用设定点和在所述执行循环期间由所述过程模型产生的所述受控过程变量的一个或多个预测值,来产生所述控制信号;以及

模型偏差校正单元,所述模型偏差校正单元耦接到所述通信接口并且耦接到所述过程模型,其中,所述模型偏差校正单元在所述处理器上执行,以确定由所述过程模型应用的模型校正,来产生所述受控过程变量的预测值;

其中,所述通信接口以小于所述控制例程的执行速率的速率来接收所述受控过程变量的新的测量值;

其中,所述模型偏差校正单元在与在所述通信接口处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间基于针对特定时间的所述受控过程变量的之前预测值和针对所述特定时间的所述受控过程变量的新的测量值来产生新的模型校正;并且

其中,在与在所述通信接口处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,所述过程模型使用所述新的模型校正以产生所述受控过程变量的一个或多个预测值,并且在不同于与所述接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环的执行循环期间,使用之前算得的模型校正以产生所述受控过程变量的一个或多个预测值。

27. 根据权利要求26所述的设备,其中,所述过程模型是迭代过程模型,所述迭代过程模型使用在之前执行循环期间确定的所述受控过程变量的预测值,以在当前执行循环期间产生所述受控过程变量的新的预测值,并且其中,仅在与接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,所述过程模型使用所述新的模型校正,以调节在当前执行循环期间确定的所述受控过程变量的所述新的预测值,并且其中,在与接收到所述受控过程变量的新的测量值不相关联的执行循环期间,所述过程模型使用之前算得的模型校正,通过不调节在当前循环期间确定的所述受控过程变量的所述新的预测值,来产生所述受控过程变量值的一个或多个预测值。

28. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述控制例程的执行速率是周期性执行速率。

29. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述模型偏差校正单元在与在所述通信接口处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间仅产生新的模型校正。

30. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述通信接口以小于所述控制例程执行的行速率的周期性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

31. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述通信接口以非周期性速率来接收所述受控过程变量的新的测量值。

32. 根据权利要求27所述的设备,还包括状况发生器,其中,所述状况发生器在所述处理器上执行,以指示在所述过程变量输入端处未接收到所述受控过程变量的新的测量值的执行循环中的第一无错状态状况,并且指示在所述过程变量输入端处已接收到所述受控过程变量的新的测量值的执行循环中的第二无错状态状况。

33. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述控制信号发生器是模型预测控制器。

34. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述过程模型在每个执行循环期间产生在时间范围上的多个不同的将来时间处的所述受控过程变量的预测值。

35. 根据权利要求27所述的设备,其中,所述通信接口在所述处理器上执行以生成标记,所述标记指示在所述通信接口处接收到所述受控过程变量的新的测量值,并且其中所述控制例程使用所述标记以确定哪个执行循环与在所述通信接口处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联。

36. 一种用于同时控制过程中的多个受控过程变量的多速率控制器,所述多速率控制器包括:

过程变量输入端,所述过程变量输入端接收所述多个受控过程变量中的每个受控过程变量的测量值;

过程模型,所述过程模型在多个执行循环中的每个执行循环期间产生所述多个受控过程变量中的每个受控过程变量的一个或多个预测值;

控制信号发生器,所述控制信号发生器耦接到所述过程模型,所述控制信号发生器在所述多个执行循环中的每个执行循环期间操作,以使用针对所述多个受控过程变量中的每个受控过程变量的设定点和在所述执行循环期间由所述过程模型产生的所述多个受控过程变量中的每个受控过程变量的一个或多个预测值,来产生用于控制所述过程的一个或多个控制信号;以及

模型偏差校正单元,所述模型偏差校正单元耦接到所述过程变量输入端并且耦接到所述过程模型,其中,所述模型偏差校正单元针对所述多个受控过程变量中的每个受控过程变量确定不同的模型校正,其中,所述不同的模型校正由所述过程模型使用,以产生所述多个受控过程变量中的各个不同的受控过程变量的一个或多个预测值;

其中,所述控制信号发生器和所述过程模型以执行速率操作执行循环;

其中,所述过程变量输入端以小于所述控制信号发生器和所述过程模型的执行速率的速率来接收所述受控过程变量中的至少一个受控过程变量的新的测量值;

其中,所述模型偏差校正单元在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,基于针对特定时间的所述受控过程变量的之前预测值和针对所述特定时间的所述受控过程变量的新的测量值来产生针对所述多个受控过程变量的新的模型校正;并且

其中,仅在与在所述过程变量输入端处接收到所述受控过程变量的针对特定的受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,所述过程模型利用针对所述特定的受控过程变量的所述新的模型校正来偏移所述特定的受控过程变量的一个或多个算得的预测过程变量值,以产生所述特定的受控过程变量值的一个或多个预测值。

37. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述多个受控过程变量中的不同的受控过程变量的过程变量的测量以不同的速率来接收。

38. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述多个受控过程变量中的至少两个或更多个受控过程变量中的每个受控过程变量的过程变量的测量以非周期性速率来接收。

39. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述多个受控过程变量中的至少一个受控过程变量的过程变量的测量以等于或大于所述执行速率的速率来接收。

40. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,在与接收到所述受控过程变量中的所述特定一个受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,针对所述受控过程变量中的特定一个受控过程变量的所述模型偏差校正单元针对所述受控过程变量中的所述特定一个受控过程变量仅产生新的模型校正。

41. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述过程模型是迭代过程模型,所述迭代过程模型使用每个所述受控过程变量的之前算得的预测值,以在每个执行循环期间针对每个所述受控过程变量来产生新的预测值,并且其中,所述过程模型仅在与接收到所述特定受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,针对任意特定受控过程变量来将所述新的模型校正应用到所述特定受控过程变量的新的预测值。

42. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述控制信号发生器是模型预测控制器。

43. 根据权利要求36所述的多速率控制器,其中,所述过程模型在每个执行循环期间产生在时间范围上的多个不同的将来时间处的针对每个所述受控过程变量的预测值。

44. 根据权利要求43所述的多速率控制器,其中,在与所述过程变量输入端处接收到所述特定受控过程变量的新的测量值相关联的执行循环期间,所述过程模型针对所述受控过程变量中的特定受控过程变量利用所述模型校正来偏移在时间范围上的多个不同的将来时间处的所述受控过程变量中的所述特定受控过程变量的每个所述预测值。

使用无线过程信号的模型预测控制

[0001] 相关申请

[0002] 本常规提交申请要求于2014年8月13日提交的美国临时申请号62/036,928,名称为“使用无线过程信号的模型预测控制”的申请的优先权和权益,其全部公开内容由此明确地通过引用包含于此。

技术领域

[0003] 本专利涉及实施使用非周期性或间歇性控制通信的基于模型的控制,并且更具体来说,涉及配置为使用通过使用例如过程控制系统的无线通信网络来传递的非周期性或间歇性更新的过程控制信号鲁棒地执行多输入/多输出、基于模型的控制、诸如模型预测控制的设备和方法。

背景技术

[0004] 过程控制系统(诸如那些在化学、石油或其它过程中使用的分布式或大型过程控制系统)通常包括一个或多个过程控制器,该一个或多个过程控制器经由模拟、数字或组合的模拟/数字的总线相互通信耦接、通信耦接到至少一个主机或操作员工作站,以及耦接到一个或多个现场设备。现场设备可以是例如阀、阀定位器、开关、变送器(例如温度、压力和流速传感器),现场设备在过程中执行功能,诸如打开或关闭阀以及测量过程参数。过程控制器接收由现场设备所获得的过程测量结果的和/或关于现场设备的其它信息的指示信号,并且使用该信息以实施控制例程,以生成控制信号,该控制信号通过总线发送到现场设备以控制过程的操作。来自现场设备和控制器的信息通常可供由操作者工作站执行的一个或多个应用程序使用,以使得操作者能够执行任意期望的关于过程的功能、诸如查看过程的当前状况、修改过程的操作等等。

[0005] 某些过程控制系统(诸如由艾默生过程管理出售的DeltV[®]系统)使用被指为位于控制器中或位于不同的现场设备中的模块的功能块或功能块组,以执行控制和/或监视操作。在这些情况下,控制器或其他设备能够包括和执行一个或多个功能块或模块,该一个或多个功能块或模块中的每个功能块或模块接收来自其他功能块的输入和/或提供输出给其他功能块(在相同的设备内或在不同的设备内),并且执行某些过程操作,诸如测量或检测过程参数、监视设备、控制设备,或执行控制操作(诸如比例积分微分(proportional-derivative-integral,PID)控制例程,模型预测控制(model predictive control,MPC)例程等等的实施)。过程控制系统内的不同的功能块和模块通常被配置为相互间通信(例如通过总线),以形成一个或多个过程控制回路。

[0006] 过程控制器通常被编程为针对多个不同的、针对过程而限定的或包含在过程内的回路(诸如流动控制回路、温度控制回路、压力控制回路等等)执行不同的算法、子例程或控制回路(这些都是控制例程)。一般来说,每个这样的控制回路包括一个或多个输入块、诸如模拟输入(analog input,AI)功能块、单输入/单输出或多输入/多输出控制块(诸如比例积分微分(PID)或模糊逻辑控制功能块),以及输出块(诸如模拟输出(analog output,AO)功

能块)。控制例程和实施这样的例程功能块已根据多个控制技术来配置,该多个控制技术包括PID控制、模糊逻辑控制和基于模型的技术诸如Smith预估器或模型预测控制(MPC)。

[0007] 为了支持例程的执行,典型的工业或过程工厂具有集中式控制室,控制室通信耦接到一个或多个过程控制器和过程I/O子系统,这些过程控制器和过程I/O子系统继而连接到一个或多个现场设备。传统上,模拟现场设备已通过既用于传输信号又用于供电的两线或四线电流回路连接到控制器。模拟现场设备(例如传感器或变送器)将信号传输到控制室,调制通过电流回路的电流,以使得电流与所感测的过程变量成比例。另一方面,在控制室的控制之下执行动作的模拟现场设备受通过回路的电流幅度控制。

[0008] 随着数据传送的数量增加,过程控制系统设计的一个特别重要的方面涉及到现场设备相互通信耦接的方式、现场设备耦接到控制器的方式、以及现场设备耦接到其他在过程控制系统或过程工厂内的系统或设备的方式。通常,使得现场设备能够在过程控制系统内起作用的不同的通信通道链接和路径通常被统称为输入/输出(I/O)通信网络。

[0009] 被用以实施I/O通信网络的通信网络拓扑和物理连接或路径可以对现场设备通信的鲁棒性或完整性具有实质的影响,特别当网络受到不利的环境因素或恶劣的条件影响时。这些因素和条件可以折损一个或多个现场设备、控制器等等之间通信的完整性。控制器和现场设备之间的通信对任意这样的中断是特别敏感的,由于监视应用程序或控制例程通常需要周期性地针对例程的每个迭代更新过程变量。受折损的控制通信由此可以导致过程控制系统效率和/或盈利能力降低,并且导致过度磨损或导致对设备的损害,以及任意数量的潜在有害失效。

[0010] 为了确保鲁棒的通信,用于过程控制系统中的I/O通信网络在过去是硬连线的。不幸的是,硬连线的网络带来多个的复杂性、挑战和限制。例如,硬连线的网络的质量可以随着时间而变差。此外,硬连线的I/O通信网络的安装通常是昂贵的,特别在与分布在大片区域上的大型工业工厂或设施、例如占据数亩土地的炼油厂或化学工厂相关联的I/O通信网络的情况下。所需的长布线通常需要大量劳动力、材料和花费,并且可以带来由于布线阻抗和电磁干扰引起的信号衰减。针对这些以及其他原因,硬连线的I/O通信网络通常是难以重新配置、修改或更新的。

[0011] 在某些情况下,无线I/O通信网络被用以缓解与硬连线的I/O网络相关联的某些难点。例如,名称为“用于控制材料流动的具有连接到工业过程控制现场设备的无线收发器以提供冗余无线接入的分布式控制系统”的美国专利7,519,012公开了利用无线通信以增加或补充硬连线通信的使用的一种系统,其全部公开内容由此明确地通过引用包含于此。

[0012] 除了其他事情外,对针对与控制相关的传输的无线通信的依赖通常由于可靠性问题而已受限制。如上所述,现代的监视应用程序和过程控制依赖于控制器和现场设备之间可靠的数据通信,以获得理想的控制等级。此外,典型的控制器以快的速率执行控制算法以快速地校正过程中的非期望偏差。非期望的环境因素或其他不利条件可能创造间歇性的干扰,该干扰阻碍或防止对支持这样的监视的和控制算法的执行而言必要的快速通信。幸运的是,无线网络在之前数十年间已变得更为鲁棒,使无线通信在某些类型的过程控制系统中的能够可靠使用。

[0013] 然而,当在过程控制应用程序中使用无线通信时,功耗仍然是一个复杂因素。因为无线现场设备与I/O网络物理地分离,所以现场设备通常需要提供它们自身的电源。因此,

现场设备可以通过电池供电、提取太阳能或“窃取”环境能量诸如振动、热、压力等等。对于这些设备,消耗用于数据传输的能量可能构成总能耗的一大部分。事实上,在建立和维持无线通信连接期间比在由现场设备执行任意其他重要的操作(诸如进行感测或检测被测量的过程变量的步骤)期间可以消耗更多能量。为了降低无线设备中的功耗并由此延长电池寿命,建议实施这样的无线过程控制系统,在该无线过程控制系统中,现场设备、诸如传感器与控制器以非周期性或间歇性的方式通信。在一情况下,现场设备可以仅当已检测出在过程变量中有显著改变时,或当未检测出显著改变时每隔限定的通信时间段一次地与过程变量测量结果通信或将过程变量测量结果发送到控制器,导致与控制器的非周期性或间歇性通信。

[0014] 不幸的是,典型的过程控制在假定以下的情况下设计,即每当控制器执行新的控制信号计算时,新的过程变量测量结果是可供使用的,从而控制器响应于受控过程变量的最近的测量值。然而,以上述方式使用无线通信、特别是用以将受控变量测量结果发送到控制器可以导致这样的情况,在所述情况下,控制器不针对每个控制器扫描而接收新的控制信号更新或反馈测量结果。作为结果,当在无线或非周期性更新的情况下使用时,典型的或标准的控制例程不像接收周期性或有线更新的控制例程一样柔和或准确地操作。

[0015] 该问题已在简单的、单输入/单输出控制例程中加以考虑处理、诸如那些使用比例积分微分(PID)的控制例程。例如,已针对PID控制例程而开发以处理非周期性过程变量测量更新的一种控制技术使用一控制系统,该控制系统提供和维持期望的过程响应的指示,该过程响应是对于由控制器在非频繁、非周期性测量更新之间产生的控制信号的响应。期望的过程响应可以由一数学模型来开发,该数学模型计算对于针对给定的测量更新的控制信号的预期的过程响应。在名称为“无线和其他过程控制系统中的非周期性控制通信”的美国7,587,252号专利中描述该技术的一示例,其全部公开内容由此明确地通过引用包含于此。特别地,该专利公开了具有滤波器的控制系统,该滤波器当接收到非周期性过程变量测量更新时生成期望的对于控制信号的过程响应的指示,并且维持所生成的期望的过程响应的指示直到到达下个非周期性过程变量测量更新。作为一另外的示例,名称为“具有非可靠通信的过程控制”的美国7,620,460号专利公开了包括滤波器的系统,该滤波器提供期望的对于控制信号的过程响应的指示,但是该专利还修改该滤波器以包含自从最后的非周期性测量更新经过的时间的测量结果,由此以生成更准确的期望的过程响应的指示,其全部公开内容由此明确地通过引用包含于此。

[0016] 然而,许多控制应用程序除了单输入/单输出例程如PID控制例程以外使用其他类型的控制例程。例如,模型预测控制(MPC)变得被广泛使用于许多过程中。实际上,多年来MPC已经被证明为最有效的高级控制技术并且已被安装在上千个工厂中,用于控制多变量交互过程。通常,将MPC操作与线性或非线性优化器集成,如此,传递显著的经济效益,并被发现提高生产率且提升产品质量。

[0017] 然而,如上所指示,随着无线测量在过程工业中的迅速传播,用于MPC系统中的许多测量结果可以是无线。然而,为了有效的使用这些信号,MPC例程需要能够使用非周期性或间歇性测量结果诸如那些由特定类型的无线通信系统提供的测量结果进行部分地或完全地操作。当前已知没有这样的MPC例程。

[0018] 充其量在过去MPC操作已被配置以应对短时间段,在所述短时间段中,反馈测量结

果由于通信网络中检测到的故障而不可用。例如,在某些近期的MPC设计中,当针对该过程控制变量的测量信号由于系统中的某些检测到的故障(诸如由于与测量设备通信的丢失,该测量设备检测测量结果的问题)等等而被指示为“故障”时,由MPC产生的程控制变量的模拟测量结果被用以有助于MPC控制器在预限定时间段内的操作。在这些情况下,当测量信号具有“故障”状况时,MPC例程针对仅在从自动控制模式改变到手动或局部控制模式之前的受限时间段使用由MPC例程产生的模拟测量结果来进行操作,在该手动或局部控制模式下,用户或其他控制例程必须主动地在操作方面监视或辅助MPC控制器。在这些情况下,模拟测量结果的使用仅在受限时间段内执行,以延迟从自动控制模式(在该模式下,MPC例程被用于执行控制)转换手动或局部控制模式(在该模式下,MPC例程不是主控制器)。此外,该技术仅响应于系统的检测到的故障而执行,并且不作为过程操作期间的标准进程。因此,在该情况下,在MPC配置中作为受控或受约束变量(Controlled or Constrained variable, CV) (“良好的”或“故障”)的模拟输入(AI)测量结果的状况、以及如果AI输出状况变为“故障”,限定针对使用模拟过程值的最大时间以及限定MPC失效动作的类型(例如转换到局部或手动模式)在MPC配置过程期间被限定,其中,受控或受约束变量被限定为MPC是使用了AI测量结果还是使用了模拟过程值。然而,在过程的正常和起动作期间,该系统不能始终操作MPC例程以响应于有规律的间歇性或非周期性过程测量信号。

发明内容

[0019] 一种多输入/多输出控制例程(诸如模型预测控制(MPC)例程)以无线或其他传感器来操作,所述无线或其他传感器以慢于MPC控制器扫描或执行速率的速率提供非周期性、间歇性或以其他方式延迟的过程变量测量结果。特别地,当测量结果扫描周期大于或甚至显著大于MPC例程的操作扫描周期时,无线MPC控制器例程操作,同时提供使得MPC例程能够以鲁棒的和可接受的方式来控制过程的控制信号。因此,当无线或其他过程变量测量结果以无规律的间隔传递到MPC时,MPC例程以非周期性方式或以慢于MPC控制器自身的扫描或操作速率的速率来操作。

[0020] 一般来说,新的MPC例程在每个MPC扫描周期期间使用内部过程模型以模拟一个或多个所测量的过程参数值,不仅包括当新的过程测量值可用时,也包括当控制器处没有新的过程参数测量值可用时。然而,当没有新的测量值可用于过程变量时,MPC例程操作以测量值产生用于控制中的模拟过程参数值,而不基于最近所测量的过程变量值来执行模型偏差校正。另一方面,当新的测量结果可用于特定过程变量时,基于新的测量值和典型的MPC技术,利用模型偏差校正来更新模型预测和模拟参数值。该技术独立于无规律过程变量测量结果提供MPC操作的连续性,因为MPC例程能够针对过程变量测量而使用模拟测量值。在一种情况下,过程控制系统可以被配置以提供测量状况“恒定”,该测量状况指示无错状态,在该无错状态下未接收针对过程变量的新的测量,并且该无错状态使得MPC例程使用它自身的未校正的模型输出,用于在MPC扫描期间模拟参数。如此,若使用该技术,无线或其他测量输入端在新的测量结果没有被传递时可以在扫描周期中包括“恒定”状况并且在新的测量结果已被接收时可以在扫描周期中包括“良好的”状况(也是无错状况)。以此方式,没有接收到针对扫描或执行循环的测量信号不会导致控制器进入“故障”或其他错误状况,该状态最终导致控制器模式的转变而脱离自动模式。该方法的其他优势是MPC控制器可以针对

有线和无线控制使用相同的模型。

[0021] 在另外的情况下,在此所描述的MPC控制例程可以被用以实施多速率控制例程,该多速率控制例程以不同的针对过程的有效扫描速率实施或使用一个或多个过程模型,并基于以不同的更新速率接收的反馈信号来执行各种不同的受控变量的控制。因此,多速率MPC控制器可以操作为执行多个不同的过程变量的同时控制,对于过程变量,更新被以不同的测量结果速率来接收。也就是说,多速率MPC控制器可以基于测量信号针对一个受控参数来执行控制器更新操作,该测量信号针对该一个受控参数并以比针对其他过程受控变量所接收的测量的速率更快的速率来接收。此处,MPC控制例程可以在每个MPC扫描中针对一个受控参数使用最快的测量结果(以最快的更新速率接收),而针对其他受控变量使用以更慢的更新速率所接收的更慢的测量结果,通过在每个控制器扫描中针对其他受控变量使用模拟过程变量值,在该控制器扫描中,新的更慢的测量结果是不可用的(即,如果(与受控变量中的第一个受控变量相关联的)快速扫描速率的测量更新和(与其他受控变量相关联的)更慢的扫描速率的测量结果更新不相一致)。当最快的扫描或更新速率与一个或多个的更慢的扫描或更新速率相一致时,所接收的测量结果被用于两个模型以产生用于控制的新的被更新的预测模拟值。

附图说明

[0022] 图1是示例的周期性更新的、硬连线的过程控制系统的模块图;

[0023] 图2是例示示例的周期性更新的、硬连线的过程控制系统的响应于过程输入的过程输出的图形;

[0024] 图3是例示具有从一个或多个无线传感器接收非周期性反馈输入的控制器的无线过程控制系统的示例的块图;

[0025] 图4是用于有线环境中的示例的MPC控制器的模块图;

[0026] 图5是耦接在包括无线通信的过程内的典型的MPC控制器的模块图,其中,MPC控制器配置为使用无线或其他间歇性地接收的过程变量测量结果以实施控制;

[0027] 图6示出例示图5的MPC控制器的、针对特定过程变量的、在控制器扫描期间的操作的图形,其中,在控制器处接收针对特定过程变量的过程变量测量结果;

[0028] 图7示出了可以被用在图5的MPC控制器中执行控制变量预测的简化的过程模型;

[0029] 图8示出可以被用以在图5的MPC控制器中生成MPC控制器算法的一组步骤响应模型;

[0030] 图9示出当MPC控制系统响应于在针对受控变量的设定点中的步骤改变时,有线MPC控制系统中的受控变量值和两个受操作的变量值的图形,以第二控制器扫描速率进行过采样测量;

[0031] 图10A示出当MPC控制系统响应于在针对受控变量的设定点中的步骤改变时,图9的相同的受控变量和受操作的变量的图形,其中,无线MPC控制系统具有1秒的控制器扫描速率以及8秒的受控变量的测量更新速率;

[0032] 图10B示出当MPC控制系统响应于在针对受控变量的设定点中的步骤改变时,图9的相同的受控变量和受操作的变量的图形,其中无线MPC控制系统具有1秒的控制器扫描速率以及16秒的受控变量的测量更新速率;

[0033] 图11示出多速率控制器(诸如图5的多速率控制器),该多速率控制器基于以不同的速率所接收的测量更新以不同的速率实施多个不同的控制信号更新回路;

[0034] 图12示出例示了诸如图11的、在多速率控制器中的、多速率控制器中的多个不同的受控变量的响应曲线的图形。

具体实施方式

[0035] 一种特别适合用在基于模型的控制器中的新的控制技术,该控制器包括例如多输入/多输出的基于模型的控制器(诸如模型预测控制器(MPC)),该控制技术使得控制器能够以非周期性、间歇性或慢的方式接收过程测量信号作为反馈信号,还使得该控制器能够仍能够准确地并且可接受地控制过程,并且因此能够提供鲁棒的过程控制动态特性。特别地,新的控制例程实施反馈回路,所述反馈回路仅在已接收针对过程参数或过程变量的新的测量值时对于模型预测错误针对一个或多个的不同的过程参数或所测量/受控过程变量中的每个过程参数或过程变量进行校正,并且新的控制例程不应用校正或应用之前在其他时间(例如当未接收新的测量值时)生成的或修改的校正测量值。作为结果,过程控制例程使用测量值以在新的测量值是可用的控制器扫描期间创建新的过程控制信号,测量值并且过程控制例程使用之前预测的过程变量,如由控制例程的内部过程模型产生的过程变量,以在针对受控过程变量或过程参数的新的测量值是不可用的控制器扫描期间创建新的过程控制信号测量值。所述控制例程使得过程能够进行鲁棒的和准确的控制,即使当以非周期性、间歇性或慢的方式(例如以比过程控制器自身的扫描速率更慢(以及甚至实质上更慢的)的速率)在控制器中接收受控过程变量(受控变量)的测量。

[0036] 过程控制系统10,如在图1中例示的过程控制系统可以被用以实施在此所述的控制方法。在该示例中,过程控制系统10包括过程控制器11,所述过程控制器连接到数据历史记录器12并且耦接到一个或多个主机工作站或计算机13(所述主机工作站或计算机可以是任意类型的个人计算机、工作站等等),每个主机工作站或计算机具有显示屏14。控制器11也经由输入/输出(I/O)卡26和28连接到现场设备15-22。数据历史记录器12可以是任意期望类型的数据收集单元,所述数据收集单元具有任意期望的类型的存储器和任意期望的或已知的用于存储数据的软件、硬件或固件。在图1中,控制器11使用硬连线通信网络和通信方案通信连接到现场设备15-22。

[0037] 概括地说,现场设备15-22可以是任意类型的设备、诸如传感器、阀、传送器、定位器等等,而I/O卡26和28可以是任意符合期望的通信或控制器协议的任意类型的I/O设备。控制器11包括处理器23,所述处理器实施或监视存储在存储器24中的一个或多个过程控制例程(或所述过程控制例程的任意模块、块或子例程)。一般来说,控制器11与设备15-22、主机计算机13和数据历史记录器12通信,来以任意期望的方式控制过程。此外,控制器11使用通常所称功能块来实施控制策略或方案,其中,每个功能块是整个控制例程的一个对象或其他部分(例如子例程),所述整个控制例程(经由通信、即所谓链接)结合其他功能块来操作,以在控制系统10的过程内实现过程控制回路。功能块通常执行输入功能、控制功能或输出功能之一以执行过程内控制系统10中的某些物理功能,其中,输入功能诸如是与变送器、传感器或其他过程参数测量设备相关联的功能,控制功能诸如是与执行PID、MPC、模糊逻辑等等的控制例程、控制技术相关联的功能,输出功能控制某些设备诸如阀的操作。当然,混

合的和其他类型的功能块是存在的并且在此可以被利用。功能块可以存储在控制器11或如下所述的其他设备中并且由控制器11或如下所述的其他设备执行。

[0038] 如由图1分解块30例示的,控制器11可以包括多个单回路控制例程,例示为控制例程32和34,并且如果期望,可以实施一个或多个高级控制回路,例示为控制回路36。每个这样的控制回路通常被称为控制模块。单回路控制例程32和34例示为使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控制块来执行单回路控制,所述功能块可以与过程控制设备诸如阀相关联、与测量设备诸如温度和压力变送器相关联,或与在控制系统10的过程内的任意其他设备相关联。高级控制回路36例示为包括高级控制块38,所述高级控制块具有通信连接到一个或多个AI功能块的输入和通信连接到一个或多个AO功能块的输出,并且高级控制块38的输入和输出可以连接到任意其他期望的功能块或控制元素以接收其他类型的输入并且提供其他类型的控制输出。高级控制块38可以实施任意类型的多输入、多输出控制方案和/或可以实施基于控制例程的过程模型,并且因此可以构成或包括模型预测控制(MPC)块,神经网络建模或控制块,多变量模糊逻辑控制块,实时优化器块等等。将会理解的是,图1中所例示的功能块(包括高级控制块38)能够由独立控制器11执行,或替代地,可以位于过程控制系统10的任意其他处理设备或控制元素(诸如工作站13中的一个工作站或现场设备19-22中的一个现场设备)中或由过程控制系统10的任意其他处理设备或控制元素来执行。作为一示例,现场设备21和22(可以是变送器和阀)分别可以执行控制元素以实施控制例程(并且同样包括处理),以及执行其他组件以执行控制例程的部件(诸如一个或多个功能块)。更具体来说,如在图1中例示的,现场设备21可以具有用于存储与模拟输入块相关联的逻辑和数据的存储器39A,而现场设备22可以包括致动器,所述致动器具有用于存储与PID、MPC或与模拟输出(AO)块通信的其他控制块相关联的逻辑和数据的存储器39B。

[0039] 概括地说,图2中的图形例示响应于用于过程控制系统的过程输入、基于控制回路32、34和36(和或包含存在于现场设备21和22或其他设备中的功能块的任意控制回路)中的一个或多个控制回路的实施而开发的过程输出。所实施的控制例程通常以周期性方式在多个控制器迭代上(控制器扫描)执行,控制例程执行的时间在图2中沿着时间轴由粗箭头40指示。在一典型的情况下,每个控制例程迭代40由受控过程变量(受控变量)的已更新的过程测量结果来支持,所述受控过程变量由例如由变送器或其他现场设备提供的细箭头42指示。如在图2中例示的,通常得到有多个周期性过程测量结果42并且所述测量结果由在每个周期性控制例程执行时间40(也称为控制器扫描时间)之间的控制例程来接收。为了避免由于控制执行而引起的与同步测量值相关约束,许多已知的过程控制系统(或控制回路)被设计以过采样过程变量测量结果,其过采样因数为2-10倍。这样的过采样有助于使得过程变量测量结果当前能够在每个控制例程执行迭代或扫描期间用于控制方案。同样,为了最小化控制变化,典型的设计指定基于控制的反馈应该以比过程响应时间快4-10倍的方式来执行。在图2过程输出响应曲线43的图中示出过程响应时间,所述过程响应时间为与过程时间常数(τ) (例如过程变量变化的63%) 相关联的时间加上在实施在过程输入中的阶跃变化44(在图2中以在较下方的线45中示出)之后的过程延迟或死区时间(TD)。在任意情况下,为了满足这些传统的设计要求,过程测量值更新(由图2的箭头43指示)以比控制例程执行或扫描速率(由图2的箭头40指示)快得多的速率来采样并且提供给控制器,所述控制例程执

行或扫描速率继而比过程响应时间快得多。

[0040] 然而,当控制器在例如控制器无线地、间歇性地和/或非周期性地从一个或多个现场设备过程中接收测量结果的控制环境中操作时,从过程中获得频繁的和周期性的测量样本可能是不现实的或甚至是不可能的。该测量结果可以包括离线得到的实验室测量结果或实验室分析结果。特别地,在这些情况下,控制器可能仅能够接收非周期性过程变量测量结果,和/或非周期性或甚至周期性过程变量测量之间的时间可能比控制例程执行速率或扫描速率(由图2的箭头40指示)大得多。图3示出示例性的无线过程控制系统10,该无线过程控制系统可以实施在控制器11处的过程控制数据或过程变量测量的无线通信和非周期性的使用。

[0041] 图3中的控制系统10本质上与图1的控制系统10是类似的,其中,具有编号相同的元件。然而,图3的控制系统10包括无线通信耦接到控制器11并且潜在地相互耦接的多个现场设备60-64和71。如在图3中例示的,无线连接的现场设备60连接到天线65并且协作以与天线74无线通信,所述天线继而耦接到连接到控制器11的无线I/O设备68。此外,现场设备61-64连接到有线至无线转换单元66,所述有线至无线转换单元继而连接到天线67。现场设备61-64无线地通过天线67与连接到另外的无线I/O设备70的天线73通信,所述无线I/O设备也连接到控制器11。如也在图3中例示的,现场设备71包括天线72,所述天线72与天线73和/或天线74中的一个或两个通信,以由此与I/O设备68和/或70通信。I/O设备68和70继而经由有线底板连接(在图3中未示出)通信连接到控制器11。在该情况下,现场设备15-22保留经由I/O设备26和28到控制器11的硬连线。

[0042] 图3的控制系统10通常使用无线传输由变送器60-64或其他如下所述的诸如现场设备71的控制元素所测量、感测或计算的数据的。在图3的控制系统10中,将要假设,在非周期性或间歇性(诸如当满足特定条件时)的基础上,由设备60-64和71将新的过程变量测量结果或其他信号值传输到控制器11。例如,新的过程变量测量值可能在过程变量值相较于由设备发送到控制器11的最后的测量值变化达预定的数量时,或每个预限定更新速率中至少一次地发送到控制器11,其中,该预限定更新速率通常比控制器11扫描速率慢得多。当然,其他确定何时要以非周期性方式发送过程变量测量值的方式也可以被实施或作为替代。

[0043] 如将要理解的,图3的每个变送器60-64可以将指示相应过程变量(例如流动、压力、温度或层级信号)的信号传输到控制器11,以用于一个或多个控制回路或例程或用于监视例程。其他诸如现场设备71的无线设备可以无线地接收过程控制信号和/或被配置为传输指示任意其他过程参数的其他信号。一般来说,如在图3中例示的,控制器11包括通信栈80、模块或例程82以及一个或多个控制模块84,该通信栈在处理器上执行以处理输入信号,该模块或例程在处理器上执行以检测何时输入信号包括测量更新,该控制模块在处理器上执行以执行基于测量更新的控制。检测例程82可以生成标记、状况或其他信号来表示经由通信栈80所提供的数据包括新的过程变量测量结果或用于在控制例程中使用的任意特定过程变量的其他类型的更新。新的数据和更新标记或状况参数然后可以被提供给控制模块84(所述控制模块可以是功能块)中的一个或多个,其然后由控制器11以预确定的周期性执行速率执行,如下面在进一步的细节中所述。替代地,或附加地,新的数据和更新标记或状况参数可以被提供给在控制器11中或在控制系统10中的其它任意地方所执行的一个或多

个监视模块或应用程序。

[0044] 图3的无线(或其他)变送器通常导致现场设备60-64和71(其中的某些是变送器和控制器11之间的非周期性或以慢的周期性速率所提供的周期性数据传输,该非周期性的数据传输包括无规律或其他频率更少的数据传输。如上所述,然而,测量值从现场设备15-22到控制器11的通信在习惯上已被结构化,来以周期性方式执行,该周期性方式提供的过程变量的过采样,以继而支持在控制器11内的控制例程(多个控制例程)周期性执行,其中,新的测量值在每个控制器扫描中是可用的。作为结果,控制器11中控制例程通常针对用在控制器11的反馈回路中的过程变量测量值的周期性更新来设计。

[0045] 为了容纳由某些现场设备和控制器11之间的无线通信所带来的非周期性或其他不可用的测量更新(和其他不可用的通信传输),控制器11的控制和监视例程(多个控制和监视例程),以及特别地,基于内部模型的、预测的或多输入/多输出的控制例程可以如下所述被重构或修改,以使得当使用非周期性或其他间歇性更新,并且特别当这些更新以比控制器11的执行或扫描速率频率更少的速率出现时,过程控制系统10能够恰当地起作用。

[0046] 下面将在MPC例程的示例实现方式中解释新的控制方法。然而,该控制方法也可以用于其它类型的基于模型的控制器和其它类型的多输入/多输出控制器。为了帮助解释新的控制方法,首先提供图4来例示传统的MPC控制器配置,其使用具有用于被控制的过程变量(即受控变量)的常规(周期性)和过采样测量结果信号的标准MPC控制技术。在这种情况下,过采样测量结果信号包括一种新的测量信号被提供给控制器或在每个控制器扫描期间可用的情况。由图4的控制器(其可以是图1和图3的控制器11或现场设备的控制元件,例如图3的无线现场设备中的一个等)实现的控制方案通常包括结合图3例示和描述的通信堆栈80、更新检测模块82和一个或多个控制模块84的功能。

[0047] 更具体地,图4示意性地例示了控制回路100,其包括MPC例程形式的多输入/多输出控制例程或控制器102,以基于针对这些受控变量进行并提供回MPC控制器102的测量结果来同时控制过程104的多个受控变量(CV)。具体地,图4的控制回路100实现多变量MPC控制器单元102(通信地耦合到过程104),其可以通过图1或图3的高级控制块38来实现,以执行多变量过程控制。在这种情况下,MPC控制器102单元可以用于实现动态矩阵控制(Dynamic Matrix Control,DMC)控制技术。如图4例示,控制器102产生提供给其它功能块(图4中未示出)的一个或多个受操纵变量(MV)的集合,该其它功能块又继而连接到过程104的控制输入。MPC控制器102可以包括或实现通常具有与输出相同数量的输入的任何标准MPC例程或程序,尽管该要求不是必需的。MPC控制器102接收具有有限定的约束极限且可以具有有限定的设定点的N个受控变量(CV)的集合以及仅具有有限定的约束极限的辅助变量(AV)作为输入。受控变量CV和辅助变量AV通常构成如在过程104中所测得的值的向量。具有向量值的线通常在图中用散列线表示。MPC控制器112还接收干扰变量(DV)的集合以及由例如优化器(未示出)提供的设定点(SP)表示的稳态目标控制变量(CV_T)和辅助变量(AV_T)的集合作为输入,该干扰变量(DV)是在未来的某个时间提供给过程104的已知的或期望的改变或干扰。或者,用户或任何其它源可以定义或提供受控变量目标值CV_T。MPC控制器102使用这些输入来以控制信号的形式创建M个受操纵变量信号(MV)的集合,并将受操纵变量信号MV传递到过程104的控制输入。受操纵变量信号MV是控制信号,其可以是与控制阀致动器、燃烧器、泵等,或者影响过程104的物理操作的任何其它设备的操作相关的输入。

[0048] 此外, MPC控制器102可以计算并产生一组预测稳态控制变量(CV_{ss})和辅助变量(AV_{ss})以及一组预测稳态受操纵变量(MV_{ss}),其表示控制变量(CV)、辅助变量(AV)和受操纵杆变量(MV)分别在控制范围上。这些变量可以用于一个或多个MPC优化例程(未示出)中以开发目标控制变量CV_T和辅助变量AV_T(例如,设定点SP),以便将过程104驱动到最优操作状态。

[0049] 不管如何发展,目标控制变量CV_T和辅助变量AV_T作为输入被提供给MPC控制器102作为设置点SP,并且如前所述,MPC控制器102使用这些目标值来确定新的一组稳态受操纵变量MV_{ss}(在控制范围上),其在控制范围极限时驱动电流控制变量CV和受操纵变量AV达到目标值CV_T和AV_T。当然,如已知的,MPC控制器102逐步改变受操纵变量以试图达到稳态受操纵变量MV_{ss}的稳态值,这在理论上将导致获得目标控制变量CV_T和辅助变量AV_T。因为MPC控制器102在每个控制器扫描期间如上所述地操作,所以受操纵变量的目标值可以在扫描期间改变,并且作为结果,MPC控制器102可能从不实际上到达目标受操纵变量MV的这些集中的任何特定一个,特别是过程104中存在噪声、意外干扰、改变等时。

[0050] 典型地,MPC控制器102包括控制变量预测过程模型105(也称为“控制器模型”或“预测过程模型”),其可以是在各种不同的MPC控制技术中的任何一种中使用的任何类型的模型。例如,模型105可以是N乘M+D阶跃响应矩阵(其中N是控制变量CV的数量加上辅助变量AV的数量,M是受操纵变量MV的数量并且D是干扰变量DV的数量)。然而,模型105可以是一阶、二阶、三阶等的预测或第一原理模型、状态空间模型、卷积过程模型、或任何其它类型的过程模型。可以使用不需要显著的基本建模工作的时间序列分析技术从过程失常测试中确定控制器模型105,或者可以使用任何其它已知的过程建模技术(包括将一组或多组线性模型或非线性模型叠加的过程建模技术)来确定控制器模型105。在任何情况下,控制预测过程模型105产生定义针对控制变量CV和辅助变量AV中的每一个的先前计算的预测的输出107。加法器108从在过程104内感测到或测得的当前时间的控制变量CV和辅助变量AV的实际测量值中减去当前时间的这些预测值,以产生误差或校正向量(也作为残差集)。该组残差通常称为预测误差,并定义模型105的偏差或偏移误差,并且用于校正模型105的预测。

[0051] 在操作期间,控制预测过程模型105使用MV和DV输入和残差来预测控制范围上的受控变量CV和辅助变量AV的每一个的未来控制参数,并且提供在线路109上的受控变量和潜在辅助变量(以向量形式)的未来预测值。控制预测过程模型105还产生上面讨论的控制变量CV_{ss}和辅助变量AV_{ss}的预测稳态值。因此,块105对在预测范围上的时间内的CV和AV中的每一个的值进行预测。

[0052] 此外,控制目标块110确定由例如用户或其它优化应用提供的N个目标控制变量CV_T和辅助变量AV_T中的每一个的控制目标向量或设定点向量。控制目标块110可以包括轨迹滤波器,其定义控制变量和辅助变量将随时间被驱动到它们目标值的方式。控制目标块110使用该滤波器和由设定点SP定义的目标变量CV_T和AV_T,以针对限定目标变量CV_T和AV_T随控制范围时间定义的时间段的变化控制变量和辅助变量中的每一个变量产生动态控制目标向量。然后,向量加法器114从由块110产生的动态控制向量中减去线109上的模拟或预测控制变量CV和辅助变量AV中的每一个变量的未来控制参数向量,以定义控制变量CV和辅助变量AV中的每一个变量的未来误差向量。然后将控制变量CV和辅助变量AV中的每一个的未来误差向量提供给MPC控制算法116,MPC控制算法116操作以选择在控制范围上最小化例如

积分平方误差 (integrated squared error, ISE) 或绝对误差 (integrated absolute error, IAE) 的受操纵变量MV步骤。

[0053] 在一些实施例中,如果需要,MPC控制算法116可以使用从输入到MPC控制器102的N个控制变量和辅助变量与由MPC控制器102输出的M个受操纵变量之间的关系开发的N乘M控制矩阵。更具体地,MPC控制算法116具有两个主要目标。首先,MPC控制算法116在操作约束内尝试利用最小MV移动来最小化CV控制误差,并且其次尝试实现最佳稳态MV值和直接从最佳稳态MV值计算的目标CV值。

[0054] 典型模型预测控制器的状态方程可以表示为:

$$[0055] \quad \hat{x}_{k+1} = Ax_k + Bu_k \quad k = 0,1,2,\dots \quad (1)$$

$$[0056] \quad \hat{y}_k = C\hat{x}_k \quad (2)$$

$$[0057] \quad \min_{u^N} \sum_{j=0}^{\infty} (y_{k+j}^T Q y_{k+j} + u_{k+j}^T R u_{k+j} + \Delta u_{k+j}^T S \Delta u_{k+j}) \quad (3)$$

[0058] 其中,Q、R、S分别是误差、控制器移动和增量移动的惩罚权重, x_k 是模型状态矩阵, y_k 是过程输出以及 u_k 是控制器输出。因为Q、R和S惩罚向量固有地分离,所以MPC控制器通常在设定点跟踪和干扰抑制之间没有性能折衷。然而,MPC控制器仍然需要针对特定的多变量过程控制目标进行调谐。虽然过程模型总是与MPC控制器的内部结构(例如,具有状态空间MPC公式的过程状态空间)相匹配,但是附加的调谐参数确定关于设定点改变和干扰抑制的行为。

[0059] 具体地,惩罚向量可以用于根据由终端用户定义的特定过程的控制目标来强调一个变量而不是其它变量。如果怀疑模型失配,则惩罚向量Q和R也可以用于使控制器更鲁棒(即,使控制器失谐)。然而,诸如漏斗控制或参考轨迹的方法对鲁棒性具有更明显的影响,因为它们有效地过滤了误差向量,这是这些方法是工程师和操作者在工业过程应用中调谐模型预测控制器的优选方法的原因。因为模型预测控制器固有地“匹配”过程,所以控制移动对于特定过程模型总是最优的。这个事实意味着控制器只能被失谐(根据对最终控制元件的物理限制),并且永远不会非常积极地被调谐。例如,阀打开的速度永远不会是无限的,因此,R的值永远不会实际上为零。已知当PID控制器专门针对干扰抑制而调谐时,工业MPC控制器的干扰抑制滞后于PID控制器的干扰抑制。如果假设在MPC例程中使用的观察者模型被完全知道,则状态更新领域中的最近MPC改进已经封闭了性能差距。然而,在存在模型失配的情况下,PID控制器的控制性能(例如,在IAE中测得的)仍然优于具有最佳可能调谐的MPC控制器的控制性能。无论如何,具有观测器的MPC技术可以用于改善反馈控制性能,并且在这方面通常比DMC技术执行得更好。

[0060] 在任何情况下,图4中的MPC控制器102的操作假定在模型105的每个控制器扫描或执行操作期间可用新的过程变量测量,其在时间范围上产生新的受控变量预测集合。当在每个新的控制器扫描时不能获得受控过程变量(CV)的新的过程变量测量结果时,该控制器的操作导致控制器使用陈旧的过程变量数据来执行控制。

[0061] 图5例示了与图4所例示的过程控制回路类似的过程控制回路120,但是其操作,以在存在与由控制器控制的受控过程变量(CV)和/或辅助过程变量(AV)相关的间歇性、非周期性或缓慢(周期性或非周期性)的过程变量测量结果的情况下进行控制。具体地,控制回路120包括具有与图4的控制器102相同的元件的许多元件的过程控制器122,这些元件编号

相同。然而,在图5的控制器122的情况下,受控过程变量的测量值被例示为通过诸如图3中的任意的无线通信链路传送到控制器122。无线通信链路通过虚线例示在图5中。在这种情况下,假定这些测量值是非周期性地、间歇地或以比控制器122的扫描或执行速率慢的周期性或非周期性速率接收的。

[0062] 更具体地,如图5所例示,受控变量CV的无线过程测量结果被提供给接口170,接口170为每个受控变量或辅助过程变量确定是否已经为过程变量接收到新的测量值。如果是,则接口170可以设置指示这样(以过程变量为基础的过程变量)的新值标记。在替代实施例中,接口170可以将储存在控制器120中的过程变量测量或信号的状况设置为“良好的”状况或其它状况,以指示当前测量值与新接收的测量值相关联。(在这种情况下,状况参数可以用作新值标记)。如图5所例示,新值标记或状况可以被发送到加法器108或由加法器108使用,从而以本文所述的方式执行过程建模。在另一实施例中,新值标记或状况可被发送到模型105并由模型105使用,以确定是否在特定控制器扫描期间执行模型预测偏差校正,如下文更详细描述的那样。另一方面,如果在接口170处没有接收到过程变量的新值,则接口170可以设置新值标记或过程变量的状况,以指示当前控制器扫描或者在当前控制器扫描期间没有接收到新值。在一种情况下,例如,接口170可以将过程变量信号(对于其没有接收到新值)的状况参数设置为“常量”,指示储存的过程变量测量结果相对于最后的控制器扫描周期是恒定的或者不变的。一般而言,接口170将操作以在过程控制器122的每一次扫描或执行期间对于受控变量CV和辅助变量中的每个的新测量值的存在检测至少一次,并且操作以在控制器扫描期间改变、更新或更改每个新接收到的测量变量(CV和AV)的每一个测量过程变量的新值标记或状况至少一次。

[0063] 此后,在操作期间,加法器108操作以确定当前测量的过程变量与该过程变量的预测值之间的新的误差值(例如,由过程模型105在当前或最后的控制器扫描期间创建的过程变量的预测值),以仅在设置新值标记或过程变量测量的状况为“良好的”时确定模型偏差校正。如果未设置新值标记(对于测量的过程变量)或过程变量状况为“常量”,则在控制器扫描期间执行建模时,加法器108不操作以产生用于控制器模型105的新的控制器模型偏差值。替代地或另外,新值标记或过程参数状况值可用于使得控制器模型预测单元105在该控制器扫描期间在对线路109上的过程变量产生预测时不对特定过程变量应用模型偏差校正。在一些情况下,例如当模型预测单元105不使用迭代预测算法,其中过程参数的先前预测被用于生成过程参数的新预测时,加法器108的输出可以在未设置新值标记或者将状况参数设置为“常量”,使得在这种情况下,加法器108总是提供最近计算的模型偏移或偏差值(基于最近接收到的过程变量测量结果和用于测量时间的过程变量的预测值)。这里,模型预测单元105可以在新的测量值不存在于控制器120的接口170处的每个控制器扫描期间使用该模型偏差或偏移,以产生过程变量的新预测。

[0064] 在另一实施例中,开关单元(图5中未示出)可以从加法器108接收先前计算的偏差或模型误差值,并且基于新值标记或过程变量测量的状态参数的值,开关单元可以将新计算的偏差或模型误差值作为残差传递给模型预测单元105(当已经接收到新的测量值时),或者可以传递先前计算并锁存的偏差或模型误差值(当未接收到过程变量的新测量值时)。在此或本文所述的任何其它情况下,当没有接收到过程变量的新的测量值时,模型预测单元105可以对于在线路109上产生的过程变量的每个预测使用相同的或经过滤的版本的预

测误差偏差。

[0065] 在任何情况下,作为加法器108的操作的结果,模型预测单元105使用测量到的过程参数值(对于受控变量CV中的一个)来执行控制变量预测,以在接收到受控过程参数的新测量值的扫描期间产生新计算的偏差或控制器偏移(如由加法器108创建的),并且在没有接收到受控的过程变量的新值的控制器扫描期间使用先前计算的偏差值或根本没有偏差值。该操作使得模型预测单元105能够仍然操作以在对于一个或多个受控变量没有接收到新的测量值的时间段或扫描期间预测受控值(CV)。

[0066] 将注意到,如图5所指示,控制器122还可以以无线(或间歇或非周期性)方式从例如一个或多个现场设备、操作员接口、控制器、调度器或优化器或任何其它源174接收干扰变量DV的指示。在这些情况下,这些变量的最近接收到的值(测量或其它)被锁存在控制器122的输入接口172处,并且由过程模型预测单元105使用,直到这些变量的新接收的或测量的值被控制器122接收或提供给控制器122。

[0067] 在一个实施例中,在接口170处一个或多个新测量的过程参数(即受控变量CV和辅助变量AV)的值可用的控制器扫描期间,和在控制器122的输入接口170处不存在一个或多个受控变量和辅助变量的测量值的控制器扫描期间,模型预测单元105可以在控制器扫描期间使用相同的过程模型如下所述地进行操作。

[0068] 一般而言,在特定的任何时间实例或扫描时间 k ,控制器122以如图6所例示的三个步骤来更新过程模型预测单元105的过程输出预测。在新控制器扫描期间的第一步,由预测单元105在时间 $k-1$ 处随着向时间范围的时间推移所(图6的底部虚线曲线180)进行的过程变量预测向左移动一个扫描时间,如图6中的箭头182所示。该步骤基本上将先前的过程变量预测(在先前控制器扫描期间进行)与当前时间进行时间对准,使得例如相对于当前扫描时间 k 在扫描时间 $k-1$ 进行的时间 $k+1$ 的过程变量的预测,现在与时间 k 对准。

[0069] 接下来,如箭头184所示,将由过程输入上的当前改变缩放的输入MV和DV上的阶跃响应添加到输出预测,以在时间范围上产生新的预测过程变量,如图6中的曲线186所示。实际上,该步骤使用模型预测单元105的过程模型来生成当前时间和背离时间范围的时间 $k+1$ (相对于当前扫描时间 k)过程变量的新的一组预测。接下来,在第三步骤处,如箭头188所示,移动或校正整个预测曲线,以考虑在当前扫描处的过程变量的先前预测值(例如,在与控制器的第 $k-1$ 次扫描相关联的控制器扫描处进行的过程变量的 $k+1$ 预测值)与同时(例如,在时间 k)的过程变量的测量值(在图6的图表中指示为点192)之间的差或偏移。实际上,该第三步骤将要应用于模型预测曲线186的校正量确定为当前时间(在该扫描或先前扫描期间)的过程变量的先前预测值与所测得的过程变量值(点192)之间的差。过程变量预测曲线186偏移量的这种移动由图1的线190例示,并实现模型偏差校正。此后,由线190定义的预测过程变量向量作为模型109的输出提供给图5的向量加法器114。当然,控制器对于受控的每个过程变量(例如,受控变量CV和辅助变量AV中的每一个)单独地执行这些步骤。

[0070] 将理解的是,图5的无线MPC控制器122执行上面所示的相同的三个步骤,以用于在过程变量的新的无线测量可用的任何时间(例如,当新值标记被设置为指示所测得的过程变量的新值或者过程变量测量的状况是“良好的”时)更新过程变量预测。然而,当在接口170处新的无线测量无法使用时,无线MPC控制器122仅执行前两个步骤(例如,当没有设置新值标记或者将过程变量测量的状况设置为“常量时”)。有效地,无线MPC控制器122使用在

加法器114处的在新的测量值无法使用的控制器扫描期间未由最近的测量值校正过程变量预测,并且仅在新的测量值可用的控制器扫描期间在加法器114处使用校正后(被校正以去除过程模型失配偏差)的预测值。因为校正(或偏差)仅在新的测量值可用时(而不是如在有线MPC情况下那样在每个控制器扫描时)被确定,所以校正(或偏差)在计算时往往较大,因此可能导致过程变量响应曲线内更显著的凸起。

[0071] 在上述操作中,模型预测单元105本质上是迭代的,因为其通过将预测的变化(由当前MV和DV在预测单元105的输入处引起)添加到先前确定的过程变量预测向量(在先前控制器扫描处确定)而在特定过程变量的时间范围上生成新的过程变量预测向量,以在当前控制器扫描产生新预测向量。由此,在某些性质中,每个预测由在最近的控制器扫描期间计算的偏差来偏置,在该最近的控制器扫描期间新的测量是可用的。这就是为什么在没有新的测量可用的每个控制器扫描处生成新的预测值而不执行偏差校正的原因仍然可以良好地操作,而不管控制器模型失配。然而,在模型预测单元105以非迭代方式(即,没有基于对先前生成的预测向量的加法)生成新的预测向量的控制器实现中,最近计算的偏差值可以应用于新的测量值无法使用的扫描期间。

[0072] 有利地,在任何情况下,正在进行的MPC操作基于与在有线MPC操作中使用的过程模型相同的过程模型,因此,不需要为无线操作创建新的MPC模型。具体地,图5的MPC控制器在没有过程变量的新测量值被提供给控制器122时使用由模型预测单元105输出的受控过程变量的估计或预测值,并且这些估计值在MPC控制器122中使用以产生误差信号。结果,MPC控制器的过程模型在由无线发射机提供的测量更新之间估计控制参数,并且这些估计值可以应用在MPC控制器操作中。

[0073] 作为该操作的结果,上述无线MPC操作对有线和无线测量有效,在由过程模型定义的控制扫描周期(即用于有线操作的扫描周期)操作,在没有新的测量可用的控制计算期间应用从MPC过程模型中所获得测量的模拟值,在测量可用时使用最后的良好测量来更新其过程模型,并且可以根据测量状态或在MPC控制器内开发的其它信号来切换操作模型。如上所述,在一个实施例中,MPC控制器122可以使用例如“良好的”和“常量”的不同测量状况指示来分别指示何时已经接收到过程变量的新测量,以及何时还没有收到过程变量的新测量,并且这些测量状况指示可以被应用于或用于驱动模型预测单元105和/或加法器108的操作。

[0074] 此外,将理解,对于受控的和测量的不同的过程变量中的每一个(例如,对于受控变量CV和辅助变量AV中的每一个),以相同的方式执行如上所述的加法器108、接口170和模型预测单元105的操作。因此,在一些控制器扫描中,输出到加法器114的CV和AV预测中的一个或多个可以基于作为这些变量的新接收的测量结果而计算的新模型偏差值来更新,而提供给加法器114的多个CV和AV中的其它的CV和AV预测可能不会基于新的模型偏差值来更新。此外,在一些控制器扫描中,如果在该控制器扫描期间没有接收到新的测量值或者没有新的测量值可供任何受控变量CV或辅助变量AV使用,则可以不计算新的模型偏差值。因此,在每个扫描期间针对每个不同的受控变量CV和辅助变量AV,分别地且单独地对由图5的模型预测单元105、加法器108和接口单元170所执行的计算和操作的描述进行执行,使得在任何特定的控制器扫描期间,可以基于新计算的模型偏差误差来更新一些CV和AV,而可以不更新其它CV和AV。

[0075] 图7-10B描绘了如图5中所描述的配置的MPC控制器的操作,当用于控制具有以上部塔温度(上部温度,Upper temp)、下部塔温度(下部温度,Lower Temp)、底部温度(Bottom Temp)和预磨碎温度(Prefrac Temp)形式的四个受控变量的分隔壁塔时,该四个受控变量由回流流量(Reflux Flow)、侧气流流量(Side Stream Flow)、再沸器蒸汽流量(Reboiler Steam Flow)、液体分流(Liquid Split)和进给流量(Feed Flow)的受操纵变量和干扰变量控制或影响。具体地,图7例示了在图5的配置的模型预测单元105中使用的简化过程模型,而图8例示了用于开发在图5的控制算法单元116中使用的控制矩阵的阶跃响应曲线。图9和10A和10B例示了受控变量中的一个(即,底部温度)对底部温度的设定点在10秒内的10%改变的响应,以及对使用有线MPC(利用底部温度测量结果的过采样)在10秒内进料流量增加10%的响应,以及以用于底部温度测量结果的两种不同采样速率和1秒的控制器扫描速率来进行无线MPC操作。具体地,图10A例示了控制器对于底部温度的八秒周期性测量采样率的响应,图10B例示了控制器对于底部温度以16秒周期性测量采样率的响应。

[0076] 如图9中所例示,响应于底部温度(线210)的设定点的阶跃响应改变(在10秒内10%),控制器122改变再沸器蒸汽流量设置(线212)以控制底部温度。从图7的过程模型可知,再沸器蒸汽流量是主要与变化的底部温度相关联的受操纵变量。如图9中所例示,由线214示出的底部温度响应于由控制器执行的典型MPC控制随时间升高。同样地,响应于进料流量受操纵变量(线216)的百分之十的变化,底部温度线214中没有检测到变化,这在图7的过程模型(其中进料流量对底部温度没有影响)的情况下是所预期的。

[0077] 另一方面,图10A和10B例出了当使用图5的MPC控制器进行控制时,具有对于至少底部温度测量的显著的欠采样(与控制器扫描速率相比)的相同参数。如图10A和10B所示,底部温度的响应线214A、214B类似于图9的线214,除了这些线呈现出较不平滑的响应,其使得线214A和214B看起来具有“凸起”。这些凸起作为在控制器处对底部温度的测量结果的接收的结果或响应于在控制器处对底部温度的测量结果的接收而发生,并且是仅在在这些点(即,在底部温度变量的测量样本在控制器处被接收的时间处)处应用模型预测偏差校正的结果。

[0078] 总之,使用如图7所示的简化DWC过程模型,对受控变量中的一个以两种不同的采样速率测试有线MPC(图9)和无线MPC(图10A和10B)的操作。基于这些结果,清楚的是,即使在测量传输扫描周期比MPC操作扫描周期多许多倍的情况下,无线MPC配置的操作也提供稳定的操作。具有是有线MPC扫描周期8倍和16倍的测量扫描周期的有线MPC和无线MPC的性能汇编在下表1中。可以看出,对于无线MPC的设定点变化的积分绝对误差(IAE)在任何情况下不超过有线MPC的IAE多于10%,这是非常不显著的性能变化。如图10A和10B所例示,当发送新的测量值并且针对预测模型偏差校正过程变量预测时,无线MPC的阶跃响应趋势示出小的“凸起”。通常,“凸块”的尺寸取决于模型精度和影响趋势过程输出的未测量的干扰,但是不会导致在有线MPC配置上显著更差的性能。

设定点改变	IAE-有线 MPC	IAE-无线 MPC	IAE-无线 MPC
10%	扫描周期-1 秒	更新周期-8 秒	更新周期-16 秒
[0079] 上部温度	126.05	133.2	135.1
预磨碎温度	403.6	412.5	412.9
下部温度	129.5	136.0	140.1
底部温度	81.4	88.7	88.2

[0080] 表格1

[0081] 此外,本文描述的MPC技术可以用于实现实际上是多速率MPC控制器,其中具有不同测量更新速率的不同过程变量由相同的MPC控制器控制。实际上,MPC控制器使用对以不同的更新速率或在不同的间歇时间接收的不同受控变量CV和/或辅助变量AV的反馈测量来执行控制。在此情况下,多速率控制器将利用对于该变量接收新的测量结果的速率的新的模型偏差来更新每个受控变量和辅助变量的预测输出,并将使用那些变量的预测值,该预测值在控制器扫描处未利用新模型偏差来补偿,该控制器扫描与较快速率变量相关联,在较快速率变量处不存在较慢速率变量的新的测量。

[0082] 一般而言,多速率MPC使用组合或实现具有显著不同的动态和/或测量更新扫描周期的几个子模型的过程模型。这样的过程模型可以是诸如MPC模型的单个过程模型,其可以同时几个过程参数或控制回路的操作建模,或者还可以是对过程操作或过程控制回路的不同方面建模的一组模型(诸如流量模型、压力模型、材料组成模型、温度模型等),其可以各自在任何特定的控制器扫描下运行。在操作期间,每个模型在每个控制器扫描时实现。然而,最快的子模型在每次扫描时(例如在每次MPC扫描时)使用测量值,而较慢的子模型在快速扫描与较慢的更新扫描不一致时使用模型模拟值。在这种情况下,仍然以最快模型的扫描速率实现较慢的模型,以在没有接收到新测量值的扫描期间为与这些模型相关联的过程变量提供预测值。然而,当针对由这些较慢扫描速率模型建模的过程变量接收新测量结果时,仅更新或校正较慢模型(例如,对于模型偏差)。因此,快速扫描速率模型将仍然运行,但将使用慢速模型在慢速模型的新的过程变量测量无法使用的扫描时间处预测的过程变量。当最快扫描测量与较慢扫描测量一致时,使用两个模型的实际测量结果,并且两个模型更新预测模拟值以校正例如模型偏差误差。

[0083] 作为示例,图11例示了具有三个受控变量的多速率控制器,对于这些受控变量,以不同的更新速率接收测量更新。在这种情况下,接口170、加法器108和模型预测单元105的操作与上面在图5中描述的相同。这里,不同的加法器108被例示为从接口170接收过程变量测量结果 CV_{1m} 、 CV_{2m} 和 CV_{3m} 。此外,虽然在图11中未示出,但是上文描述的新值标记或状况指示可以以上文关于图5针对过程变量 CV_1 、 CV_2 和 CV_3 中的每一个所描述的方式并入到加法器108和/或模型预测单元105中的每一个的操作中。在图11的实施例中,MPC控制器122实质上以最快的更新速率操作或具有与受控变量 CV_1 相关联的最快更新速率相同或甚至可能更快(或可能更慢)的控制器扫描速率。如图12的图表所例示,控制器122在每次控制器扫描期间或为每次控制器扫描接收受控变量 CV_1 的新测量值,但每第6次控制器扫描仅接收受控变量 CV_2 的新测量值,并且每第10次控制器扫描接收受控变量 CV_3 的新测量值。(虽然该示例例示

了对过程变量测量结果的周期性接收,但是过程变量测量结果也可以是非周期性的或间歇性的)。在操作期间,可以与图5的控制器相同的控制器122在每个控制器扫描期间操作,以使用模型预测单元105来创建对受控变量 CV_1 、 CV_2 和 CV_3 中的每个的预测,从而创建为每个控制器扫描提供给过程104的受控变量MV(或控制信号)的新集合。然而,在第二变量 CV_2 和第三控制 CV_3 没有新的测量值可用的控制器扫描期间,由模型预测单元105输出的这些变量的预测不用新的模型偏差校正来更新,尽管以这种方式校正了受控变量 CV_1 的预测。

[0084] 当然,控制器122操作以在在控制器122处接收或可获得这些变量的新的测量值的扫描期间用新的模型偏差校正来更新每个受控变量预测向量。该操作实际上,使得MPC控制器122能够以不同的有效扫描和/或测量速率控制每个受控变量,同时在每次扫描期间保持对过程的总体控制。这种效果在图12中例示,其中例示了对第一受控变量 CV_1 和第二受控变量 CV_2 中的设定点变化的响应。仅为了说明的目的,在图12中未示出对于受控变量 CV_3 对设定点变化的响应。然而,基于受控变量 CV_3 的较慢的测量更新速率,这样的响应通常比为 CV_1 和 CV_2 例示的响应更慢。可以看出,因为受控变量 CV_1 实际上由于该变量的更快的测量反馈而以更快的有效扫描速率被控制,所以控制器122能够比响应第二受控变量 CV_2 的变化更快地响应或实现第一受控变量 CV_1 的变化。然而,控制器122也能够很好地控制第二受控变量 CV_2 ,尽管该变量的测量速率较慢。以这种方式,控制器122能够以不同的有效速率实现对不同过程变量或受控变量的控制,因此不需要以相同或甚至相似的速率为每个受控变量接收测量信号。

[0085] 这种多速率操作在某些过程中是非常有用的,其中不同的受控变量具有不同的且有时极其不同的过程控制回路动态特性,并且特别是不同的响应时间动态特性。例如,流量控制回路可能需要比压力控制回路或温度控制回路更快地改变受操纵变量(由于以流量、温度和压力可以基于一些控制动作在过程中改变的方式的物理差异)。此外,材料成分循环可能需要改变受操纵变量,甚至比温度循环更慢。因此,由于与这些控制回路相关联的有时极其不同的响应时间,可能不必要以相同的有效扫描速率控制这些回路中的每一个。因此,也可能不必要以相同速率(其通常是与最动态的控制回路相关联的最快速率)接收这些回路的受控变量的每一个的反馈信号,这可以显著降低正在实现这些回路中的每一个的过程控制系统的通信网络上的负载。

[0086] 因此,如将理解的,多速率MPC使用组合具有不同扫描周期或扫描速率的几个子模型的模型。在操作期间,最快子模型使用例如每次MPC扫描时的测量,而如果快速扫描时间与接收与较慢扫描相关联的测量不一致,则较慢子模型使用模型模拟值。当最快扫描时间与较慢扫描(即,较慢回路的测量时间)中的一个或多个一致时,使用两个或所有实际测量结果,并且更新两个或所有模型以提供预测的模拟值。

[0087] 尽管本文已经将多速率MPC控制器描述为以与受控变量中的一个的接收测量值相同的速率实现最快扫描速率,但是多速率MPC控制器可以替代地实现上面描述的技术,以慢于或快于最快受控变量的更新速率的扫描速率执行。然而,通常,多速率控制器将以比由MPC控制器控制的受控变量中的至少一个的测量更新速率更快的扫描速率操作。

[0088] 可以通过在测量传输之间校正无线MPC中的内部建模的参数值来实现上文描述的MPC技术中的一些改进。作为示例,校正的值可以由MPC控制器计算并且在操作期间适应性地调整。

[0089] 在任何情况下,如将理解的,当一个或多个受控变量的测量扫描周期显著大于MPC控制器扫描周期时,本文描述的无线MPC配置能够操作。当以不规则的间隔传送无线测量结果时,无线MPC也可以操作。一般而言,如上文所描述,无线MPC使用其自己的内部模型来在对于这些受控变量没有传送新测量结果的周期中模拟一个或多个受控变量的过程参数值。当新测量可用时,更新模型预测和模拟参数值。这种无线MPC操作提供了操作的连续性,与不规则测量结果无关。

[0090] 本文描述的控制技术的实践不限于与MPC控制例程一起使用,而是可以应用于多个不同的多输入和/或多输出控制方案和级联控制方案。更一般地,控制技术还可以应用于涉及一个或多个过程变量、一个或多个过程输入或其它控制信号的任何基于闭环模型的控制例程的情况中。

[0091] 术语“现场设备”在本文中在广义上用于包括多个设备或设备的组合(即,提供诸如发射机/致动器混合的多个功能的设备),以及任何其它执行控制系统中的功能的设备。在任何情况下,现场设备可以包括例如输入设备(例如,诸如传感器和仪器的设备,其提供状况、测量或指示过程控制参数的其它信号(诸如,举例来说,温度、压力、流动速率等)),以及响应于从控制器和/或其它现场设备(例如阀、开关、流量控制设备等)接收的命令而执行动作的控制运算符或致动器。

[0092] 应当注意,本文描述的任何控制例程或模块可以具有跨多个设备以分布式方式实现或执行的部分。因此,如果需要,控制例程或模块可以具有由不同控制器、现场设备(例如,智能现场设备)或其它设备或控制元件实现的部分。同样地,本文描述的在过程控制系统内实现的控制例程或模块可以采用任何形式(包括软件、固件、硬件等)。提供这种功能所涉及的任何设备或元件在本文通常可以称为“控制元件”,而不管与其相关联的软件、固件或硬件是否设置在过程控制系统内的控制器、现场设备或任何其它设备(或设备集合)中。控制模块可以是过程控制系统的任何部分或一部分,该过程控制系统包括例如储存在任何计算机可读介质上的例程、块或其任何元件。这种控制模块、控制例程或其任何部分(例如,块)可以由过程控制系统的任何元件或设备(在本文中通常称为控制元件)实现或执行。可以是模块或诸如子例程、子例程的部分(例如代码行)等的控制例程可以以任何期望的软件格式(诸如使用面向对象的编程、使用梯形逻辑、顺序功能图、功能块图或使用任何其它软件编程语言或设计范式)来实现。同样地,控制例程可以被硬编码到例如一个或多个EPROM、EEPROM、专用集成电路(ASIC)或任何其它硬件或固件元件中。此外,可以使用任何设计工具(包括图形设计工具或任何其它类型的软件/硬件/固件编程或设计工具)来设计控制例程。因此,本文所描述的控制例程可以被配置为以任何期望的方式实现控制策略或控制例程。

[0093] 替代地或另外,功能块可以储存在现场设备或过程控制系统的其它控制元件中,并由现场设备本身或过程控制系统的其它控制元件实现,这是利用现场总线设备的系统的情况。本文使用功能块控制策略来提供对控制系统的描述,但是控制技术和系统也可以使用其它约定(诸如梯形逻辑、顺序功能图等)或者使用任何其它期望的编程语言或范式来实现或设计。

[0094] 当实现时,本文描述的任何软件可以储存在任何计算机可读存储器中(诸如在磁盘、激光盘、闪存或其它储存介质上,在计算机或处理器等的RAM或ROM中)。同样地,该软件可以使用任何已知或期望的递送方法递送到用户、过程工厂或操作员工作站,递送方法包

括例如在计算机可读盘或其它便携式计算机储存机构上或在诸如电话线、互联网、万维网、任何其它有线或无线局域网或广域网等的通信信道)上(该递被视为与经由便携式储存介质提供这样的软件相同或可互相改变的)。此外,可以直接提供该软件而无需调制或加密,或者可以在通信信道上发送之前使用任何适当的调制载波和/或加密技术来调制和/或加密。

[0095] 虽然已经参考具体实施例描述了本发明,这些实施例仅意在说明而不是限制本发明,但是对于本领域普通技术人员显而易见的是,在不脱离本发明的精神和范围的情况下可以对控制技术进行改变、添加或删除。

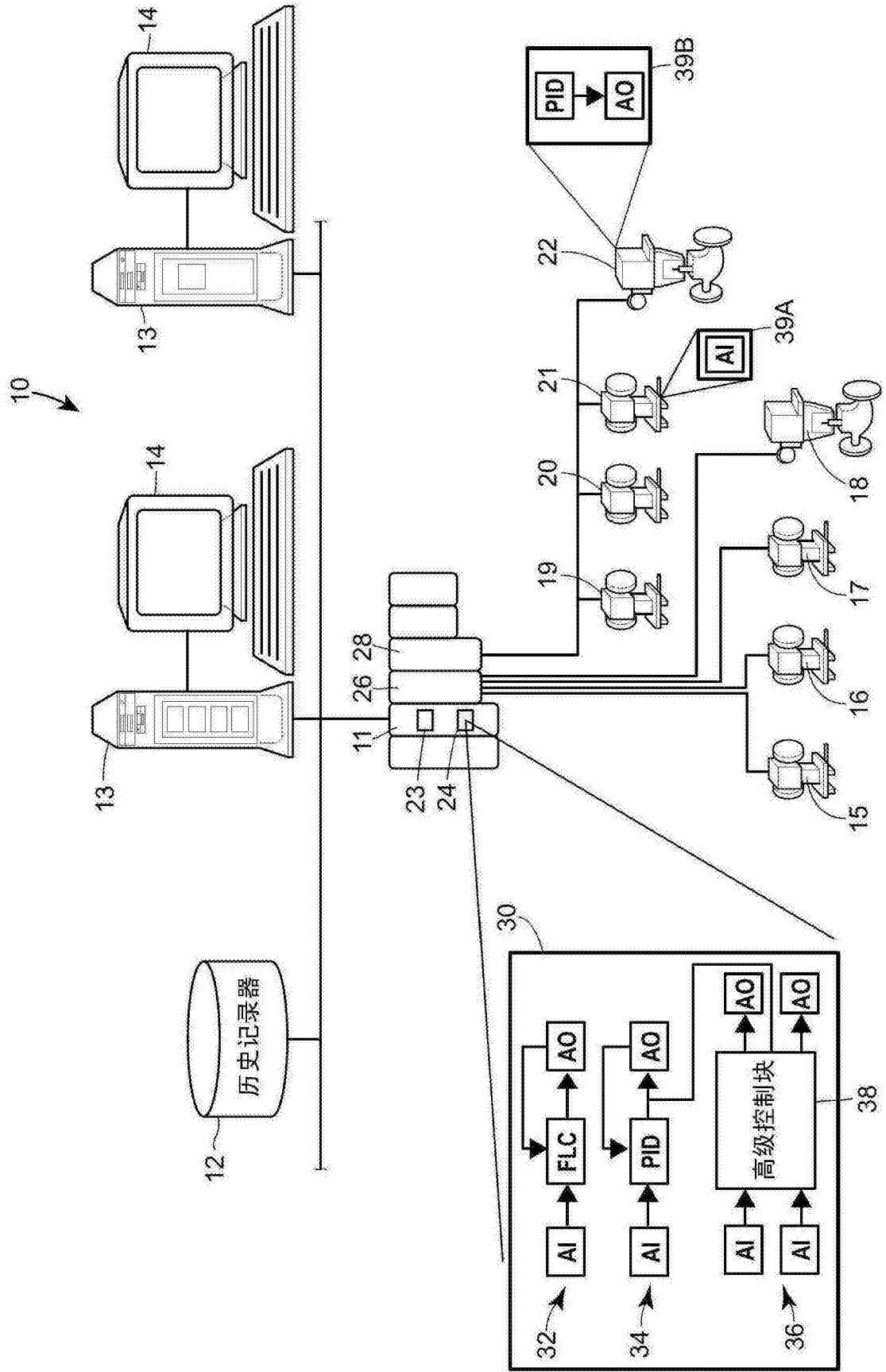


图1

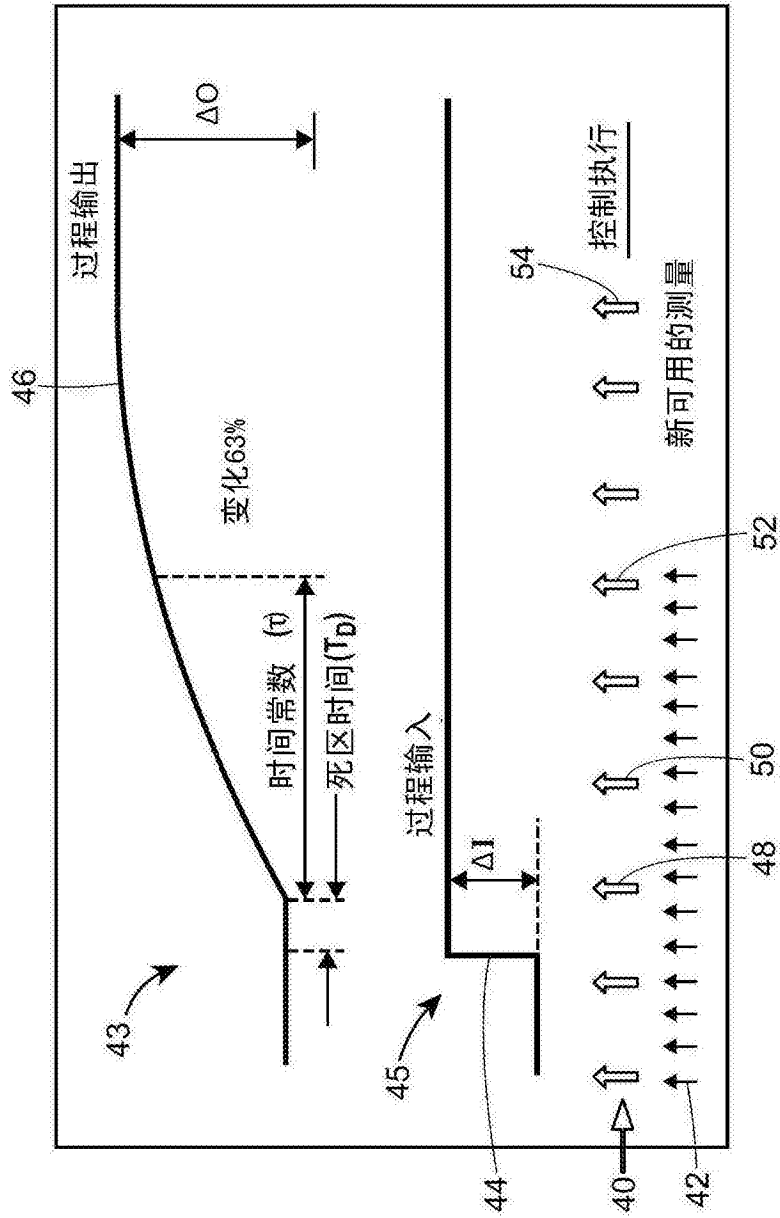


图2

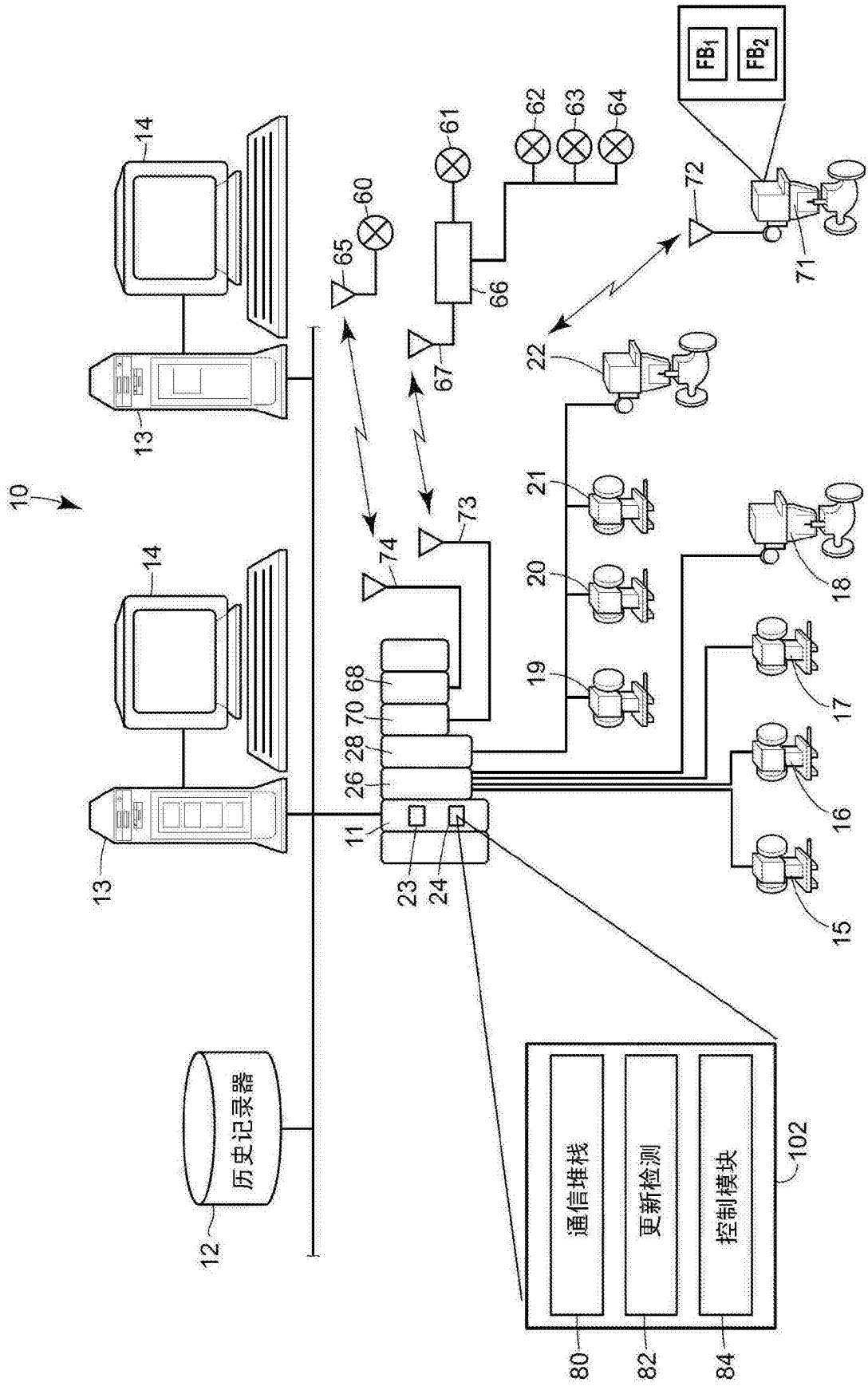


图3

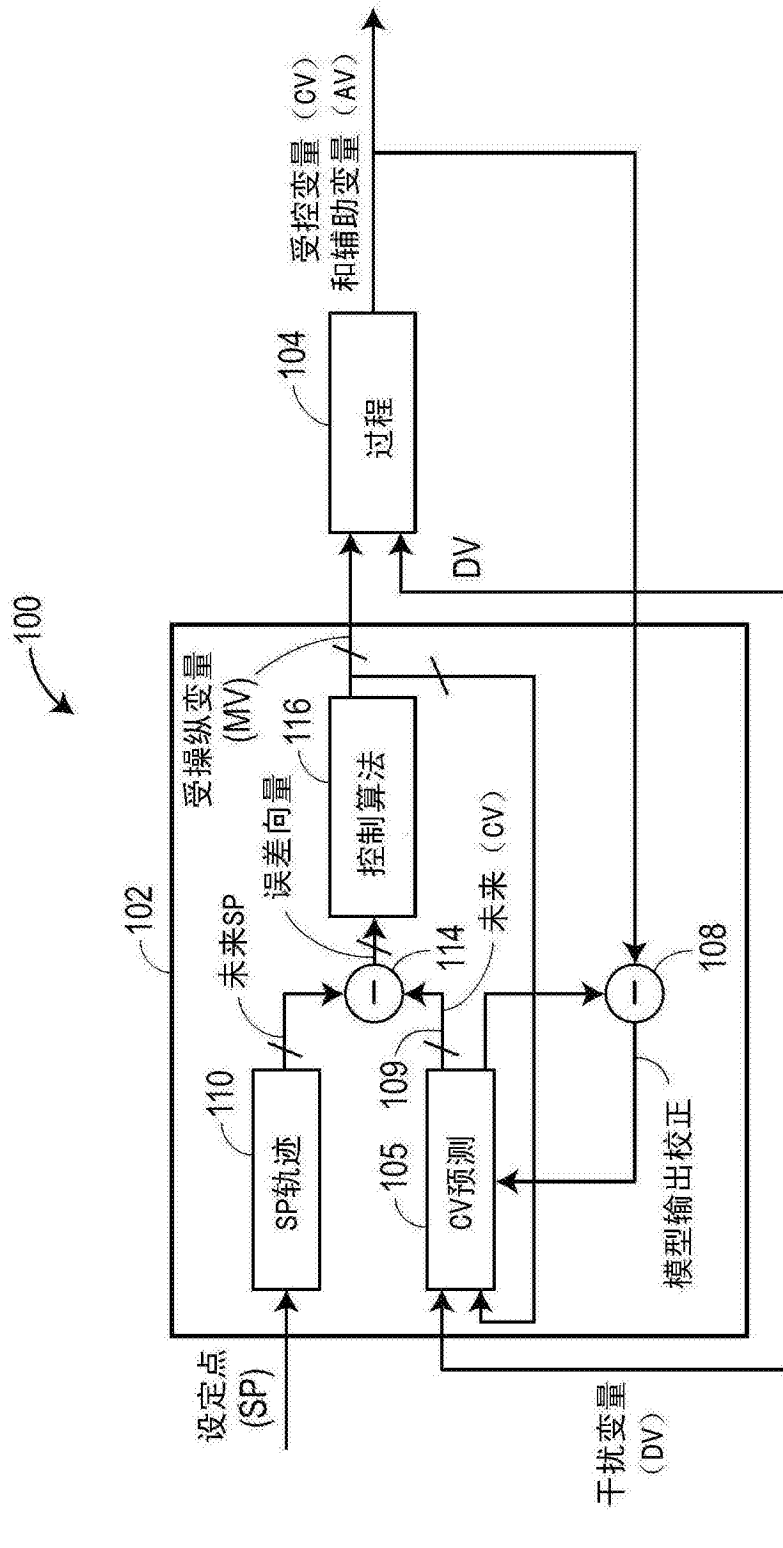


图4

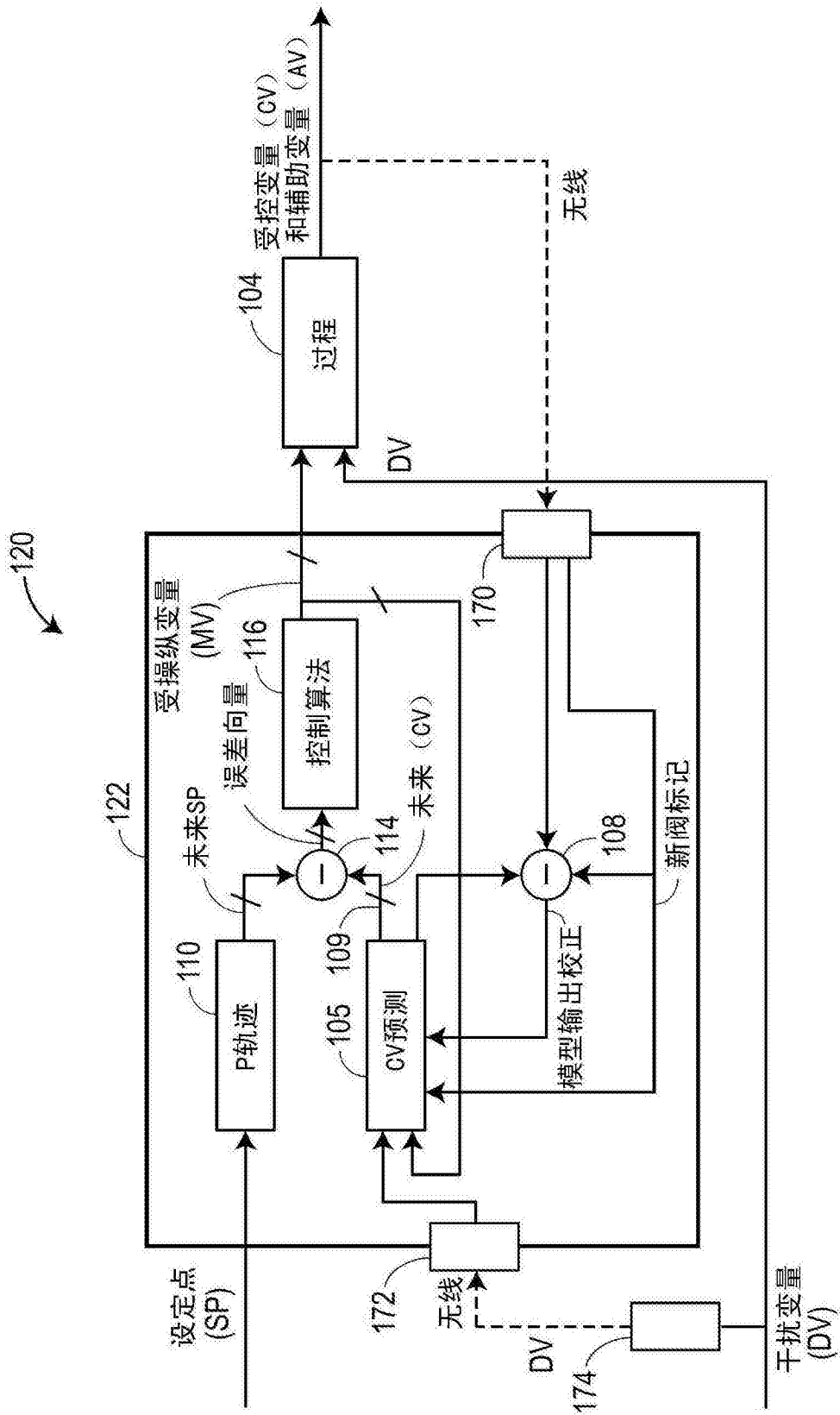


图5

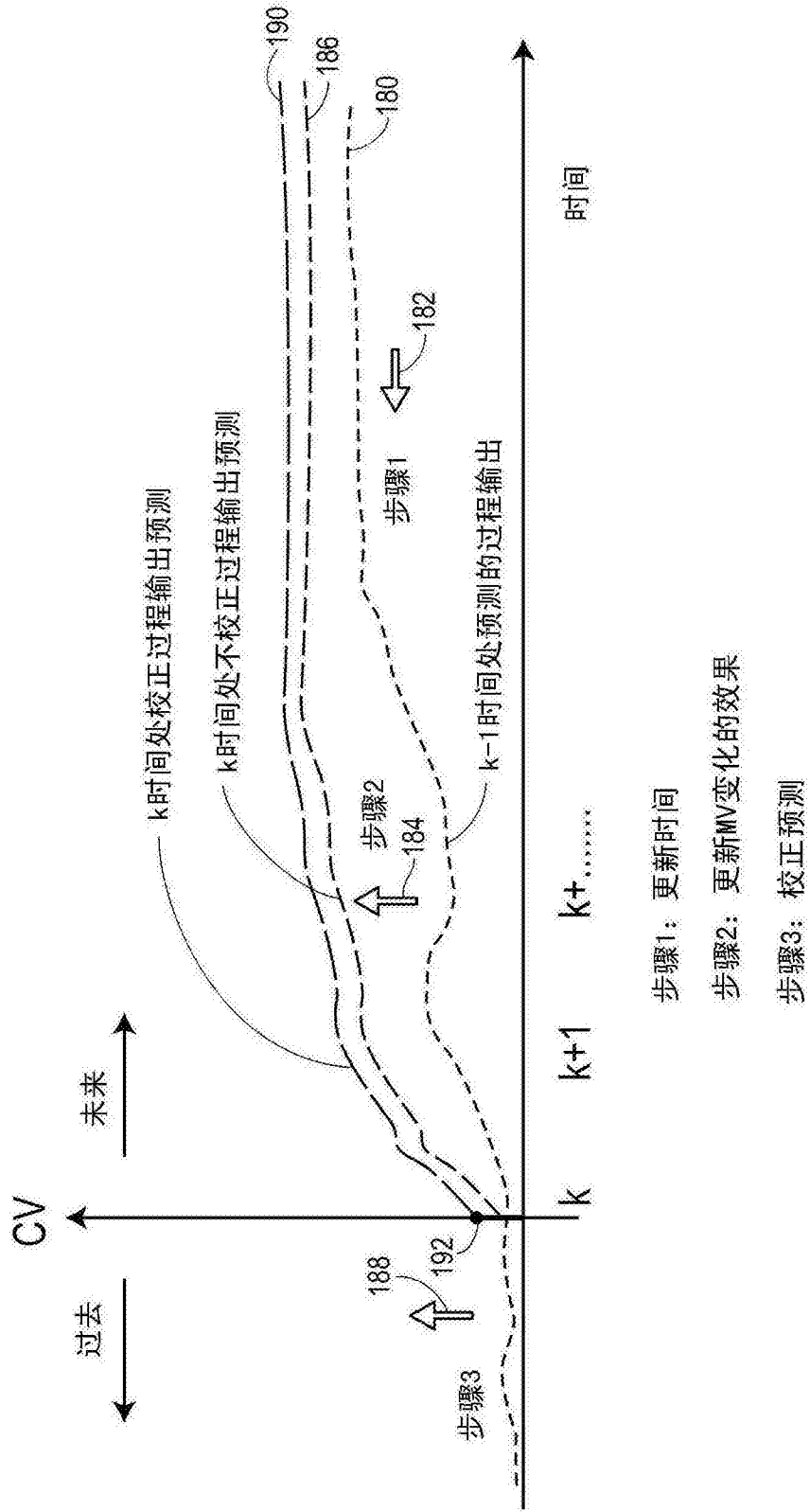


图6

	上部温度	下部温度	底部温度	开度温度
回流流量	$\frac{1}{1+10s}$	0	0	0
侧气流量	0	$\frac{1}{1+10s}$	0	0
再沸器气流量	0	0	$\frac{1}{1+10s}$	0
液体分流	0	0	0	$\frac{0.5}{1+10s}$
进给流量	$\frac{0.2}{1+10s}$	0	0	$\frac{0.2}{1+10s}$

图7

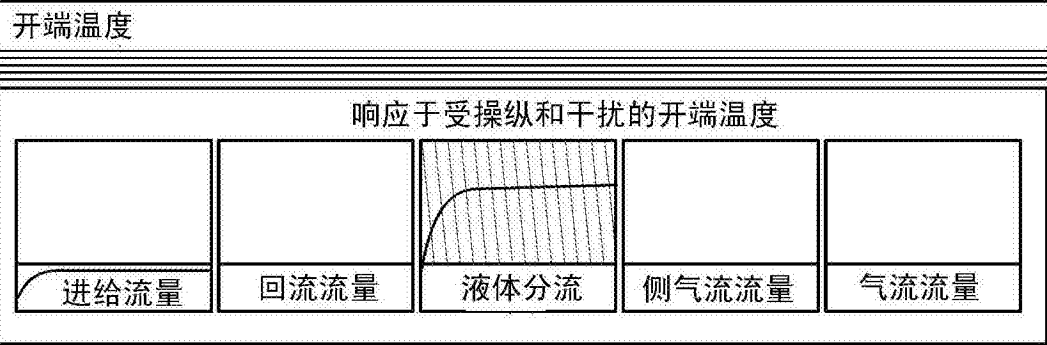
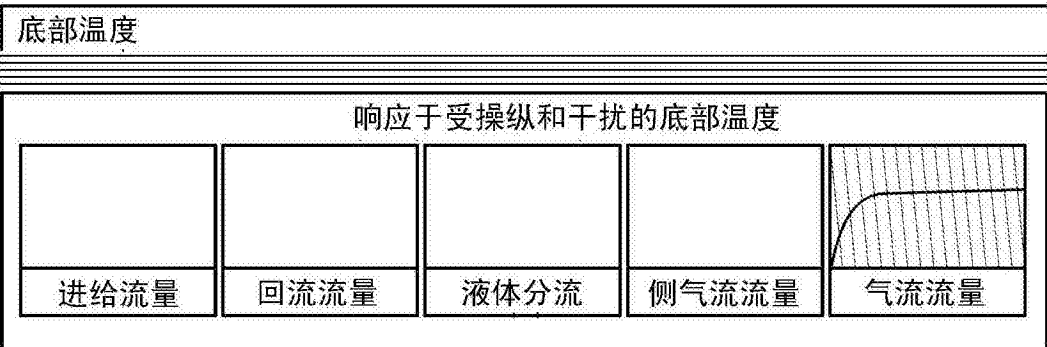
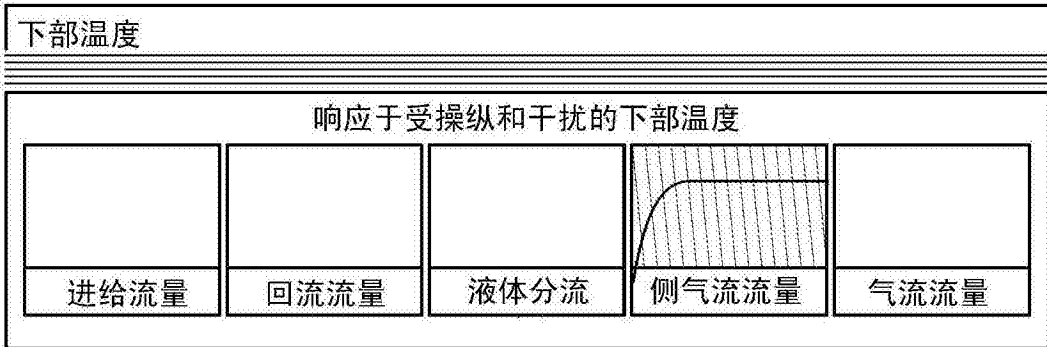
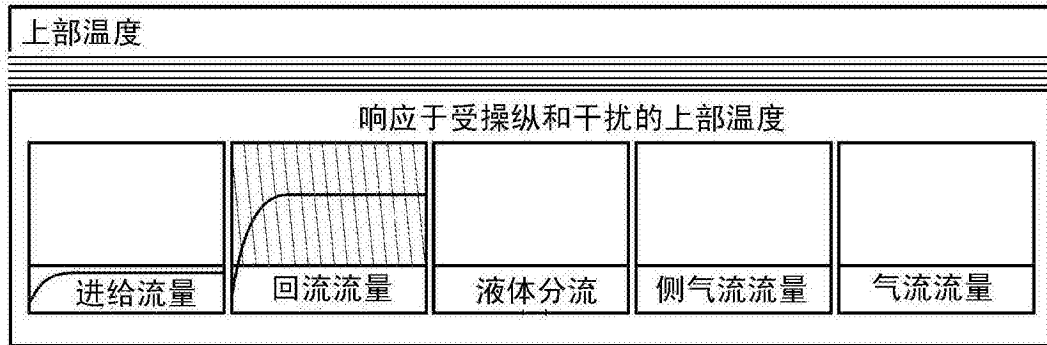


图8

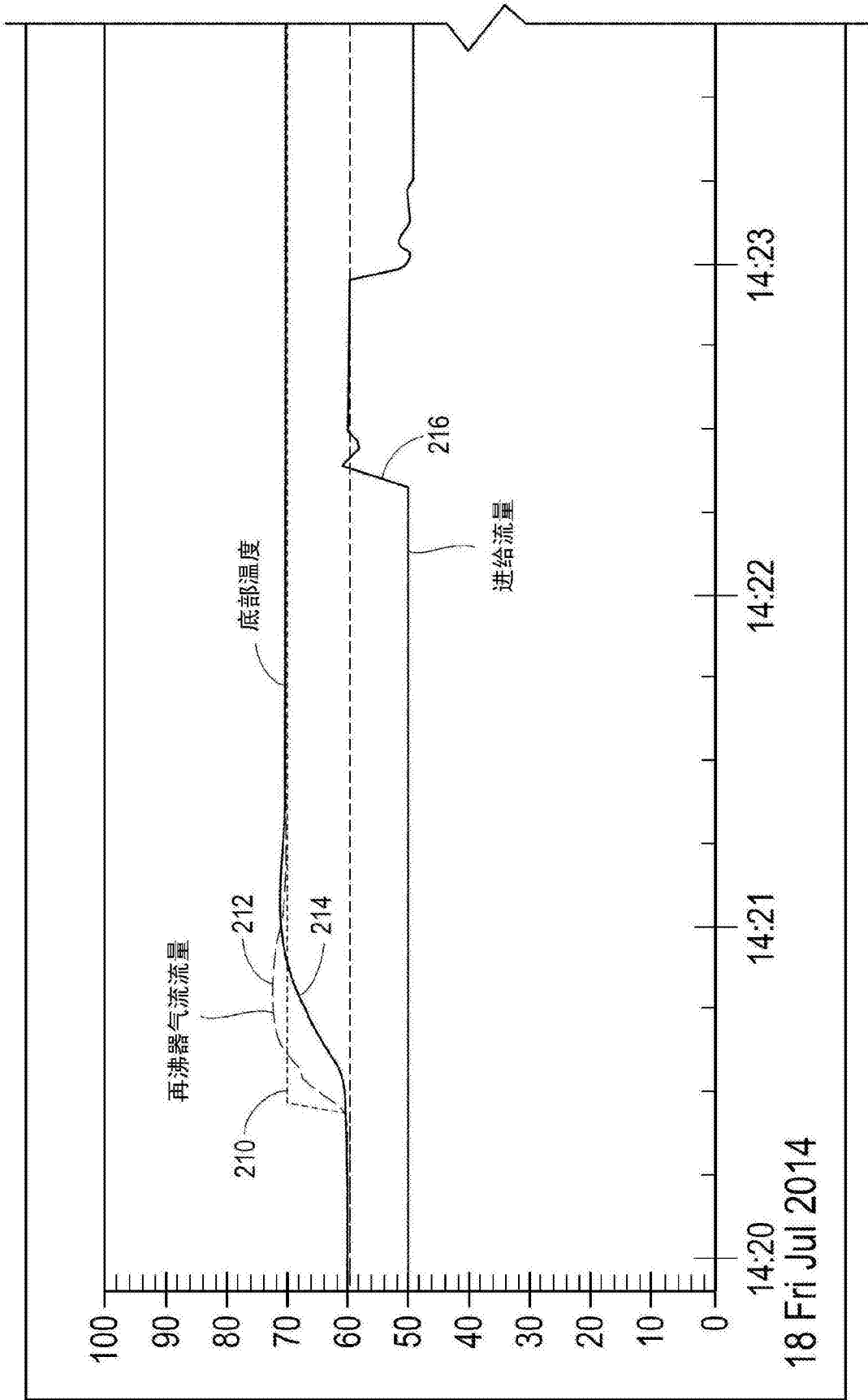


图9

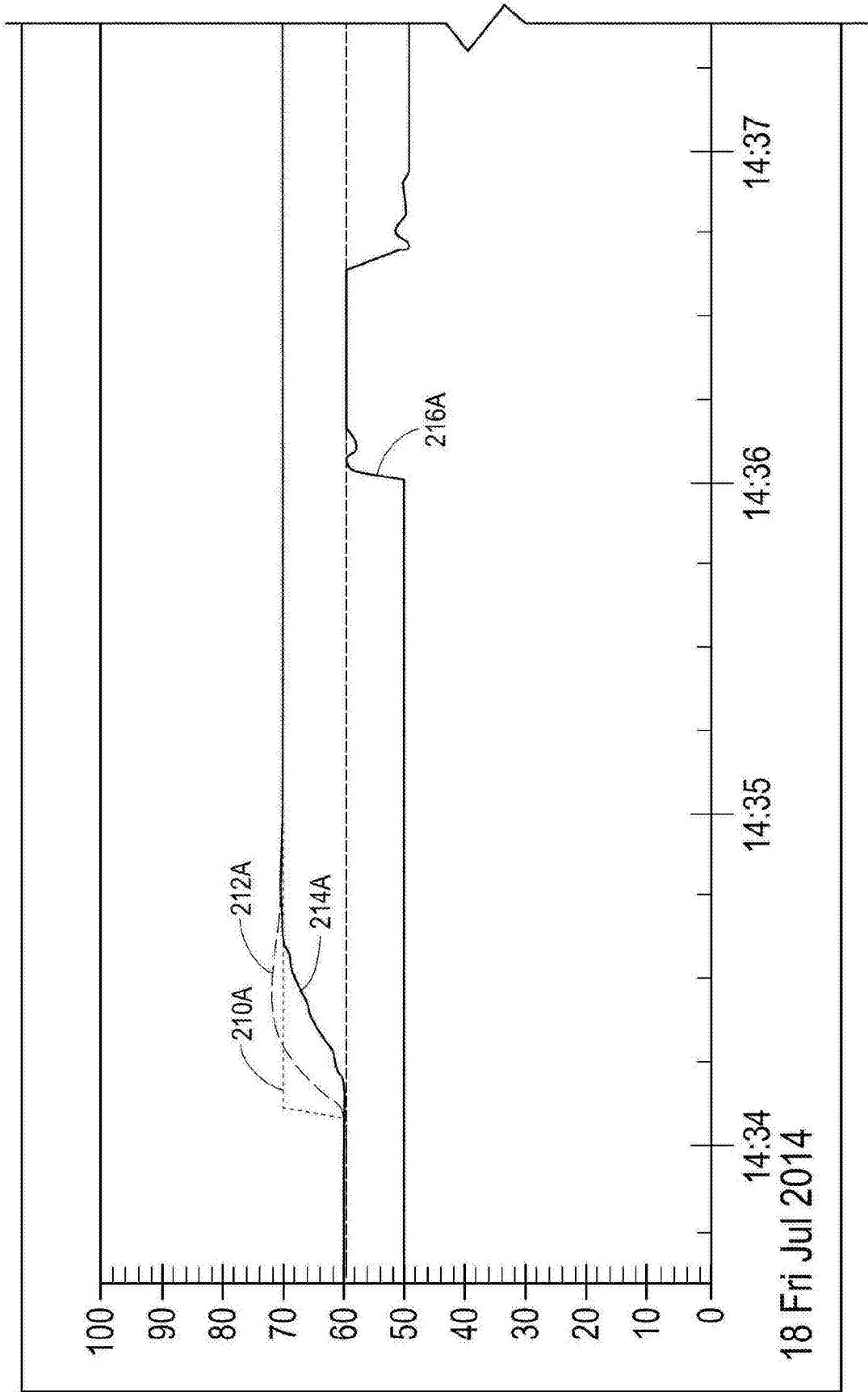


图10A

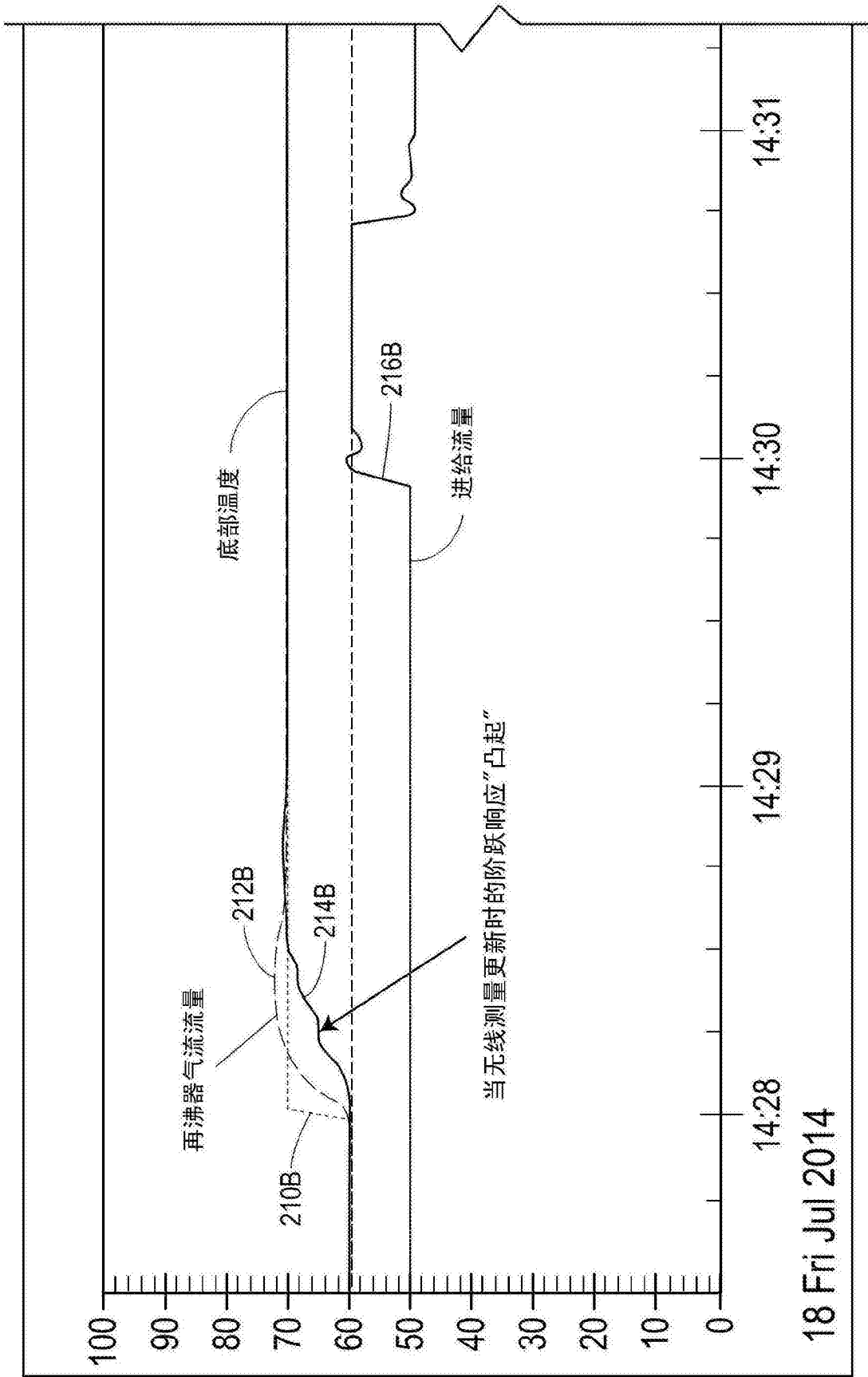


图10B

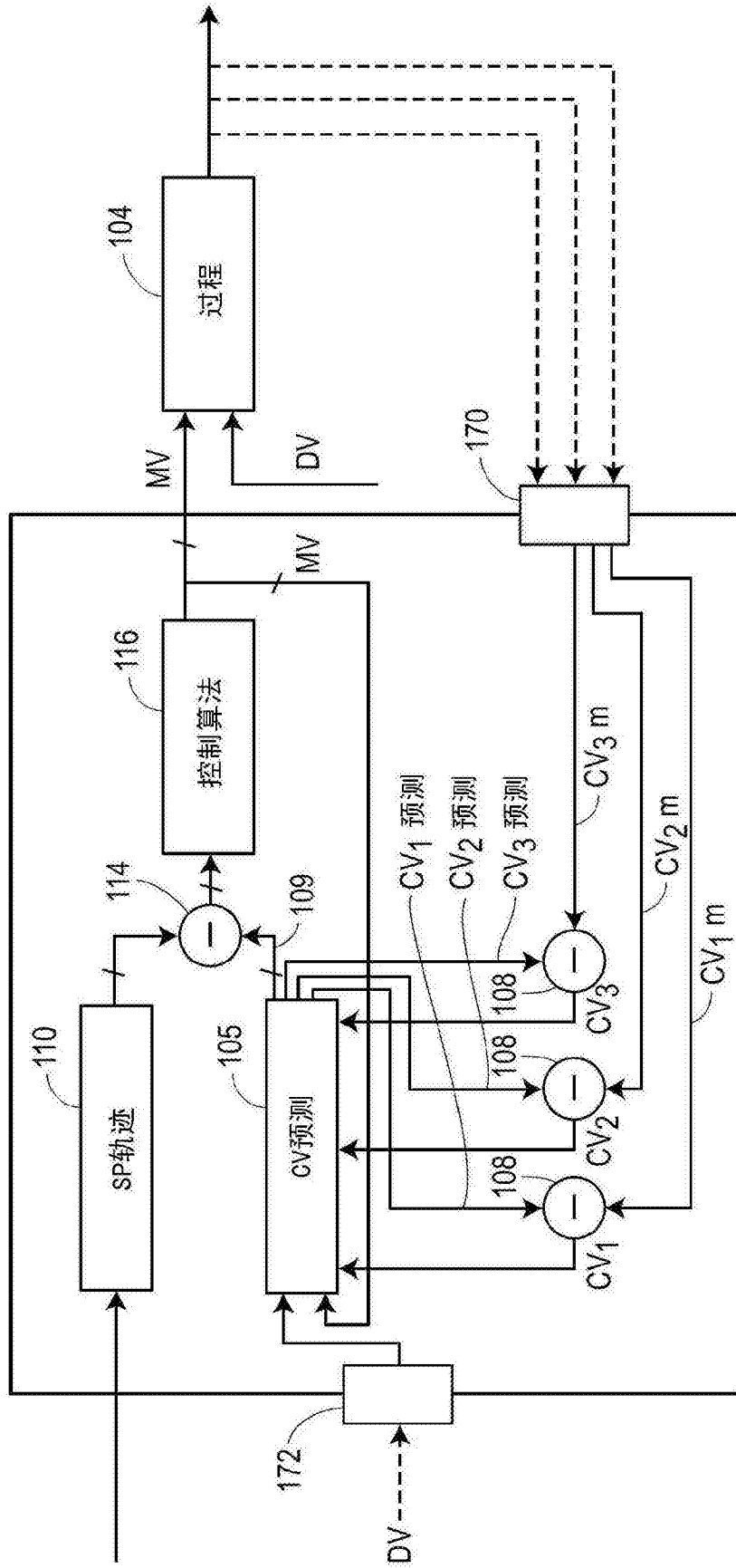


图11

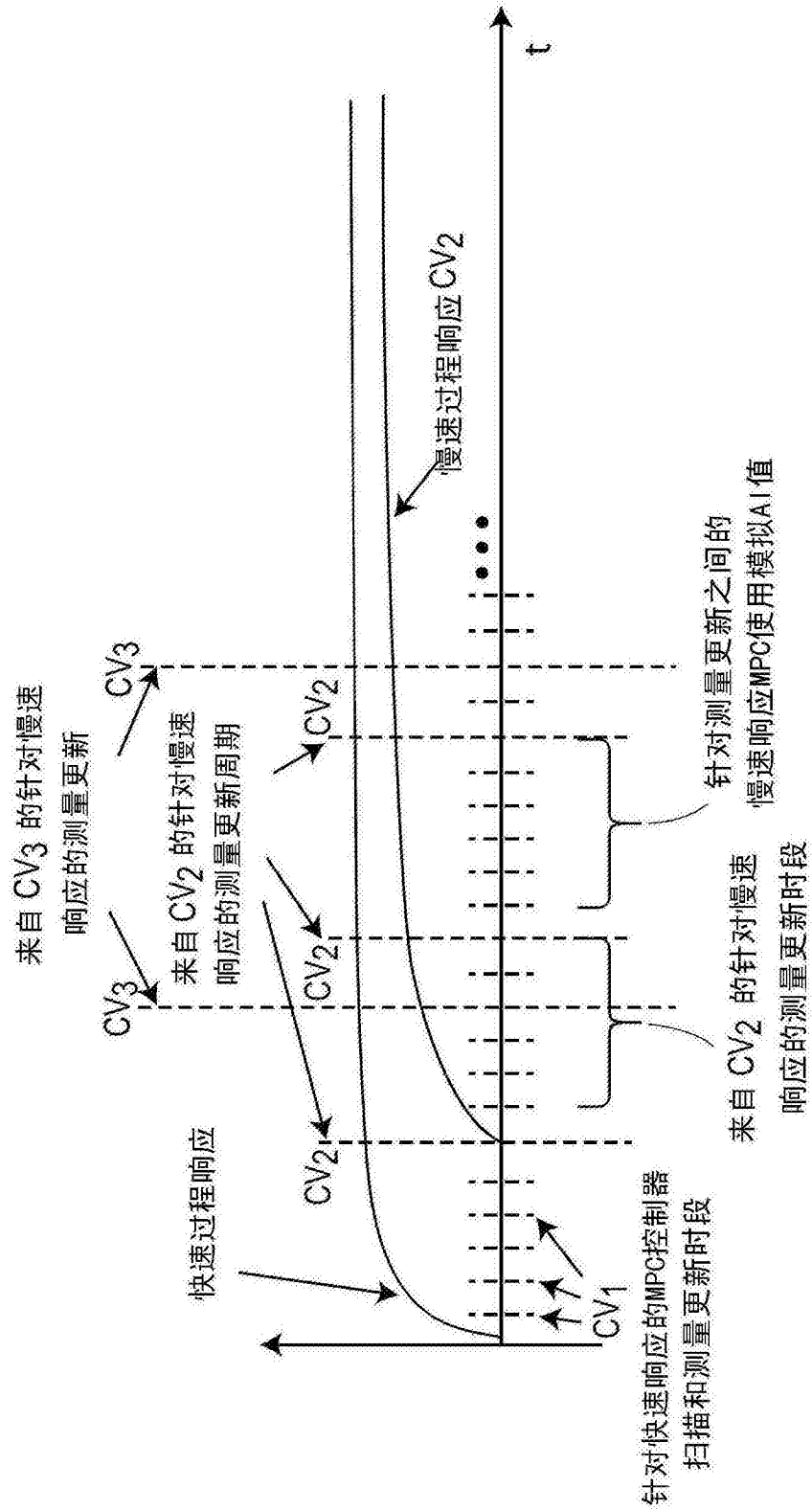


图12