



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102934036 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 27

(21) 申请号 201180009750. X

F24F 11/00(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 02. 15

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

61/304613 2010. 02. 15 US

EP 2012069 A1, 2009. 01. 07,

CN 1272591 C, 2006. 08. 30,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 08. 15

王洪跃等. 改进型卡尔曼滤波器应用于主蒸汽温度控制的研究. 《动力工程》. 2005, 第 25 卷 (第 5 期),

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2011/024847 2011. 02. 15

程红丽等. 一种改进的小波-卡尔曼配电网短期负荷预测方法. 《中国电力》. 2006, 第 39 卷 (第 11 期),

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/100736 EN 2011. 08. 18

P. B. Usoro 等. HVAC SYSTEM FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS. 《AMERICAN CONTROL CONFERENCE, IEEE》. 1985, 第 608 页左栏倒数第 1 段, 右栏全栏.

(73) 专利权人 开利公司

地址 美国康涅狄格州

审查员 田卓

(72) 发明人 Z·奥奈尔 S·纳拉亚南

M·迪博尔德 A·巴纳苏克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 王岳 李浩

(51) Int. Cl.

G05B 13/00(2006. 01)

G05B 17/02(2006. 01)

G05D 23/19(2006. 01)

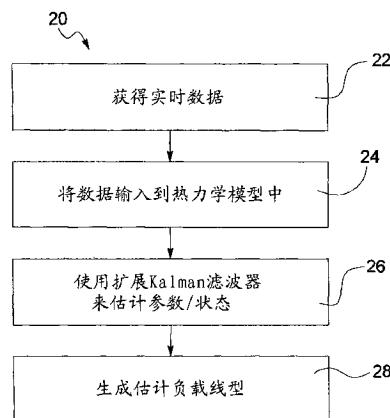
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

用于估计温度受控空间内的参数和状态的基于模型的系统和方法

(57) 摘要

一种用于估计建筑物 (10) 内的区域的加热 / 冷却负载的方法 (20) 可以包括: 确定来自所述区域的所测参数 (22); 生成所述区域的降阶热动力学模型 (25) (24); 基于所述区域的热动力学模型 (25) 生成扩展 Kalman 滤波器 (27) (26); 以及使用所述扩展 Kalman 滤波器 (27) 对所测参数进行处理以便估计所述区域的至少一项未知状态诸如估计负载 (28)。可以使用类似的方法估计制冷系统 (50) 的冷藏室 (52) 内的温度。



1. 一种用于估计建筑物 (10) 内的区域的内部负载的方法 (20), 包括:
确定来自所述区域的所测状态, 其中所测状态是所述区域内的至少一个所测空气温度 (22);
生成所述区域的降阶热动力学模型 (25) (24);
基于所述区域的热动力学模型 (25) 生成扩展 Kalman 滤波器 (27) (26); 以及
使用所述扩展 Kalman 滤波器 (27) 对所测状态进行处理以便估计所述区域的至少一项未知状态 (28), 其中所述至少一项未知状态是所述区域的内部负载。
2. 权利要求 1 的方法, 其中, 所述扩展 Kalman 滤波器 (27) 包括: 时间更新 (30), 其中热动力学模型 (25) 提供未来时间的估计状态和估计误差协方差; 以及测量更新 (32), 其中计算 Kalman 增益, 利用所测状态和 Kalman 增益来更新估计状态, 并且利用 Kalman 增益来更新估计误差协方差。
3. 权利要求 1 的方法, 其中, 所述至少一项未知状态是所述区域的估计集总内部负载。
4. 权利要求 3 的方法, 其中, 所述估计集总内部负载包括估计装备负载、估计照明负载、估计人类负载、估计渗透负载以及估计区域间混合负载的至少一个。
5. 权利要求 3 的方法, 其中, 所述至少一项未知状态还包括与所述区域相关联的至少一个估计表面温度。
6. 权利要求 3 的方法, 还包括基于在一段时间内提供的多个估计集总负载来开发所述区域的内部负载线型 (29)。
7. 权利要求 6 的方法, 还包括将所述内部负载线型 (29) 作为输入负载线型提供到能量仿真程序。
8. 权利要求 1 的方法, 还包括提供 HVAC 控制器 (51), 所述 HVAC 控制器 (51) 具有用于存储降阶热动力学模型 (25) 和扩展 Kalman 滤波器 (27) 的存储器, 其中 HVAC 控制器 (51) 被编程来使用扩展 Kalman 滤波器 (27) 处理所测状态以便估计所述区域的至少一项未知状态。
9. 权利要求 1 的方法, 其中, 所述区域的内部负载至少包括未测量的表面温度。
10. 一种用于估计制冷系统 (50) 的冷藏室 (52) 内的温度的方法 (60), 包括:
确定来自冷藏室的所测状态, 其中所测状态是所述冷藏室内的至少一个所测空气温度 (62);
生成冷藏室 (52) 的降阶热动力学模型 (25), 所述热动力学模型 (25) 包括至少一个未知参数 (64);
使用系统识别方法和传感器测量数据来识别所述热动力学模型 (25) 的所述至少一个未知参数, 所述至少一个未知参数包括与总体冷藏室表面热传递系数和冷藏室表面积有关的集总参数 H^* 以及与除霜期间的能量输入有关的 Qd^* (66);
基于冷藏室 (52) 的热动力学模型 (25) 生成扩展 Kalman 滤波器 (27) (68); 以及
使用扩展 Kalman 滤波器 (27) 对所测状态进行处理, 以便获得冷藏室的估计未知状态以及获得冷藏室的估计未知参数以便生成预测冷藏室温度, 其中所述冷藏室的估计未知状态是货物 (52) 的温度, 所述冷藏室的估计未知参数包括渗透负载、蒸发器盘管的空气侧热阻以及蒸发器盘管 (52) 上的冰生长和衰减速率 (70)。
11. 权利要求 10 的方法, 还包括使用冷藏室 (52) 的所述热动力学模型 (25) 和估计未

知参数来生成预测冷藏室温度。

12. 权利要求 11 的方法, 其中, 将所述预测冷藏室温度与所测冷藏室温度进行比较以便确定是否存在警报条件。

13. 权利要求 10 的方法, 还包括提供具有用于存储冷藏室 (52) 的降阶热动力学模型 (25) 和扩展 Kalman 滤波器 (27) 的存储器的冷藏室控制器 (51), 并且其中所述冷藏室控制器 (51) 被编程来使用扩展 Kalman 滤波器 (27) 处理所测状态以便获得冷藏室 (52) 的估计未知状态和冷藏室 (52) 的估计未知参数。

用于估计温度受控空间内的参数和状态的基于模型的系统 和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 这是按照专利合作条约提交的在 35USC § 119(e) 下要求 2010 年 2 月 15 日提交的美国临时专利申请序列号 61/304,613 的优先权的国际专利申请。

技术领域

[0003] 本公开内容总体上涉及用于控制室内空间中的温度的系统和方法,更具体来说涉及用于估计与室内空间的加热和 / 或冷却有关的参数的系统和方法。

背景技术

[0004] 可以使用多种系统来控制给定空间内的温度。例如,HVAC 系统被用来控制诸如住宅、办公楼以及制造厂之类的建筑物内的温度和其他环境条件。举例来说,可以对诸如温度、湿度、空气纯度、气流、焓(温度与湿度的组合值)以及“新鲜空气”通风之类的环境条件进行调节,以便确保建筑物的室内环境对于被容纳在所述建筑物内的特定居留者和装备来说以及对于在所述建筑物内实施的过程和规程来说是合乎期望的。类似地,制冷系统被用来将室内空间(诸如用于食物储藏的冷藏室)保持在所期望的温度下,以便使得对储藏在所述空间内的物品的细菌滋生或其他有害影响最小化。

[0005] 被用来控制空间的温度的传统系统在提供与之有关的反馈的参数类型方面通常受到限制。这样的系统可以包括用于实时地检测诸如温度之类的参数的各种传感器。因此,可以提供与之有关的数据的参数的数目通常被限制到能够被直接测量或者从这样的测量推断出来的那些参数。反馈数据的有限数量又可能限制或妨碍施行特定过程(诸如系统诊断)的能力或者显著降低这些过程的精度和准度。

[0006] 在某些应用中,传统系统所提供的有限反馈可能导致那些系统的低效操作或监测。超市制冷系统例如可能具有用于在受控温度下储藏货物的冷藏室。食品质量对于超市运营十分重要,因此可能连续监测制冷系统以便保持所期望的食品温度。在一些系统中,当室温超出阈值时可以触发警报。工程师可以检察警报状况以便尝试确定警报的根由,诸如检测并诊断制冷系统中的可能故障。传统的监测系统通常使用人工过程来确定警报信号的根由。例如,工程师可以打电话给商店以便确定最近是否将温度较高的货物带进了冷藏室中,从而将冷藏室的空气温度提高到所述阈值以上。附加地或替换地,工程师可以在确定警报是真还是假之前等待一段预定时间,以便观察空气温度是否回到安全水平。然而,这样的延迟可能在一段不必要的时间内对食品质量产生负面影响。

[0007] 因此,如果开发出一种用于预测室内空间中的冷藏室温度的改进系统将是有益的。

发明内容

[0008] 一种用于估计建筑物内的区域的加热 / 冷却负载的方法可以包括:确定来自所述

区域的所测参数；生成所述区域的降阶热动力学模型；基于所述区域的热动力学模型生成扩展 Kalman 滤波器；以及使用所述扩展 Kalman 滤波器对所测参数进行处理，以便估计所述区域的至少一项未知状态。

[0009] 一种用于估计制冷系统的冷藏室内的温度的方法可以包括：确定来自冷藏室的所测参数；生成所述冷藏室的降阶热动力学模型，所述热动力学模型包括至少一个未知参数；以及使用系统识别方法和传感器测量数据来识别所述热动力学模型中的所述至少一个未知参数。可以基于冷藏室的热动力学模型生成扩展 Kalman 滤波器，并且可以使用所述扩展 Kalman 滤波器对所测参数进行处理，以便获得冷藏室的估计未知状态以及获得冷藏室的估计未知参数。

[0010] 在结合附图时阅读下面的详细描述后，本公开内容的这些及其他方面和特征将变得更加显而易见。

附图说明

[0011] 图 1 是估计建筑物内的负载的基于模型的方法的示意性方框图；

[0012] 图 2 是建筑物的示意图；

[0013] 图 3 是图 2 的建筑物的地板的示意图；

[0014] 图 4 是可以在图 1 所示的方法中使用的建筑物热动力学模型的示意图；

[0015] 图 5 是可以通过基于扩展 Kalman 滤波器的估计器施行的时间更新和测量更新的示意图；

[0016] 图 6 是从图 1 所示的方法获得的建筑物的内部负载线型 (profile) 的图形表示；

[0017] 图 7 是超市制冷系统的冷藏室的示意图；以及

[0018] 图 8 是预测超市制冷系统的冷藏室中的空气温度的基于模型的方法的示意性方框图。

[0019] 虽然本公开内容可以有各种修改和替换构造，但是下面将详细示出并描述其特定的说明性实施例。然而应当理解的是，不意图被限制到所公开的具体实施例，而相反意图涵盖落在本公开内容的精神和范围内的所有修改、替换构造以及等效方案。

具体实施方式

[0020] 现在参照附图，提供基于模型的估计的实施例以便改进温度受控系统的操作、监测和 / 或控制。在一个实施例中，结合扩展 Kalman 滤波器 (EKF) 使用建筑物内的区域的热动力学模型来估计所述区域的加热 / 冷却负载（例如内部负载）。时间上的多个估计负载可以被使用来生成估计负载线型，其又可以被使用在能量仿真程序中或者用于诊断。在另一个实施例中，结合 EKF 使用冷藏室的热动力学模型来估计储藏在所述冷藏室内的货物的温度。EKF 还可以估计一些未知参数，其可以被使用在热动力学模型中以便生成冷藏室的预测空气温度。可以把预测空气温度与冷藏室的实际所测温度进行比较，以便确定触发的警报条件是真还是假。

[0021] 图 1 示意性地示出了用于估计建筑物的区域内的实时负载的方法 20。可以对为之应用所述方法的区域进行缩放。也就是说，所述区域可以被定义为建筑物内的单个房间、一组房间、整个楼层或者建筑物的整个室内空间。所述方法还可以同时被应用于同一建筑物

内的多个不同区域。例如,在图 2 中示意性地示出了建筑物 10,而在图 3 中则示出了建筑物 10 的楼层 12。室内区域 T_{zone} 位于建筑物 10 的楼层 12 上。在所示实施例中,室内区域 T_{zone} 被四个相邻区域围绕,即北方相邻区域 T_n 、东方相邻区域 T_e 、南方相邻区域 T_s 以及西方相邻区域 T_w 。方法 20 可以被用来估计建筑物 10 的室内区域 T_{zone} 中的实时负载。

[0022] 参照图 1,在方框 22 处,由提供在所述区域内的各个传感器(诸如温度传感器和气流传感器)提供实时数据。所述传感器可以被提供为 HVAC 系统的一部分,所述 HVAC 系统被用来控制所述区域内的温度和其他空气质量。相应地,可以从建筑物管理系统(BMS)或者被提供来控制 HVAC 系统的类似系统取得实时数据。所述实时数据可以包括温度、空气流量或者直接测量的其他质量。可以在相邻区域内使用多个相同类型的传感器来测量建筑物内的不同区段处的参数。例如,可以诸如在建筑物内的北方、南方、东方和西方相邻区域处提供多个温度传感器,以便提供那些多个位置处的温度数据。

[0023] 在方框 24 处,将所述实时数据输入到建筑物区域的降阶热动力学模型中。在图 4 中示意性地示出了示例性低阶状态空间热动力学模型 25,其可以被采用在方框 24 中并且可以是基于非线性代数和微分方程。模型 25 使用可以可测量或者以其他方式已知的若干参数,诸如周围温度 T_{amb} 、区域均匀混合空气温度 T_{zone} 、内表面对流热传递系数 h_i 、外表面对流热传递系数 h_o 以及表面积 A 。在模型 25 中使用的其他参数和/或状态可能是未知的,诸如外表面温度 T_{osur} 和内表面温度 T_{isur} 。

[0024] 还可以通过数学方式表述热动力学模型 25。假设地板和天花板的绝热边界条件,下面对于室内区域 T_{zone} 示出了来自热动力学模型 25 的状态空间形成:

$$[0025] \quad \dot{X} = f(X, U)$$

$$[0026] \quad y = CX \quad (1)$$

[0027] 其中,

[0028]

$$f(X, U) = \begin{bmatrix} \left(-\frac{u_1}{m_{air}} - \frac{(h_i A_w + h_i A_n + h_i A_e + h_i A_s)}{m_{air} C_{pa}} \right) x_1 + \frac{h_i A_w}{m_{air} C_{pa}} x_3 + \frac{h_i A_n}{m_{air} C_{pa}} x_5 + \frac{h_i A_e}{m_{air} C_{pa}} x_7 + \frac{h_i A_s}{m_{air} C_{pa}} x_9 + \frac{x_{10}}{m_{air} C_{pa}} + \frac{u_1 u_2}{m_{air}} \\ - \left(\frac{h_o A_w}{C_w} + \frac{1}{R_w C_w} \right) x_2 + \frac{1}{R_w C_w} x_3 + \frac{h_o A_w u_3}{C_w} \\ \frac{h_i A_w}{C_w} x_1 + \frac{1}{R_w C_w} x_2 - \left(\frac{h_i A_w}{C_w} + \frac{1}{R_w C_w} \right) x_3 \\ - \left(\frac{h_o A_n}{C_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) x_4 + \frac{1}{R_n C_n} x_5 + \frac{h_o A_n u_4}{C_n} \\ \frac{h_i A_n}{C_n} x_1 + \frac{1}{R_n C_n} x_4 - \left(\frac{h_i A_n}{C_n} + \frac{1}{R_n C_n} \right) x_5 \\ - \left(\frac{h_o A_e}{C_e} + \frac{1}{R_e C_e} \right) x_6 + \frac{1}{R_e C_e} x_7 + \frac{h_o A_e u_5}{C_e} \\ \frac{h_i A_e}{C_e} x_1 + \frac{1}{R_e C_e} x_6 - \left(\frac{h_i A_e}{C_e} + \frac{1}{R_e C_e} \right) x_7 \\ - \left(\frac{h_o A_s}{C_s} + \frac{1}{R_s C_s} \right) x_8 + \frac{1}{R_s C_s} x_9 + \frac{h_o A_s u_6}{C_s} \\ \frac{h_i A_s}{C_s} x_1 + \frac{1}{R_s C_s} x_8 - \left(\frac{h_i A_s}{C_s} + \frac{1}{R_s C_s} \right) x_9 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

[0029] $U = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ u_4 \ u_5 \ u_6] = [\dot{m}_{sa} \ T_{sa} \ T_w \ T_n \ T_e \ T_s]$ 是输入矢量,并且 $y = T_{zone}(t)$ 是来自传感器测量的室温历史。状态矢量是:

$$[0030] \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{zone} \\ T_{ow} \\ T_{iw} \\ T_{on} \\ T_{in} \\ T_{oe} \\ T_{ie} \\ T_{os} \\ T_{is} \\ Q_{int} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0031] 其中,

[0032] T_{zone} :区域均匀混合空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0033] T_w :西方相邻区域空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0034] T_n :北方相邻区域空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0035] T_e :东方相邻区域空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0036] T_s :南方相邻区域空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0037] T_{ow} :西方墙壁外表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0038] T_{iw} :西方墙壁内表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0039] T_{on} :北方墙壁外表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0040] T_{in} :北方墙壁内表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0041] T_{oe} :东方墙壁外表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0042] T_{ie} :东方墙壁内表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0043] T_{os} :南方墙壁外表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0044] T_{is} :南方墙壁内表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0045] Q_{int} :集总负载,包括所有装备负载、照明负载和人类负载(对流部分)、渗透负载以及由于区域间空气混合造成的负载[W];

[0046] A_j :表面积 [m^2], $j \in (w, n, e, s)$ 是周围区域的索引:西方、北方、东方和西方;

[0047] h_i :内表面对流热传递系数 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

[0048] h_o :外表面对流热传递系数 [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$];

[0049] $\dot{m}_{air}$:供给空气质量流量 [kg/s];

[0050] m_{air} :给定区域的空气质量 [kg];

[0051] T_{sa} :供给空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];以及

[0052] C_{pa} :干燥空气的比热容量 [$\text{J}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$].

[0053] 回到图 1,来自热动力学模型 25 的结果随后被输入到方框 26 中,其中在所述过程中可以使用扩展 Kalman 滤波器(EKF) 27 来估计诸如负载之类的未知状态。EKF 27 还可以估计在热动力学模型中使用的一个或更多未知参数和/或状态,诸如未测量的表面温度。在 EKF 27 的设计期间可以考虑实时数据的不确定性。

[0054] 在图 5 中示出了 EKF 27 的示意图。在所示实施例中,EKF 27 可以包括时间更新

30 和测量更新 32。在时间更新 30 中,在时间 $k-1$ 处从热动力学模型 25 提供对未知状态和误差协方差的初始估计。基于所述初始估计,生成时间 k 处的预测未知状态和预测误差协方差。在测量更新中,使用所测参数来更新预测未知状态和误差协方差。首先计算 Kalman 增益。随后利用所计算的 Kalman 增益和所测参数来更新预测未知状态。还使用所计算的 Kalman 增益来更新预测误差协方差。随后将更新后的预测未知状态和更新后的预测误差协方差反馈到时间更新 30,从而细化热动力学模型。

[0055] 在一个示例性实施例中,所测参数可以是所述区域测量的空气温度。热动力学模型 25 和 EKF 27 可以被用来估计未知参数,诸如未测量的房间表面温度。此外,模型 25 和 EKF 27 可以被用来估计所述区域的未知状态,诸如负载。

[0056] 在方框 28 处,可以基于随着时间取得的多个负载估计而生成估计负载线型 29。如图 6 中更加详细地示出的那样,估计负载线型 29 可以绘制一段时间(诸如一天)内的负载(诸如集总负载 Q_{int})。估计负载线型 29 可以直接地或推理地提供各种类型的信息。例如,估计负载线型 29 可以促进在动态环境中对建筑物使用(诸如居留、插座负载、照明负载以及过程负载)的更好理解。

[0057] 估计负载线型 29 还可以实现细化现有的过程,诸如建筑物能量监测、诊断或者控制工具。建筑物能量监测工具包括能量仿真程序,诸如由美国能源部提供的 EnergyPlus[®] 程序,其可以被用来仿真随着时间的建筑物能量使用。估计负载线型 29 可以作为输入负载线型被提供给这样的能量仿真程序,从而提供对建筑物内的能量使用的更加精确的估计。估计负载线型 29 还可以被使用在建筑物能量诊断工具或程序中,以便确定故障或警报条件。估计负载线型 29 可以表明负载异常,诸如在一天当中正常将不会遇到意外大负载的时段期间出现这样的负载。负载异常可以被用来生成用于检查局部故障的警报,诸如当建筑物无人居留时的外壳泄漏或灯光使用。估计负载线型 29 可以附加地或替换地被使用在用来操作温度控制装备的建筑物能量控制工具或软件中。

[0058] 可以提供一个控制器诸如 HVAC 控制器 51(参见图 7)来施行方法 20 的一个或更多步骤。HVAC 控制器 51 可以包括存储器用于存储降阶热动力学模型 25、扩展 Kalman 滤波器 27 以及其他数据或算法。HVAC 控制器 51 还可以操作性地耦合到传感器或其他输入,以便提供所测参数或其他数据。HVAC 控制器 51 还可以被编程来使用扩展 Kalman 滤波器 27 处理所测参数,以便估计所述区域的至少一项未知状态。

[0059] 基于模型的估计还可以被应用在其他应用中,诸如应用在图 7 中示意性地示出的超市制冷系统 50 中。制冷系统 50 可以包括用于储藏货物的冷藏室 52、以及操作性地耦合到所述冷藏室以便将房间保持在所期望的温度下的风扇 54 和蒸发器 56。可以监测冷藏室 52 的温度以便确保它把货物保持在阈值温度以下。虽然 HVAC 控制器 51 被示为冷藏室 52 的一部分,将理解的是这样的图示仅仅是示例性的。在其他实施例中,可以在其他配置中与冷藏室 52(或建筑物本身)相组合或相结合地采用 HVAC 控制器 51。

[0060] 图 8 示意性地示出了用于在冷藏室 52 中估计状态并预测温度的方法 60。在方框 62 处,由一个或更多传感器(诸如放置在所述冷藏室中的空气温度传感器)提供所测数据(或者在这里替换地被称作“已知参数”)。

[0061] 在方框 64 处可以将所测数据使用在冷藏室的降阶热动力学模型中。所述热动力学模型可以是基于非线性代数和微分方程,并且可以使用若干已知参数(诸如所测冷藏室

空气温度 T_R) 和若干未知参数 (诸如渗透负载 Q_{in})。可以通过数学方式如下表述来自冷藏室的热力学模型的状态空间形成:

[0062] $\dot{X} = f(X, U)$

[0063] $y = CX$ (4)

[0064] 其中,

[0065]

$$f(X, U) = \begin{bmatrix} H^*(T_{amb} - x_1) + \frac{u_f(t)}{x_2 + x_4}(u_T(t) - x_1) + Q_d^* u_d(t) + x_5 u_{in}(t) + \frac{UA_{g-a}(x_3 - x_1)}{x_8} \\ x_6(1 - x_2)(1 - u_d(t)) + x_7 x_2 u_d(t) \\ - \frac{UA_{g-a}(x_3 - x_1)}{x_9} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0066] $U = [u_f(t) u_d(t) u_{in}(t) u_T(t)]$ 是输入矢量, 并且 $y = T_R(t)$ 是来自传感器测量的室温历史。状态矢量是如下:

$$[0067] \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_R \\ R^* \\ T_{goods} \\ R_c^* \\ Q_{in}^* \\ a_g \\ b_g \\ M_{air} \\ M_{goods} \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0068] 其中,

[0069] u_f : 风扇状态, 开 / 关 (1 或 0);

[0070] u_d : 除霜状态, 开 / 关 (1 或 0);

[0071] u_{in} : 门状态, 开 / 关 (1 或 0);

[0072] u_T : 蒸发器盘管表面温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0073] T_R : 冷藏室空气温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0074] T_{goods} : 货物温度 [$^{\circ}\text{C}$];

[0075] R : 冰热阻 [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{W}$], 其中 $a_g \cdot (1 - R) > 0$ 是当除霜关闭时的生长速率, 并且 $b_g \cdot R < 0$ 是当除霜活动时的衰减速率;

[0076] R_c : 空气侧热阻 [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{W}$];

[0077] Q_{in} : 渗透负载 [W] ;

[0078] U : 货物与空气之间的总体热传递系数 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] ;

[0079] M_{air} : 冷藏室内的空气的热质量 [$J/^\circ C$] ;

[0080] M_{goods} : 冷藏室内的货物的热质量 [$J/^\circ C$] 。

[0081] 在方框 66 处, 可以使用系统识别方法来识别一个或更多未知参数。在方框 64 处, 从测量数据和动力学模型识别对系统行为的外部影响 (其可以被视为到所述系统的输入)。在这一过程中, 需要传感器测量数据 (包括冷藏室温度、风扇状态、除霜状态以及门状态) 来识别未知参数, 诸如集总参数 H^* (与总体冷藏室表面热传递系数和冷藏室表面积有关) 和 Qd^* (除霜期间的能量输入)。

[0082] 在方框 68 处, 使用基于热动力学模型的扩展 Kalman 滤波器 (EKF) (诸如 EKF 27) 来估计冷藏室的未知状态和未知参数。所述未知状态可以包括冷藏室内的货物的温度 T_{goods} , 而未知参数则可以包括 R_c (蒸发器盘管 56 的空气侧热阻)、 Q_{in} (渗透负载)、 a_g (表明蒸发器盘管 56 上的冰生长速率的参数) 以及 b_g (表明蒸发器盘管 56 上的冰衰减速率的参数)。在 EKF 的设计期间可以考虑到实时数据的不确定性。与前面的实施例一样, EKF 可以包括时间更新和测量更新组件。利用来自 EKF 的估计未知参数, 随后可以使用热动力学模型来生成预测室温, 正如方框 70 处所示出的那样。

[0083] 所估计的状态 (诸如所估计的货物温度 T_{goods}) 和预测室温可以被用于监测、诊断或其他目的。通过提供估计货物温度 T_{goods} , 所述方法允许监测人员自动诊断温度警报的根由 (诸如当把温度较高的货物带到冷藏室中时), 而不需要给商店打电话或进行其他查询以询问该信息。此外, 可以将预测室温与所测实时数据 (诸如冷藏室温度 T_r) 进行比较, 以便确定警报条件是真还是假。例如, 当预测室温与实际室温趋同时, 警报可以为假, 而当它们偏离时, 警报可以为真。

[0084] 可以提供诸如冷藏室控制器 (诸如 HVAC 控制器 51) 之类的控制器来施行方法 60 的一个或更多步骤。所述冷藏室控制器可以包括存储器用于存储冷藏室的降阶热动力学模型、扩展 Kalman 滤波器以及其他数据或算法。所述冷藏室控制器还可以操作性地耦合到传感器或其他输入, 以便提供所测参数、关于未知参数的信息或者其他数据。所述冷藏室控制器还可以被编程来使用扩展 Kalman 滤波器处理所测参数, 以便获得冷藏室的估计未知状态和冷藏室的估计未知参数。

[0085] 本领域技术人员将认识到, 在不偏离本公开内容的范围的情况下, 可以在所公开的基于模型的估计系统和方法中做出各种修改和变化。通过考虑本说明书以及实践在这里所公开的系统和方法, 本领域技术人员将认识到除了在这里具体公开的那些实施例之外的实施例。本说明书和实例旨在被视为仅仅是示例性的, 而本公开内容的真实范围由所附权利要求书及其等效表述表明。

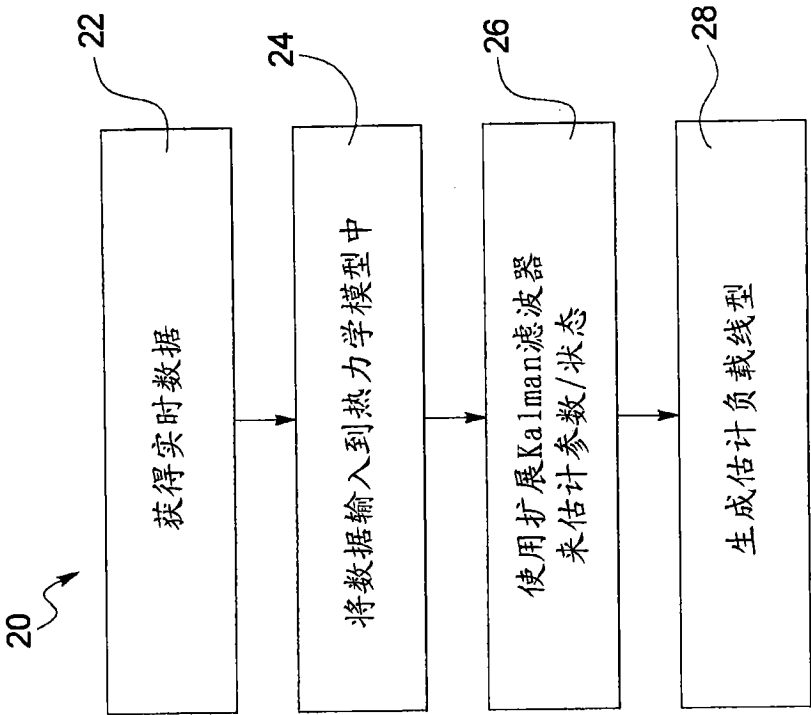


图 1

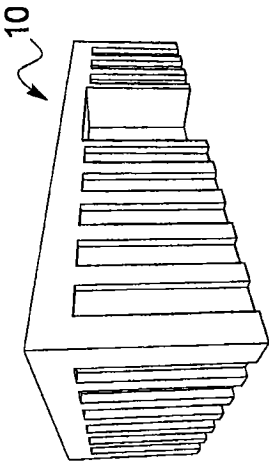


图 2

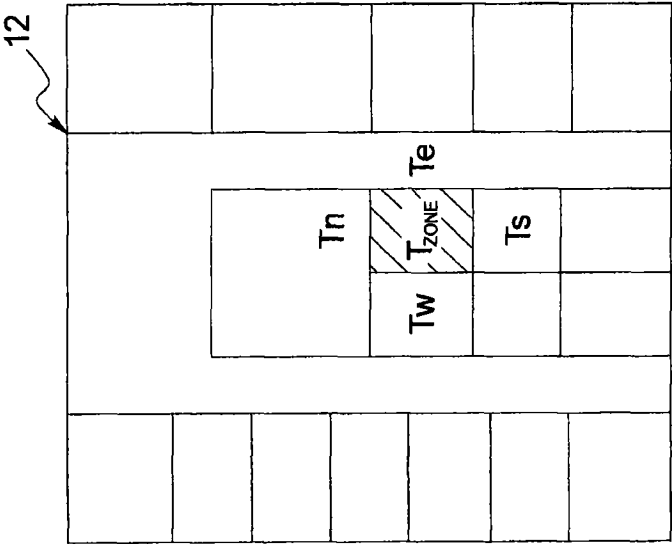


图 3

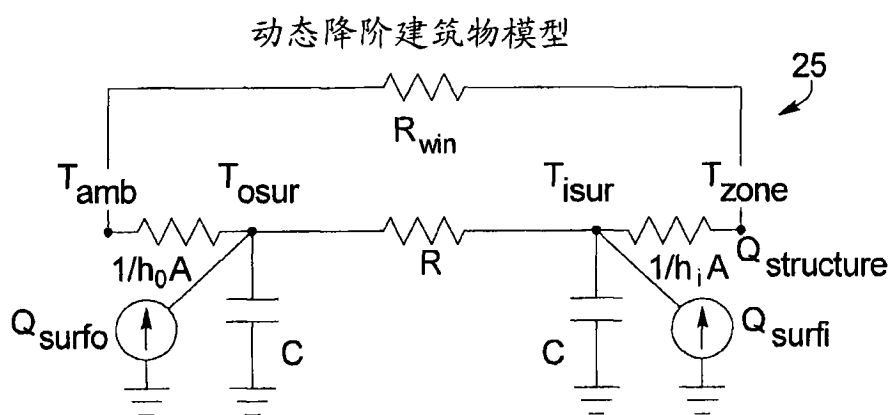


图 4

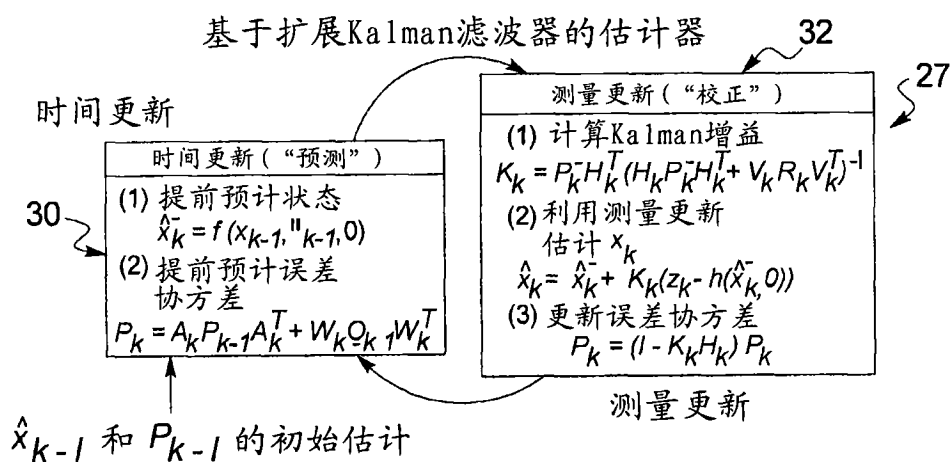


图 5

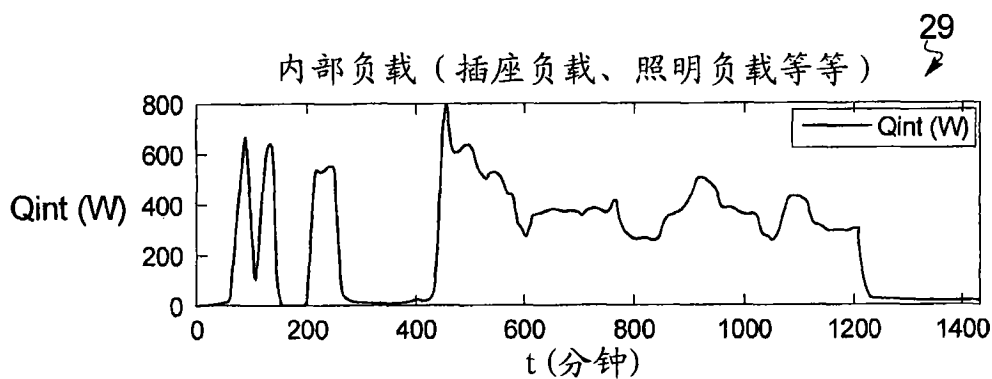


图 6

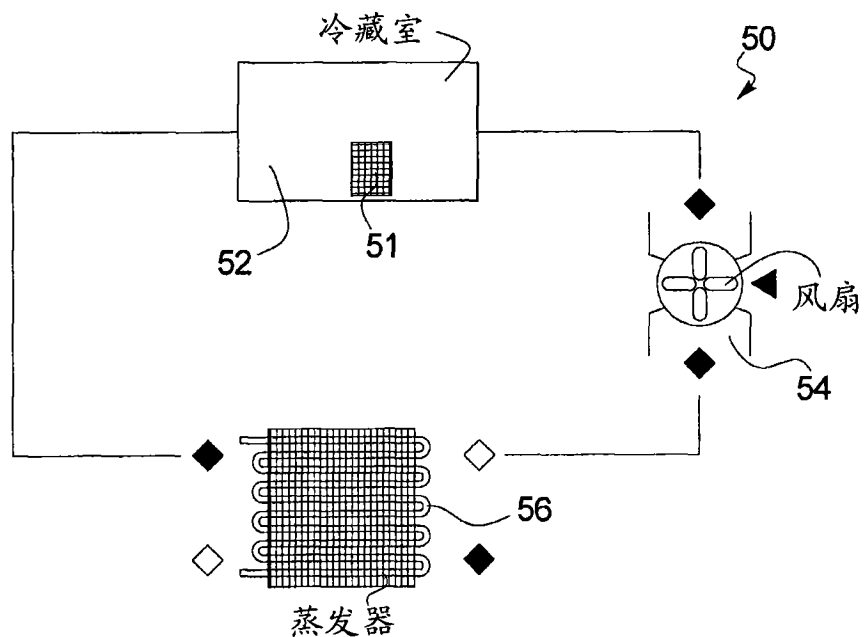


图 7

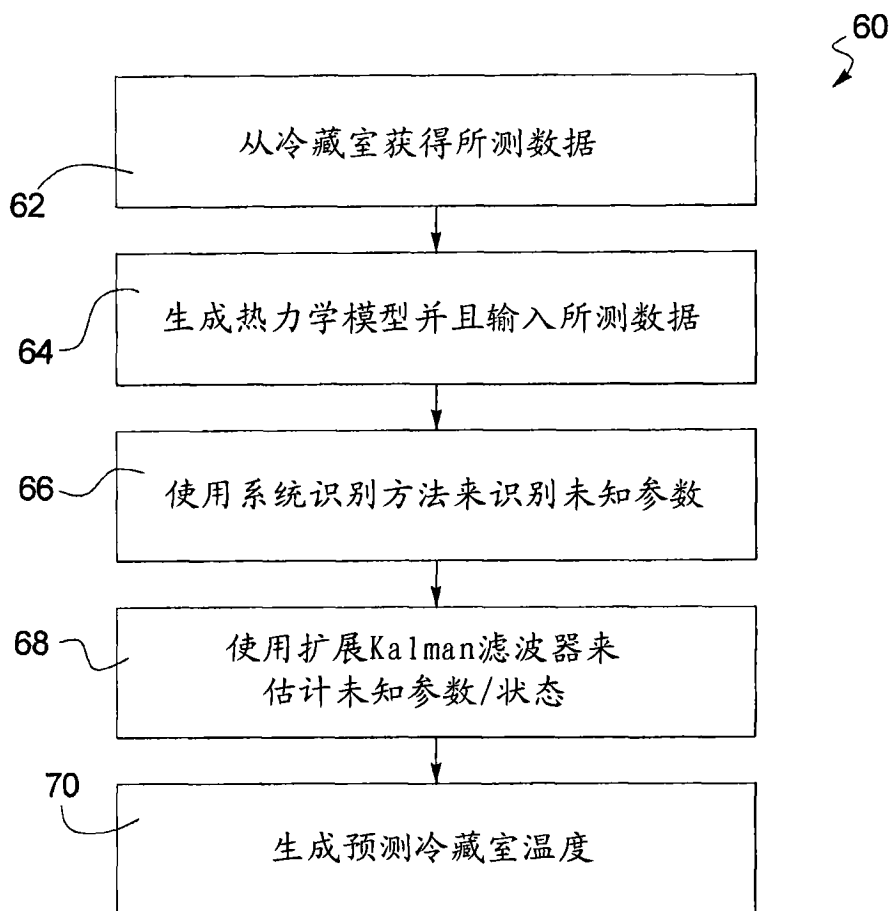


图 8