



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111442478 A

(43)申请公布日 2020.07.24

(21)申请号 202010161361.X

(22)申请日 2020.03.10

(71)申请人 珠海派诺科技股份有限公司  
地址 519085 广东省珠海市高新区科技创新海岸科技六路15号1号楼一至三层

(72)发明人 熊钧 徐永凯 郑占赢 徐义  
王鹏锋

(74)专利代理机构 广州市越秀区哲力专利商标  
事务所(普通合伙) 44288  
代理人 王毅

(51)Int.Cl.  
F24F 11/46(2018.01)  
F24F 11/63(2018.01)

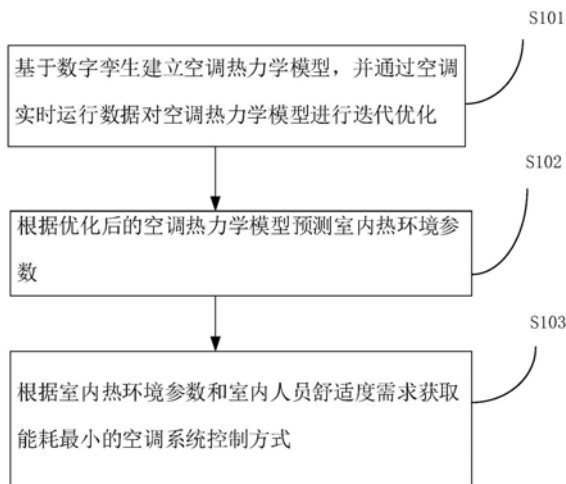
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

空调系统优化控制方法、智能终端、存储装置

(57)摘要

本发明提供一种空调系统优化控制方法、智能终端、存储装置,该方法包括:S101:基于数字孪生建立空调热力学模型,并通过空调实时运行数据对空调热力学模型进行迭代优化;S102:根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数;S103:根据室内热环境参数和室内人员舒适度需求获取能耗最小的空调系统控制方式。本发明利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。



1. 一种空调系统优化控制方法,其特征在于,所述方法包括:

S101:基于数字孪生建立空调热力学模型,并通过空调实时运行数据对所述空调热力学模型进行迭代优化;

S102:根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数;

S103:根据所述室内热环境参数和室内人员舒适度需求获取能耗最小的空调系统控制方式。

2. 如权利要求1所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,所述空调热力学模型包括室内温度动态变化模型、平均辐射温度模型、平均风速模型、人体舒适度模型以及空调系统优化控制模型。

3. 如权利要求2所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,所述室内温度动态变化模型为:

$$\frac{dt_a}{d\tau} = \frac{1}{R_1 C_a} (t_0 - t_a) - \frac{Q}{C_a} \quad (1)$$

式中, $C_a$ 为等效比热容; $Q$ 为制冷/热量; $t_0$ 为外界温度; $t_a$ 为室内空气温度; $R_1$ 为等效阻抗。

4. 如权利要求2所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,所述平均辐射温度模型为:

$$t_r = \sum_{i=1}^n \phi_{si} \cdot t_{si} \quad (2)$$

式中, $t_r$ 为人体表面的平均辐射温度; $\phi_{si}$ 人体与壁面*i*之间的形状系数; $t_{si}$ 为壁面*i*的表面温度。

5. 如权利要求2所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,所述平均风速模型为:

$$v = aP^2 + bP + c \quad (3)$$

式中, $v$ 是风速, $P$ 是风机功率, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 是系数。

6. 如权利要求2所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,所述人体舒适度模型为:

$$PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.028] \{M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5.733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

式中, $PMV$ 为人体舒适度, $M$ 为人体新陈代谢率; $W$ 为人体做功的功率; $p_a$ 为环境空气中水蒸气分压力; $f_{cl}$ 为人体穿衣部分与裸体部分表面积之比; $t_s$ 为平均辐射温度; $t_{cl}$ 为穿衣人体外表面平均温度; $h_c$ 为对流热交换系数。

7. 如权利要求6所述的空调系统优化控制方法,其特征在于,

$$p_a = 6107.8 \times RH_a \times \exp[t_a / (t_a + 238.2) \times 17.2694];$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} \left[ (t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_s + 273)^4 \right] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\};$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl} & (I_{cl} \leq 0.078) \\ 1.05 + 0.645 I_{cl} & (I_{cl} > 0.078) \end{cases};$$

$$h_c = 12.1 \times \sqrt{v}$$

式中,  $RH_a$ 为空气的相对湿度,  $I_{cl}$ 为衣服/寝具热阻,  $v$ 是风速。

8. 如权利要求1所述的空调系统优化控制方法, 其特征在于, 所述根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数的步骤具体包括:

对所述空调热力学模型进行虚拟仿真, 模拟真实环境的行为状况实现室内热环境参数的预测。

9. 一种智能终端, 其特征在于, 所述智能终端包括处理器、存储器, 所述处理器与所述存储器耦合连接, 所述存储器存储有基于数字孪生建立的空调热力学模型, 所述处理器在执行计算机程序时实现如权利要求1-8任一项所述的空调系统优化控制方法。

10. 一种具有存储功能的存储装置, 其特征在于, 所述存储装置存储有程序数据, 所述程序数据用于执行如权利要求1-8任一项所述的空调系统优化控制方法。

## 空调系统优化控制方法、智能终端、存储装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及空调控制领域,尤其涉及一种空调系统优化控制方法、智能终端、存储装置。

### 背景技术

[0002] 随着生活水平的不断提高,人们对室内热环境的要求也越来越高,相应的因室内温度调节产生的能耗越来越高。据统计,建筑能耗占世界总能耗的40%左右,其中一半用于舒适度空气调节系统。

[0003] 为了满足人员舒适度和降低系统能耗,现在空调控制系统采取的方法往往是根据室内的实际温度调节空调的制冷/制热效果。但是,由于建筑物的蓄热特性,建筑物的得热量不一定等于冷负荷,得热量与冷负荷间接转化过程的快慢程度与室内物体的蓄热能力、室内空气流动情况等因素有关,转化过程还伴随着衰减和延滞现象,即冷负荷的峰值小于得热量的峰值,冷负荷峰值出现时间晚于得热量峰值的出现时间,由此造成空调温度控制系统广泛存在滞后,当滞后时间远大于对象的时间常数时,由于控制作用的延迟,极易引起系统闭环的不稳定或根本无法对系统进行有效的控制,从而不能有效调节室内温度,难以实现降低能耗和提高人员舒适度的目的。

### 发明内容

[0004] 为了克服现有技术的不足,本发明提出一种空调系统优化控制方法、智能终端、存储装置,将空调系统中不同物理特性的模型耦合关联到一起,构建空调系统的数字孪生,并在虚拟环境中复现了空调运行环境,将模型和物理空间模型处于实时交互中,二者能够及时地掌握彼此的动态变化并实时地做出响应,利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。

[0005] 为解决上述问题,本发明采用的一个技术方案为:一种空调系统优化控制方法,所述方法包括:S101:基于数字孪生建立空调热力学模型,并通过空调实时运行数据对所述空调热力学模型进行迭代优化;S102:根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数;S103:根据所述室内热环境参数和室内人员舒适度需求获取能耗最小的空调系统控制方式。

[0006] 进一步地,所述空调热力学模型包括室内温度动态变化模型、平均辐射温度模型、平均风速模型、人体舒适度模型以及空调系统优化控制模型。

[0007] 进一步地,所述室内温度动态变化模型为:

$$[0008] \quad \frac{dt_a}{d\tau} = \frac{1}{R_1 C_a} (t_0 - t_a) - \frac{Q}{C_a} \quad (1)$$

[0009] 式中, $C_a$ 为等效比热容; $Q$ 为制冷/热量; $t_0$ 为外界温度; $t_a$ 为室内空气温度; $R_1$ 为等

效阻抗。

[0010] 进一步地,所述平均辐射温度模型为:

$$[0011] \quad t_r = \sum_{i=1}^n \phi_{si} \cdot t_{si} \quad (2)$$

[0012] 式中, $t_r$ 为人体表面的平均辐射温度; $\Phi_{si}$ 人体与壁面*i*之间的形状系数; $t_{si}$ 为壁面*i*的表面温度。

[0013] 进一步地,所述平均风速模型为:

$$[0014] \quad v = aP^2 + bP + c \quad (3)$$

[0015] 式中, $v$ 是风速, $P$ 是风机功率, $a$ 、 $b$ 、 $c$ 是系数。

[0016] 进一步地,所述人体舒适度模型为:

$$[0017] \quad PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.028] \{M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5.733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0.0014M (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)\}$$

[0018] 式中, $PMV$ 为人体舒适度, $M$ 为人体新陈代谢率; $W$ 为人体做功的功率; $p_a$ 为环境空气中水蒸气分压力; $f_{cl}$ 为人体穿衣部分与裸体部分表面积之比; $t_s$ 为平均辐射温度; $t_{cl}$ 为穿衣人体外表面平均温度; $h_c$ 为对流热交换系数。

[0019] 进一步地, $p_a = 6107.8 \times RH_a \times \exp[t_a / (t_a + 238.2) \times 17.2694]$ ;

$$[0020] \quad t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \right\};$$

$$[0021] \quad f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & (I_{cl} \leq 0.078) \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & (I_{cl} > 0.078) \end{cases};$$

$$[0022] \quad h_c = 12.1 \times \sqrt{v}$$

[0023] 式中, $RH_a$ 为空气的相对湿度, $I_{cl}$ 为衣服/寝具热阻, $v$ 是风速。

[0024] 进一步地,所述根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数的步骤具体包括:

[0025] 对所述空调热力学模型进行虚拟仿真,模拟真实环境的行为状况实现室内热环境参数的预测。

[0026] 基于相同的发明构思,本发明还提出一种智能终端,所述智能终端包括处理器、存储器,所述处理器与所述存储器耦合连接,所述存储器存储有基于数字孪生建立的空调热力学模型,所述处理器在执行计算机程序时实现如上所述的空调系统优化控制方法。

[0027] 基于相同的发明构思,本发明又提出一种具有存储功能的存储装置,所述存储装置存储有程序数据,所述程序数据用于执行如上所述的空调系统优化控制方法。

[0028] 相比现有技术,本发明的有益效果在于:将空调系统中不同物理特性的模型耦合关联到一起,构建空调系统的数字孪生,并在虚拟环境中复现了空调运行环境,将模型和物理空间模型处于实时交互中,二者能够及时地掌握彼此的动态变化并实时地做出响应,利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。

### 附图说明

- [0029] 图1为本发明空调系统优化控制方法一实施例的流程图；  
 [0030] 图2为本发明空调系统优化控制方法一实施例的示意图；  
 [0031] 图3为本发明智能终端一实施例的结构图；  
 [0032] 图4为本发明具有存储功能的存储装置一实施例的结构图。

### 具体实施方式

[0033] 下面,结合附图以及具体实施方式,对本发明做进一步描述,需要说明的是,在不冲突的前提下,以下描述的各实施例之间或各技术特征之间可以任意组合形成新的实施例。

[0034] 请参阅图1-2,其中,图1为本发明空调系统优化控制方法一实施例的流程图;图2为本发明空调系统优化控制方法一实施例的示意图。结合附图1-2对本发明空调系统优化控制方法作详细说明。

[0035] 在本实施例中,空调系统优化控制方法包括如下步骤:

[0036] S101:基于数字孪生建立空调热力学模型,并通过空调实时运行数据对空调热力学模型进行迭代优化。

[0037] 在本实施例中,空调所属建筑物的热力学模型参数受多种因素影响,如太阳辐射、空气湿度、空气渗透率、室内人员流动、用户的个性化需求等,这些因素都会随时间发生变化,造成空调热力学模型参数实时变化,会导致空调负荷内、外部参数的差异。在多时间尺度情况下,空调负荷的可调容量、响应速度等也会呈现不同的特性。本发明基于建筑物热力学平衡理论和空调的运行机理,在虚拟空间构建空调热力学模型,通过数字孪生的方式将其与空调负荷多时空尺度、用户使用随机性、外界环境变化连接交互。

[0038] 其中,空调热力学模型包括室内温度动态变化模型、平均辐射温度模型、平均风速模型、人体舒适度模型以及空调系统优化控制模型。

[0039] 在本实施例中,室内温度动态变化模型为:

$$[0040] \quad \frac{dt_a}{d\tau} = \frac{1}{R_l C_a} (t_0 - t_a) - \frac{Q}{C_a} \quad (1)$$

[0041] 式中, $C_a$ 为等效比热容; $Q$ 为空调的制冷/热量; $t_0$ 为外界温度; $t_a$ 为室内空气温度; $R_l$ 为等效阻抗。

[0042] 在本实施例中平均辐射温度模型为:

$$[0043] \quad t_r = \sum_{i=1}^n \phi_{si} \cdot t_{si} \quad (2)$$

[0044] 式中, $t_r$ 为人体表面的平均辐射温度; $\phi_{si}$ 人体与室内墙壁壁面*i*之间的形状系数; $t_{si}$ 为壁面*i*的表面温度。

[0045] 在本实施例中,用户活动区风速可通过与风机功率之间的对应关系得到,同时对于某特定型号的风机,其输入功率、转速及出口风速之间具有明确的对应关系,而用户感应到的风速与风机的距离成一定的比例关系。针对不同的风机距离,风速和风机功率的关系可用最小二乘法拟合得到平均风速模型。

[0046] 其中,平均风速模型为:

[0047]  $v = aP^2 + bP + c$  (3)

[0048] 式中,  $v$  是风速,  $P$  是风机功率,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  是系数。

[0049] 在本实施例中, 人体舒适度模型为:

[0050] 
$$PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.028] \{M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5.733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42 [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0.0014M (34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4 - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)]\}$$

[0051] 式中,  $PMV$  为人体舒适度,  $M$  为人体新陈代谢率, 单位为  $W/s$ ;  $W$  为人体做功的功率, 单位为  $W/s$ ;  $p_a$  为环境空气中水蒸气分压力, 单位为  $Pa$ ;  $f_{cl}$  为人体穿衣部分与裸体部分表面积之比;  $t_s$  为平均辐射温度, 单位为  $^{\circ}C$ ;  $t_{cl}$  为穿衣人体外表面平均温度, 单位为  $^{\circ}C$ ;  $h_c$  为对流热交换系数, 单位为  $W/(s \cdot m^2 \cdot ^{\circ}C)$ 。

[0052] 在本实施例中,  $p_a$ 、 $f_{cl}$ 、 $t_{cl}$ 、 $h_c$  可通过如下的公式得到:

[0053] 
$$p_a = 6107.8 \times RH_a \times \exp[t_a / (t_a + 238.2) \times 17.2694];$$

[0054] 
$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \left\{ 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_s + 273)^4 - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \right\};$$

[0055] 
$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl} & (I_{cl} \leq 0.078) \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & (I_{cl} > 0.078) \end{cases};$$

[0056] 
$$h_c = 12.1 \times \sqrt{v}$$

[0057] 式中,  $RH_a$  为室内环境中空气的相对湿度,  $I_{cl}$  为衣服/寝具热阻,  $v$  是风速。

[0058] 在一个具体的实施例中,  $W$  为 0,  $RH_a$  按国家标准 GB50736 范围设置在 60%,

[0059] 因空调系统能耗的影响因素众多, 空气温度、相对湿度、平均辐射温度和风速等热环境参数为可控因素, 建筑围护结构的热工特性、空调系统性能、室外气象参数、内扰、人员使用习惯等为不可控因素。室外气象参数对空调系统能耗的影响是通过影响和改变室内热环境参数而起作用的, 我们称之为外扰。同样室内人员、设备等状态的变化也导致室内环境变化即为内扰。无论外扰还是内扰, 他们最终都会引起室内热环境参数的改变, 进而影响空调系统能耗。

[0060] 在空调控制系统的环境变量中, 空气温度、平均辐射温度、风速对  $PMV$  的影响都比较大, 相对湿度影响较小, 而空调能耗可以由空调负荷代替, 因此空调控制系统优化控制模型可简化如下:

[0061]  $\min Q(t_a, t_r, v);$

[0062]  $(t_a, t_r, v) \subset$  国家标准 GB50736 的规定;

[0063]  $PMV(t_a, t_r, v) =$  国家标准 GB50736 规定波动范围。

[0064] 空调系统要维持热舒适指标值, 就必须通过降低送风温度或增大风速等进行调节, 由此空调能耗发生了变化, 而怎样调节才能使空调系统的能耗最低, 这就是空调系统的优化组合控制。

[0065] 空调热力学模型中参数受众多因素影响, 部分参数还将随时间而变化, 对模型的准确度造成巨大的影响。数字孪生将通过控制单元、传感器等采集的物理实体运行状态数据(室内温度、室外气象参数、空调运行参数(电流、电压、功率等), 用户行为参数(空调开关机状态、运行模式、设置温度、风力等级)、光感、门磁感应器、人体红外感应信息等等动态同

步到空调热力学模型中,结合空调实际运行数据对空调热力学模型进行迭代优化即自组织、自学习、自仿真,实时矫正模型中的参数,减少调度误差。

[0066] S102:根据优化后的所述空调热力学模型预测室内热环境参数。

[0067] 在本实施例中,根据优化后的空调热力学模型预测室内热环境参数的步骤具体包括:对空调热力学模型进行虚拟仿真,模拟真实环境的行为状况实现室内热环境参数的预测。

[0068] 本发明将优化后的空调热力学模型放在虚拟环境里仿真,模拟空调在真实环境里的行为状况,预测室内热环境参数的变化实现空调系统的实时调整和控制。

[0069] S103:根据室内热环境参数和室内人员舒适度需求获取能耗最小的空调系统控制方式。

[0070] 对空调热力学模型在虚拟环境中模拟仿真的结果进行分析,基于预测的室内热环境参数值,在满足室内人员舒适度前提下,以系统能耗最小为控制目标,根据空调系统优化控制模型动态调整空调系统控制方式。

[0071] 有益效果:本发明的空调系统优化控制方法采用将空调系统中不同物理特性的模型耦合关联到一起,构建空调系统的数字孪生,并在虚拟环境中复现了空调运行环境,将模型和物理空间模型处于实时交互中,二者能够及时地掌握彼此的动态变化并实时地做出响应,利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。

[0072] 基于相同的发明构思,本发明还提出一种智能终端,请参阅图3,图3为本发明智能终端一实施例的结构图。结合图3对本发明的智能终端作详细说明。

[0073] 在本实施例中,智能终端包括处理器、存储器,处理器与存储器耦合连接,存储器存储有基于数字孪生建立的空调热力学模型,处理器在执行计算机程序时实现上述实施例所述的空调系统优化控制方法。

[0074] 在本实施例中,智能终端可以为电脑、智能手机、空调控制器、服务器以及其他能够调节空调的智能设备。

[0075] 有益效果:本发明的智能终端采用将空调系统中不同物理特性的模型耦合关联到一起,构建空调系统的数字孪生,并在虚拟环境中复现了空调运行环境,将模型和物理空间模型处于实时交互中,二者能够及时地掌握彼此的动态变化并实时地做出响应,利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。

[0076] 基于相同的发明构思,本发明又提出一种具有存储功能的存储装置。请参阅图4,图4为本发明具有存储功能的存储装置一实施例的结构图。结合图4对本发明具有存储功能的存储装置作具体说明。

[0077] 在本实施例中,该存储装置存储有程序数据,程序数据用于执行如上述实施例所述的空调系统优化控制方法。

[0078] 有益效果:本发明的存储器采用将空调系统中不同物理特性的模型耦合关联到一



起,构建空调系统的数字孪生,并在虚拟环境中复现了空调运行环境,将模型和物理空间模型处于实时交互中,二者能够及时地掌握彼此的动态变化并实时地做出响应,利用系统的历史和实时运行数据,对空调系统物理模型进行更新、修正、连接和补充,充分融合系统机理特性和运行数据特性,更好地仿真系统的实时运行状态,预测室内热环境参数的变化,对空调系统的组合优化控制时实现了满足用户舒适度和降低系统能耗的目的。

[0079] 在本发明所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的设备、模块和单元,可以通过其他方式实现。例如,以上所描述的装置实施方式仅仅是示意性的,例如,所述模块或的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个或模块可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口,装置或的间接耦合或通信连接,可以是电性,机械或其他的形式。

[0080] 所述作为分离部件说明的可以是或者也可以不是物理上分开的,作为显示的部件可以是或者也可以不是物理,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个位置。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部来实现本实施方式方案的目的。

[0081] 上述实施方式仅为本发明的优选实施方式,不能以此来限定本发明保护的范围,本领域的技术人员在本发明的基础上所做的任何非实质性的变化及替换均属于本发明所要求保护的范畴。

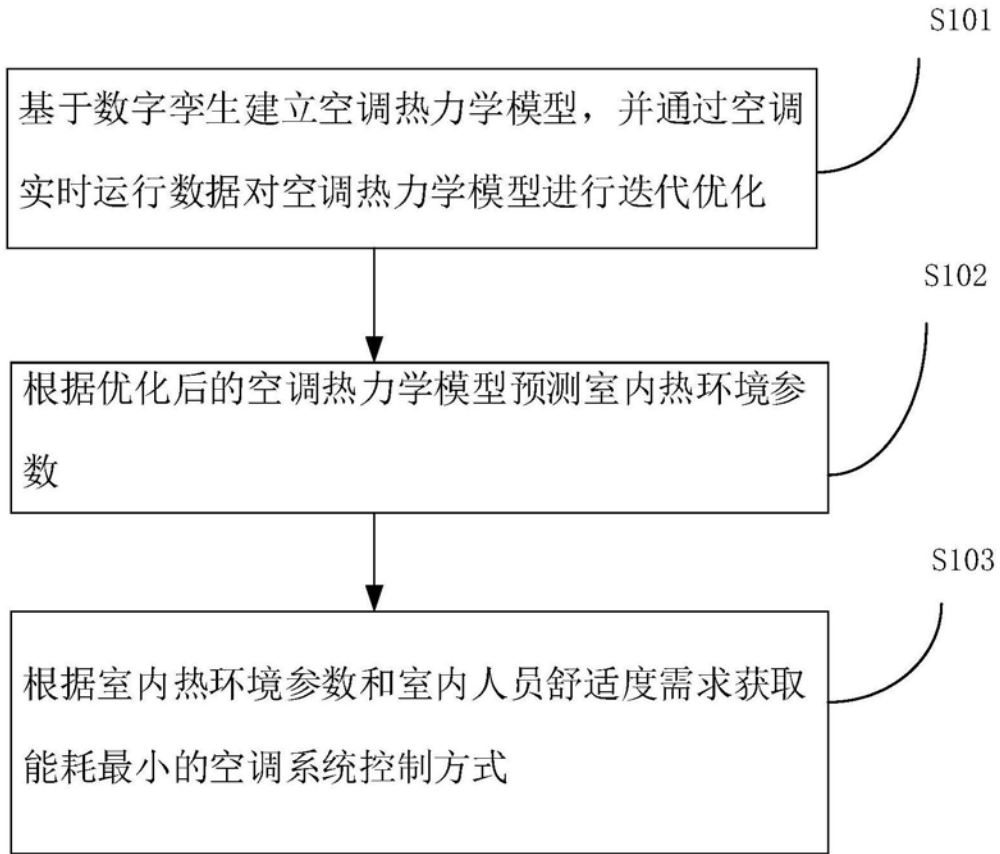


图1

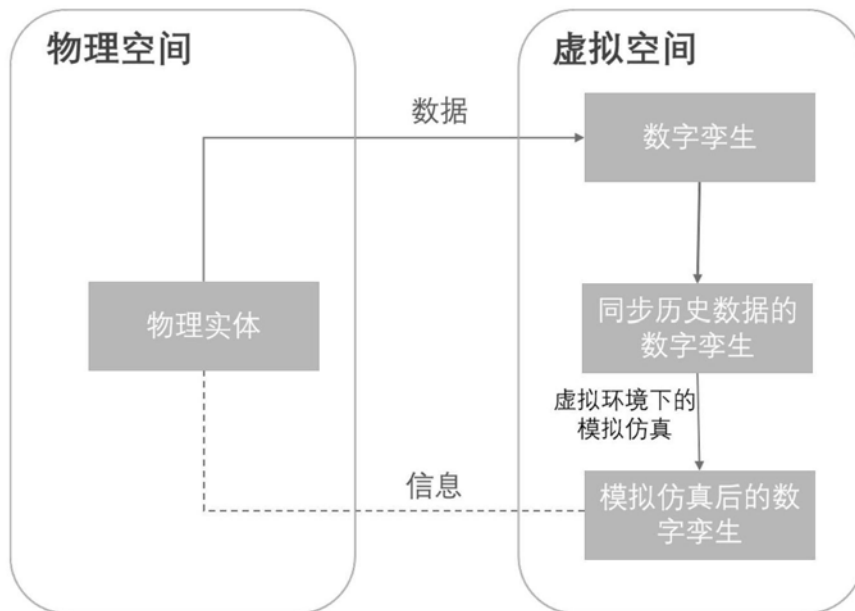


图2

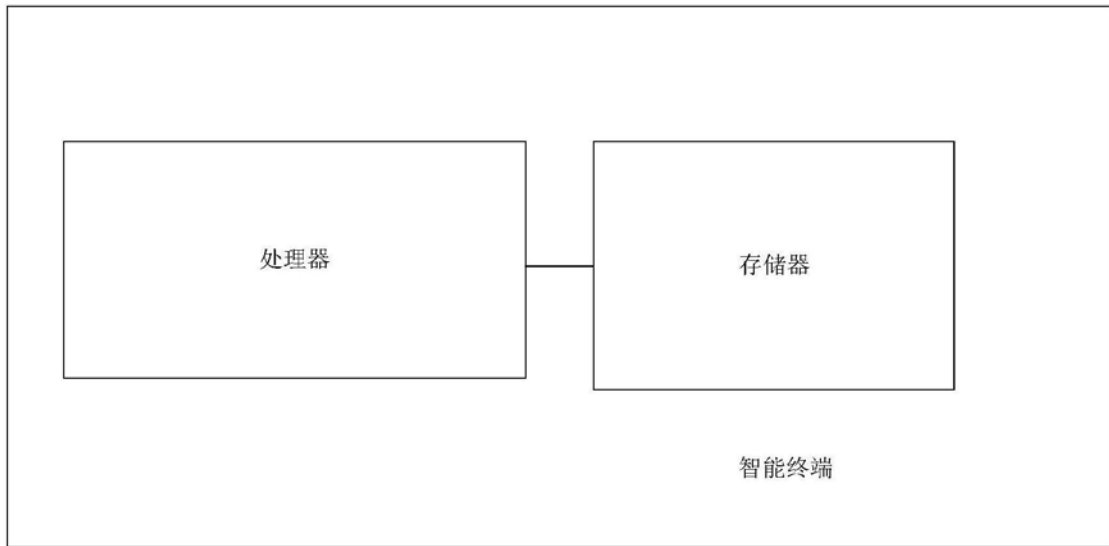


图3

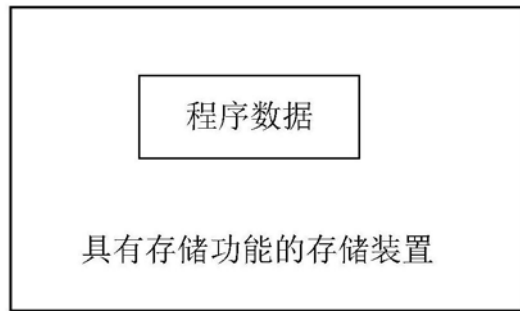


图4