

面向智能家居服务的拟人情感决策算法

王 巍, 黄晓丹

(河北工程大学 信息与电气工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘 要:在智能家居中,虚拟管家系统作为网络机器人中的虚拟型机器人,代替用户参与家用设备的管理与控制。为了减少或避免虚拟管家与温湿度调节设备交互时人的参与,需要解决温度湿度设定值如何拟人地自动给定和室内温湿度变化后环境如何被感知这两个问题。提出了应用于虚拟型机器人的拟人情感决策在线控制算法和基于最小二乘支持向量机的温湿度融合策略。在此基础上,进行了对比仿真实验,结果表明:通过调整情感模型的转移加速因子,能够满足用户的个性化温湿度决策的需求;当用户居住房间面积在一定范围内变化时,算法也是有效的。

关键词:网络机器人;虚拟机器人;人工情感;智能家居;设备管理

中图分类号: TP242.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2012)03-0074-10

Algorithm for the Smart Home Service-oriented Anthropomorphic Emotional Decision

WANG Wei, HUANG Xiaodan

(College of Information & Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: In smart home, virtual seneschal system could be regarded as a virtual robot in networked robots instead of users to participate in the management and control of household electrical appliances. In order to reduce and avoid the users' participation in the interaction of virtual seneschal with temperature and humidity conditioning, two problems should be solved. One is how to set the anthropomorphic temperature and humidity automatically; the other is how to sense environment after temperature and humidity changes. For these problems, the algorithm applied in the on-line control of household electrical appliances with anthropomorphic emotional decision of virtual robots and the strategy of fusing temperature and humidity based on least squares support vector machines were proposed. Through adjusting transfer acceleration factor of emotional model, user's need of individual temperature and humidity control process could be satisfied and the algorithm is effective when room area changes within limits.

Key words: networked robot; virtual robot; artificial emotion; smart home; management of appliances

网络机器人是一种将不同类型的机器人通过网络协作协调起来,实现以单体形式不能完成的服务的机器人。在网络机器人研究领域,虚拟管家系统作为虚拟型机器人,是一种运行在 PC 上的管理系统,主要任务是提供良好的人机交互平台,将整个智能数字家居系统的功能加以综合,以更加友好的智能方式向用户提供服务。也就是说,以虚拟机器管家的形式,结合人脸识别、语音交互、网络等技术来实现对智能家居设备的管理、控制和人机交互。虚拟管家系统能够实现对多种智能家居设备的管理与控制,其中对家庭环境中的温湿度调节设备的管理与控制是本研究的重点。

目前,对室内温湿度控制的研究主要有:室内温湿度的多变量控制策略^[1],该方法通过改变压缩机和风扇的速度对室内温湿度进行控制;非线性鲁棒温湿度控制方法,将非线性反馈控制与前馈控制相结合,实现较小的稳态误差^[2];文献^[3]提出用布尔代数算法控制温湿度,用条件序列控制环解决复杂的温湿度控制问题。这些是用户分布式控制的例子,除此之外,文献^[4]对中央控制和分布式控制方法进行了比较,结果表明

收稿日期:2012-04-18

作者简介:王 巍(1983—),男,河北邯郸人,讲师,博士,主要从事物联网理论与技术、人机交互、情感计算等领域的研究。

E-mail: wangwei8311@163.com

中央控制方式较好,但分布式控制方式还将继续存在。伴随着控制理论的发展,许多方法应用于室内温湿度的控制,但较多是针对温湿度跟随精度与抗扰性能等问题的研究,而如何给定温湿度设定值则是本文要讨论的内容之一。

已有的拟人控制理论主要是维纳的反馈控制和智能控制^[5],与人脑控制模式有很大差别。神经科学、心理学和认知科学等领域的研究表明,情感在推理、学习、记忆、决策、智能行为等方面扮演着至关重要的角色^[6]。

拟人情感的产生主要是通过模型实现的:文献^[7]提出了一种脑的认知模型,此模型以认知信息学为基础,并具有记忆机制;体现情感和个性的模型在文献^[8]中被提出,并应用于移动导游 Agent;麻省理工学院的 Kismet 情感和社交机器人也具有拟人情感^[9]。

研究情感在决策中的作用模式,主要是模拟人脑的控制模式,建立“感知觉+情感决定行为”的数学模型^[10];文献^[11]把情感应用于移动机器人自主导航控制中,明显地改善了学习和决策过程效率,提高基于行为的移动机器人在未知环境中的自主导航能力;文献^[12]提出把 OCC(Ortony-Clore-Collins)情感模型应用于驾驶辅助系统的驾驶员模型中,使其能够针对不同的路况为司机提供拟人的合理驾驶提示。

现有的交互方式是人与温湿度调节设备的交互,这个过程包括三个步骤:首先,由人设定室内温湿度期望值;其次,设备执行温湿度的调整过程;最后,人感知环境温湿度的变化,调整温湿度的设定值。虚拟管家系统出现后,可以由它替代现有交互方式中人的角色,减少或免去人的参与,创建和谐轻松的家居环境。当交互方式变为虚拟管家与温湿度调节设备的交互时,会出现两个问题:①如何由虚拟管家拟人地自动给出温湿度设定值;②室内温湿度变化后,如何对环境感知。虚拟管家系统管理和控制环境温湿度调节设备首先要解决这两个问题:对于问题①,本文拟运用文献^[13]提出的人工心理 HMM(hidden Markov model,隐马尔可夫模型),由虚拟管家拟人地自动给出温湿度的设定值;对于问题②,应用 LS-SVM(least squares support vector machine,最小二乘支持向量机)进行多源温湿度数据融合,感知室内温湿度。

1 控温控湿过程建模

为了研究控温控湿过程,以独立住宅模型进行讨论,如图 1 所示。住宅包括 1 个起居室、1 个卫生间、1 个厨房和 2 个卧室。房间净高 $h=2.7\text{ m}$ 。本文的研究对象为住宅中的一个卧室 B2, $a=7.5\text{ m}$, $b=5\text{ m}$,具有 5 个温度传感器和 5 个湿度传感器,用来进行卧室温湿度的感知。为了研究虚拟管家如何拟人地自动给出温湿度的设定值并进行家庭温湿度控制,首先需要建立控温和控湿模型。

1.1 控温建模

在建模前,首先设定一些合理的假设条件:

- 1) 人体最适宜的温度在 $18 \sim 25\text{ }^\circ\text{C}$, 本文取设定温度 $T_{\text{set}} \in [18, 25]$;
- 2) 室外温度可以通过传感器检测,这里设置为 $T_{\text{outdoor}} = 35\text{ }^\circ\text{C}$, 并令初始室内温度 $T_{\text{indoor}} = T_{\text{outdoor}}$;
- 3) 系统在发生作用时有一定的延时现象,这里使用三阶延迟来模拟;
- 4) 室内人数 $PN_{\text{um}} = 3$;
- 5) 房间散热系数 $RC = 0.1$ 。

根据文献^[14],建立温度变化模型。

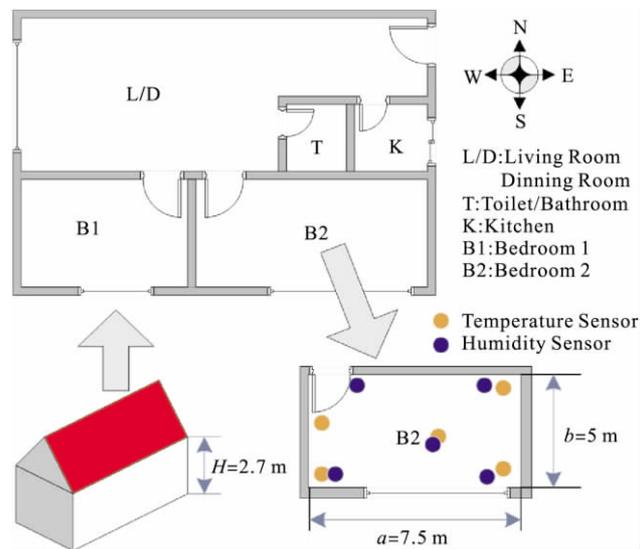


图 1 房间模型图

Fig. 1 The plan view of an apartment in study

温差 1
$$\Delta T_1 = T_{set} - T_{indoor}; \quad (1)$$

温差 2
$$\Delta T_2 = T_{indoor} - T_{outdoor}; \quad (2)$$

室内温度变化延时现象
$$W(s) = \frac{0.2}{s(s+1)(20s+1)}; \quad (3)$$

人为事件影响(开门、窗)

$$HE = RandomUniform(-1, 1, 0) \times PNum \times 0.01 \times \Delta T_2; \quad (4)$$

散热
$$R = \Delta T_2 \times RC + HE \times 0.1; \quad (5)$$

人及物体产热
$$HOH = PNum \times 0.01 + 0.05; \quad (6)$$

室温
$$T_{indoor} = W(s) - R + HOH. \quad (7)$$

基于此模型,设计并实现了控温过程的模拟,如图 2 所示。

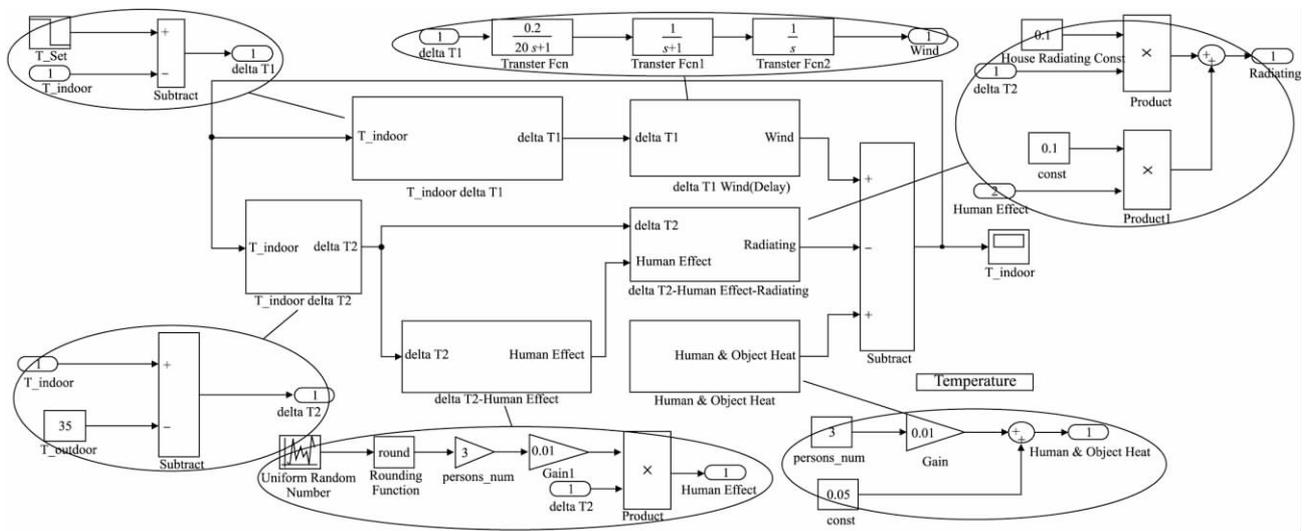


图 2 控温过程模型图

Fig. 2 The model of temperature control process

1.2 控湿建模

控湿过程建模前,在 1.1 节假设基础上增加:

- 1) 通风换气量 $V = 10 \text{ m}^3/\text{h}$;
- 2) 每人平均散湿量为 $EPHE = 35 \text{ g/h}$;
- 3) 房间周长 $c = 2 \times (a + b) = 25(\text{m})$;
- 4) 室内湿度的变化是一阶惯性环节 $G = \frac{0.06}{5s+1}$;
- 5) 室内湿度的测量是一阶惯性环节 $H = \frac{0.05}{10s+1}$ 。

根据文献[15],人对湿度的影响为

$$PHE = \frac{EPHE}{V} \times PNum; \quad (8)$$

房间通过维护结构的传湿量为

$$HHE = \mu \cdot h \cdot c(P_1 - P_2) / (\delta \cdot V). \quad (9)$$

其中: $\mu = 1.05 \times 10^{-4} \text{ g}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$; $\delta = 0.24$; P_1, P_2 分别为室内、外空气水蒸气分压,本文只讨论夏季的情况,因此, $P_1 < P_2$ 。

室内空气含湿量

$$HCI = (HC/\rho_n + HCO) \cdot G. \quad (10)$$

其中： HCO 为室外空气含湿量； $\rho_n = 1.208 \text{ kg/m}^3$ ，为室内空气的密度。

由于人体最适宜的健康湿度为相对湿度 (relative humidity, RH) 40%~70%，本文设相对湿度给定值为 $H_Set(RH)$ 。在此相对湿度下，当室内温度不同时，空气中的实际含湿量也不同，依据文献[16]的研究，可知

$$SD = (2.2087 + 7.3776 \times 10^{-2}t + 1.0890 \times 10^{-3}t^2 + 3.9696 \times 10^{-6}t^3)^2 \quad (11)$$

其中， SD 为含湿量， t 为室内温度。

建立湿度变化模型 $HC = H_{set} \times SD - (PHE - HHE + HCI) \times H$ 。 (12)

基于此模型，可以设计并实现控湿过程的模拟。由于温湿度变化具有耦合性，因此，控温控湿过程是同时进行的，如图 3 所示。

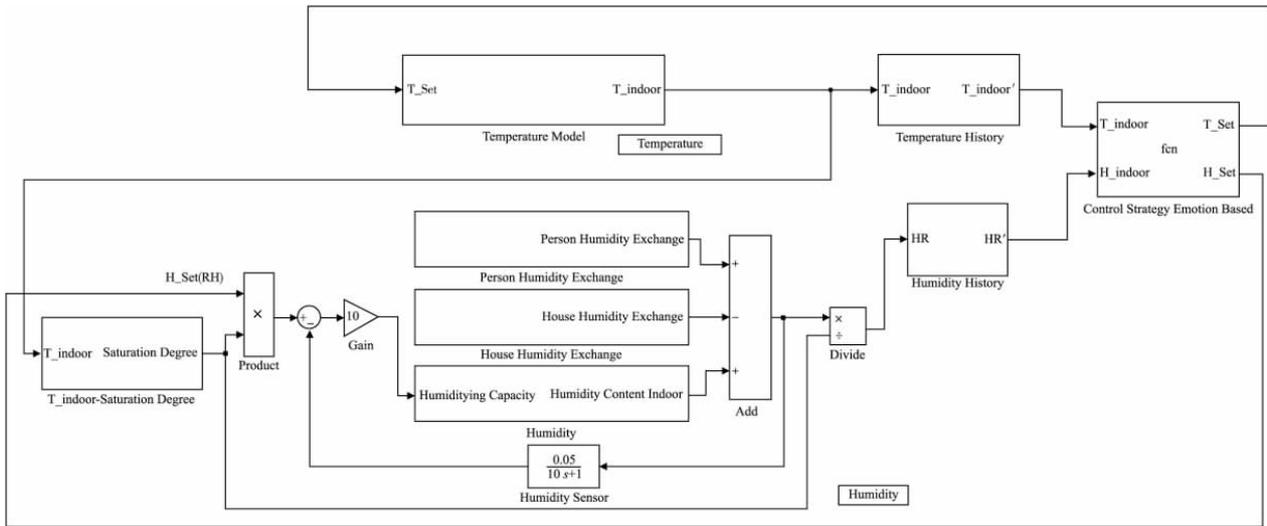


图 3 控温控湿过程模型图

Fig. 3 The model of humidity control process

图 3 主要包括四个部分：① Temperature 模型，即控温过程模型；② Humidity 模型，即本控湿过程模型；③ Temperature & Humidity History 模块，保存温湿度的历史数据；④ Control Strategy Emotion Based 模块，是为了解决本文在开始时提出的问题①而设计的算法模块，可以拟人地自动给出温湿度设定值，其实现将在下面详述。

2 基于情感的控制策略

2.1 基于 SVM 的温湿度多源数据融合

在智能家居中，控温控湿过程的完成，需要湿度的精确感知，在不提高传感器精度等级的情况下，多源数据融合技术能够提高所得数据的精度。对于一组温湿度测试样本，通过实验得出加权平均融合与 LS-SVM 融合的优劣，如表 1 所示。

算法中，支持向量机的参数设置如表 1 所示，标准差显示了使用 LS-SVM 的融合结果优于加权平均融合。因此，本文采用 LS-SVM 多数据融合技术^[17-18]获得较为准确的室内温湿度。利用训练好的 $SVM_{Temperature}$ 和 $SVM_{Humidity}$ ，分别对采样值进行融合，其结果用来作为拟人情感决策的温湿度控制策略的基础。

表 1 融合结果对比表

Tab.1 Comparison of fusion results

	方法	核	C	γ	标准差
T/°C	LS-SVM	RBF	10	0.03	0.141
	Weighted mean	—	—	—	0.132
H/(RH)	LS-SVM	RBF	10	0.50	0.260
	Weighted mean	—	—	—	0.240

2.2 人工情感模型

文献[13]提出情绪状态刺激转移过程的 HMM 模型,在外界事件的刺激下,情感状态发生变化。根据温湿度对人心理上的影响^[19],本文中的情感系统包括 3 种基本心理:消沉(unexciting)、烦躁(fretful)和不满(unsatisfied),这 3 种状态的改变,与室内温度差、湿度差和环境状态改变耗时这 3 个刺激事件相关。根据研究,用户对过大的温湿度调整和环境状态久未改变感到不适^[20]。

1) 人体最适宜的温度在 18~25 °C,当室内温度高于此区间为高温状态,设高温状态的上限为 $T_{high_max} = 40$ °C,下限为 $T_{high_min} = 25$ °C,则消沉心理 E_{uc} 的刺激事件为室温与适宜温度的差异,刺激强度 V_{ue} 随着 $\Delta T = T_{indoor} - T_{high_min}$ 的增加而增加, ΔT 越大,说明从 T_{indoor} 一步调整至 25 °C 的调整幅度越大,用户越会感到不适,相应事件的 V_{ue} 也越大,导致越强的消沉心理,反之类似。与此相应,当室内温度低于此区间则为低温状态,设低温状态的上限为 $T_{low_max} = 18$ °C,低温状态的下限为 $T_{high_min} = 10$ °C,则刺激强度 V_{ue} 随着 $\Delta T = T_{low_max} - T_{indoor}$ 的增加而增加, ΔT 越大,说明从 T_{indoor} 一步调整至 18 °C 的调整幅度越大,用户越会感到不适,相应事件的 V_{ue} 也越大,导致越强的消沉心理,反之类似。可知

$$V_{ue} = \begin{cases} k_1^T \cdot \frac{\Delta T}{T_{high_max} - T_{high_min}} = k_1^T \cdot \frac{T_{indoor} - 25}{40 - 25} = k_1^T \cdot \frac{T_{indoor} - 25}{15}, T_{indoor} \geq T_{high_min} \\ k_2^T \cdot \frac{\Delta T}{T_{low_max} - T_{low_min}} = k_2^T \cdot \frac{18 - T_{indoor}}{18 - 10} = k_2^T \cdot \frac{18 - T_{indoor}}{8}, T_{indoor} \leq T_{low_max} \end{cases} \quad (13)$$

2) 人体最适宜的健康湿度值为 40%RH~70%RH。当室内湿度高于此区间段为高湿状态,设高湿状态的上限为 $H_{high_max} = 100\%$,高湿状态的下限为 $H_{high_min} = 70\%$,则烦躁心理 E_f 的刺激事件为室内湿度与适宜湿度的差异,刺激强度 V_f 随着 $\Delta H = H_{indoor} - H_{high_min}$ 的增加而增加,反之类似。与此相应,当室内湿度低于此区间段则为低湿状态,设低湿状态的上限为 $H_{low_max} = 40\%$,低湿状态的下限为 $H_{low_min} = 0\%$,则刺激强度 V_f 随着 $\Delta H = H_{low_max} - H_{indoor}$ 的增加而增加,反之类似。可知

$$V_f = \begin{cases} k_1^H \cdot \frac{\Delta H}{H_{high_max} - H_{high_min}} = k_1^H \cdot \frac{H_{indoor} - 0.7}{1 - 0.7} = k_1^H \cdot \frac{H_{indoor} - 0.7}{0.3}, H_{indoor} \geq H_{high_min} \\ k_2^H \cdot \frac{\Delta H}{H_{low_max} - H_{low_min}} = k_2^H \cdot \frac{H_{low_max} - H_{indoor}}{0.4 - 0} = k_2^H \cdot \frac{0.4 - H_{indoor}}{0.4}, H_{indoor} \leq H_{low_max} \end{cases} \quad (14)$$

3) 当环境的温湿度处于用户的不适状态且久未改变时,用户的不满心理 E_{us} 将会增加,以期待环境状态的变化,即环境状态改变 ΔS 是 E_{us} 的刺激事件。其强度 V_{us} 为

$$V_{us} = \begin{cases} [\psi \quad \zeta] \left[\exp \begin{bmatrix} \frac{\Delta Time_T}{10} & 0 \\ 0 & \frac{\Delta Time_H}{10} \end{bmatrix} - \mathbf{I} \right] \begin{bmatrix} (e-1)^{-1} \\ (e-1)^{-1} \end{bmatrix}, 0 < \Delta Time_T \leq 10 \text{ and } 0 < \Delta Time_H \leq 10 \\ 1.0, \Delta Time_T > 10 \text{ or } \Delta Time_H > 10 \end{cases} \quad (15)$$

其中: $\Delta Time = Time_{i2} - Time_{i1}$ ($i \in \{T, H\}$) 环境的温湿度处于用户不适状态的持续采样周期个数; ψ, ζ 分别是温湿度久未变化对用户心情的影响程度因子,这里取 $\psi = \zeta = 0.5$ 。

根据文献[13]提出的 HMM 模型,在一定刺激强度的事件刺激下,情感状态将发生转移,得到一组新的情感状态值 E_{uc}, E_f, E_{us} 。

图 4 展示了当外界刺激是消沉类型的事件时,情感状态的变化过程。消沉、烦躁和不满情感是相关的,随着刺激强度的增大,消沉情感状态值也在不断提高,同时,其他两种情感会受到抑制,数值不断降低,且 $E_{uc} + E_f + E_{us} = 1, E_{uc} \in [0, 1]$ 。3 种情感的变化过程

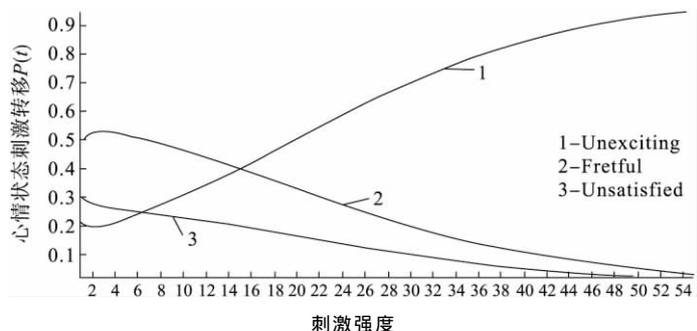


图 4 心情状态刺激转移图

Fig. 4 The diagram of stimulating transfer of emotional states

同时,其他两种情感会受到抑制,数值不断降低,且 $E_{uc} + E_f + E_{us} = 1, E_{uc} \in [0, 1]$ 。3 种情感的变化过程

都是非线性的。

2.3 基于情感的决策算法

2.3.1 温湿度状态认知

已有的人体舒适度指数是温度、相对湿度、风速和气压的非线性函数,根据这 4 个量认知环境状态较为繁琐,本文假设风速和气压不变,人体最适宜的温度为 18~25 °C,人体最适宜的健康湿度为 40%RH~70% RH,把温度和湿度各分为中高低 3 个等级,共 9 种状态,如表 2 所示,各状态之间的转换关系如图 5 所示。基于 2.1 提出的 LS-SVM 多源温湿度融合技术得到较为精确的温湿度值,判断某时刻环境所处的状态 $S = f(T, H)$ 。

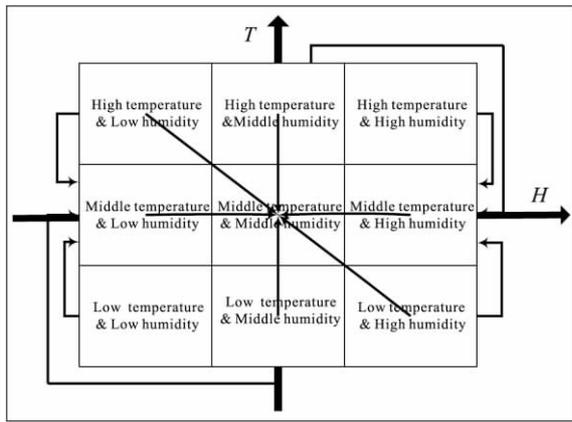


图 5 各状态之间的转换关系图

Fig. 5 Transformational relations among all states

表 2 状态-决策-情感的对应关系表

Tab. 2 Corresponding relations among state, decision and emotion

temperature(T) & Humidity(H)	Adjustment	Emotion
T -high; H -high	$T \downarrow, H \downarrow$	$E_{ue} \wedge E_f$
T -high; H -mid	$T \downarrow$	E_{ue}
T -high; H -low	$T \downarrow$	E_{ue}
T -mid; H -high	$H \downarrow$	E_f
T -mid; H -mid	$T \uparrow, H$	
T -mid; H -low	$H \uparrow$	E_f
T -low; H -high	$T \uparrow$	E_{ue}
T -low; H -mid	$T \uparrow$	E_{ue}
T -low; H -low	$T \uparrow, H \uparrow$	$E_{ue} \wedge E_f$

表 2 列出了 9 种温湿度的组合状态、处于此状态时所应采取的调整策略以及拟人情感值。调整策略的上下箭头表示温度或湿度的调整方向,由于 T -mid, H -mid 是对于用户较为适宜的温湿度,因此,处于此状态时不进行调整。

图 5 中的横坐标表示湿度,正方向是湿度增大的方向;纵坐标表示温度,正方向是温度增大的方向。9 种温湿度组合状态能够在此 H - T 坐标平面上表示出来,其中的箭头表示了各状态之间的转换关系。

2.3.2 决策算法

基于情感的智能家居温湿度控制系统主要包括情感模块、认知模块、学习与决策模块等。其中,由情感模块、认知模块、学习与决策模块所构成的子系统的主要目的是形成有效的温湿度协调控制机制。图 6 中,通过基于情感和认知的学习和决策子系统,根据情感和认知的综合评估结果,加强和削弱温湿度调整的幅度,从而使其调整更满足人的感受。

算法步骤如下:

- 1) 基于 LS-SVM 的温湿度多源数据融合;
- 2) 认知温湿度状态,若处于 T -mid, H -mid 状态,则保持,不进行温湿度的调控,若处于其他 8 种状态,则启动基于情感的协调控制策略;
- 3) 根据式(13)一式(15),分别计算 3 种类型刺激事件的刺激强度 V_{ue}, V_f 和 V_{us} ;
- 4) 比较 V_{ue}, V_f 和 V_{us} 的大小,找出最大的刺激事件;
- 5) 在此事件的刺激下,情感状态发生变化,情感值 $E_i \propto V_i, i \in \{ue, f, us\}$;

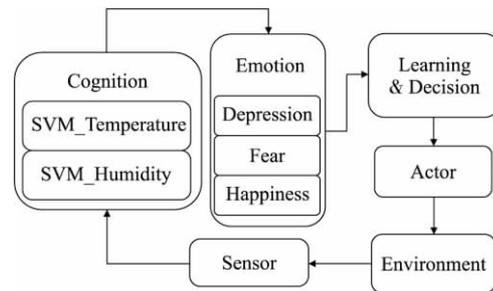


图 6 温湿度控制系统所含模块图

Fig. 6 Modules of temperature and humidity control system

6) 根据情感值的大小计算室内温湿度的设定值。

根据人体适宜温湿度, 设 $T_{mid_min} = 18, T_{mid_max} = 25, H_{mid_min} = 40\%, H_{mid_max} = 70\%$ 。

$$T_{set} = \begin{cases} T_{mid_min} + \frac{T_{mid_max} - T_{mid_min}}{2} + (T_{high_max} - T_{high_min})(1 - E_{ue}) = (36.5 - 15E_{ue}), E_{us} \leq E_{us_threshold} \\ T_{mid_min} + \frac{T_{mid_max} - T_{mid_min}}{2} = 21.5, E_{us} > E_{us_threshold} \end{cases}; \quad (16)$$

$$H_{set} = \begin{cases} H_{mid_min} + \frac{H_{mid_max} - H_{mid_min}}{2} + (H_{high_max} - H_{high_min})(1 - E_f) = (85 - 30E_f), E_{us} \leq E_{us_threshold} \\ H_{mid_min} + \frac{H_{mid_max} - H_{mid_min}}{2} = 55, E_{us} > E_{us_threshold} \end{cases}。 \quad (17)$$

其中, $E_{us_threshold}$ 是不满情感 E_{us} 的阈值。当 $E_{us} > E_{us_threshold}$ 时, 说明环境的温湿度处于用户的不适状态且久未改变, 此时温湿度的改变成为首要任务, 因此, T_{set}, H_{set} 直接设定为最佳温湿度值; 反之, 则按照消沉和烦躁情感来计算。

结合表 2、图 5、式(16)和式(17)对算法进行说明。当处于图 5 中的 T -high、 H -mid 状态时, 按照表 2 且采用调温优先的原则, 首先按照式(16)对温度进行控制, 计算设定温度值。室温降低到 T -mid 后, 空气相对湿度将增大, 这时会出现两种情况: ①转移到 H -high 状态; ②转移到 H -mid 状态。即可能出现从 T -high、 H -mid 状态转移到 T -mid、 H -high 状态, 或从 T -high、 H -mid 状态转移到 T -mid、 H -mid 状态, 这取决于 T -high 温度时空气的含湿量, 若处于 T -mid、 H -high 状态时, 则按照式(17)对湿度进行控制, 计算设定湿度值; 若处于 T -mid、 H -mid 状态时, 则保持状态, 不进行下一步调整。

3 实验

为了验证基于拟人情感决策算法的有效性, 进行了三组实验。

3.1 两种温湿度决策算法的对比

在对比实验中, $E_{us_threshold} = 0.5$, 采用的是两种温湿度决策算法对温湿度设定后的控制效果对比。

温湿度设定方法 1: 基于拟人情感的决策算法。

温湿度设定方法 2: 温湿度高于 Middle Temperature & Middle Humidity 范围时, 温度向下调整 1°C , 湿度向下调整 $1\%RH$; 反之, 温湿度低于 Middle Temperature & Middle Humidity 范围时, 温度向上调整 1°C , 湿度向上调整 $1\%RH$ 。

实验结果如图 7 所示。

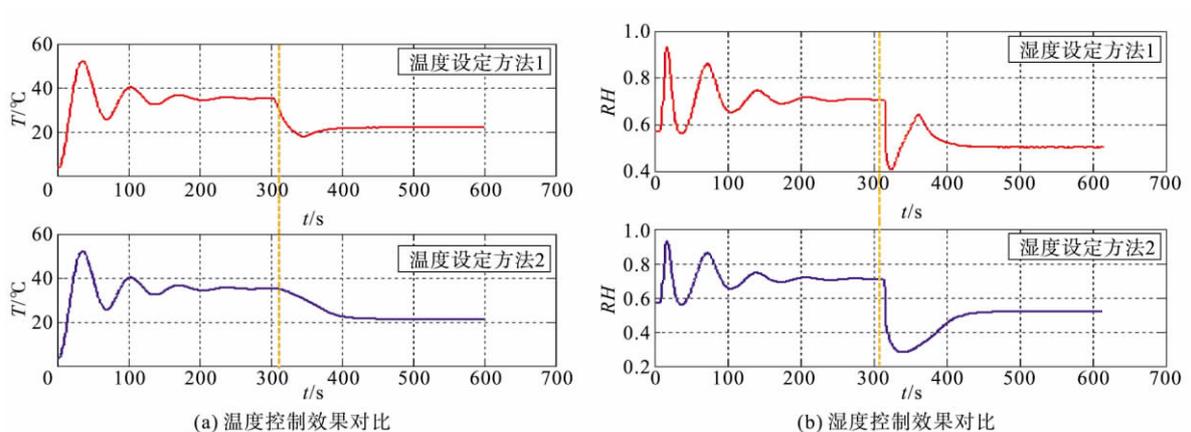


图 7 温湿度控制效果对比图

Fig. 7 The contrast of control effects of temperature and humidity

图 7(a)展示了基于温度设定方法 1 和 2 的温度控制效果曲线。曲线在时间上分为前后两个部分,首先,程序中设定了室温起始于 35 °C,并于 $t=300$ s 时开始进行控温过程。因此,图 7(a)中的两条曲线在 300 s 之前是温度逐渐上升并最终维持在 35 °C 的过程,表明此时室温为 35 °C,此过程是为后续的控温过程做准备的;其次,当 $t>300$ s 时,开始分别采用温度设定方法 1 或 2 进行决策,计算出温度的设定值,并对室温进行控制。

从图 7(a)可以看出,基于温度设定方法 1 的温度变化过程中,第一次在 334 s 调整到 22 °C,随后做微小波动,最后在 387 s 时稳定在 22 °C。而基于方法 2 的温度变化过程较为缓慢,416 s 时才稳定在 22 °C。

图 7(b)展示了基于湿度设定方法 1 和 2 的湿度控制效果曲线。曲线在时间上也分为前后两个部分,程序中设定了室内湿度起始于 73%RH,并于 $t=300$ s 时开始进行控湿过程。因此,图 7(b)中的两条曲线在 300 s 之前是湿度逐渐维持在 73%RH 的过程,表明此时室内湿度为 73%RH,此过程是为后续的控湿过程做准备的。当 $t>300$ s 时,开始分别采用湿度设定方法 1 或 2 进行决策,计算出湿度的设定值,并对室内湿度进行控制。

从图 7(b)中可以看出,基于湿度设定方法 1 的湿度调整过程围绕 55%RH 上下波动,并最终稳定在 55%RH。而基于湿度设定方法 2 的湿度调整过程较为缓慢,且湿度的最低调整值接近 30%RH,小于采用方法 1 的最低调整值 40%RH。

综上所述,对于室内温湿度值的设定决策,基于温湿度设定方法 1 的控温控湿过程比基于方法 2 的控温控湿过程更加有效。

3.2 转移加速因子的影响

文献[13]提出的人工心理 HMM 模型中,情感性格对情绪的影响主要体现在情绪转移矩阵(A)的两个参数($\theta, \bar{\pi}^*$)上。 θ 确定了刺激转移矩阵 A 对情绪状态影响的权重,故被称为转移加速因子。此参数与用户对室内温度差、湿度差和环境状态改变耗时长短的忍受程度有关。例如:若用户对这 3 种外界刺激不敏感,则用户的情绪状态转移会变得缓慢,所以转移加速因子 θ 可以设置得较小以适应用户的“不敏感”,反之亦然。下面分别取 $\theta=7, 12, 18$, 通过实验讨论其对温湿度决策算法的影响,如图 8 所示。

实验初始条件同 3.1。当 $t>300$ s 时,开始控温控湿过程。以消沉情感 E_{uc} 和湿度变化曲线为例: $\theta=7$ 时,消沉情感变化率为 $E_{ue1} = \Delta E_{uc}^{\theta=7}$, 湿度变化率 $H1 = \Delta H^{\theta=7}$; $\theta=12$ 时,消沉情感变化率为 $E_{ue2} = \Delta E_{uc}^{\theta=12}$, 湿度变化率 $H2 = \Delta H^{\theta=12}$; $\theta=18$ 时,消沉情感变化率为 $E_{ue3} = \Delta E_{uc}^{\theta=18}$, 湿度变化率 $H3 = \Delta H^{\theta=18}$ 。从图 8 可以看出, $E_{ue1} < E_{ue2} < E_{ue3}$, $H1 < H2 < H3$ 。说明转移加速因子 θ 较小时,用户能够满足于控温控湿过程的缓慢变化,对室内温度差、湿度差和环境状态改变耗时长短的忍受力较强,对这 3 种外界刺激不敏感。

所建立的情感模型,可以根据特定用户的个性等特质性因素,通过调整情感模型的参数 θ ,使之接近于用户情感变化模型的平均水平,满足用户个性化温湿度决策的需要。

3.3 居住面积对湿度决策算法的影响

房间周长在一定程度上反映了房间居住面积的大小,根据式(9),周长的变化对室内湿度的变化是有影响的。因此,居住面积的大小对室内湿度的调节产生影响。本节讨论居住面积不同时的湿度控制效果,如图 9 所示。

图 9 中,对于湿度控制过程通过区域 II 展现。可以看出,对于房间周长(m) $c \in [10, 35]$ 的变化,上节提出的湿度决策算法能有效地把相对湿度稳定在 Middle Humidity 范围(40%~70%)内。

对于区域 I,可以看出曲面不是光滑的,这表明对于周长较小,即居住面积较小的房间内,湿度很难稳定在某一固定值,因为房间小会造成室内空气含湿量变化的不稳定。

4 结论

对虚拟管家系统与家庭环境中的温湿度调节设备交互过程中存在的两个问题进行了研究。提出了拟人

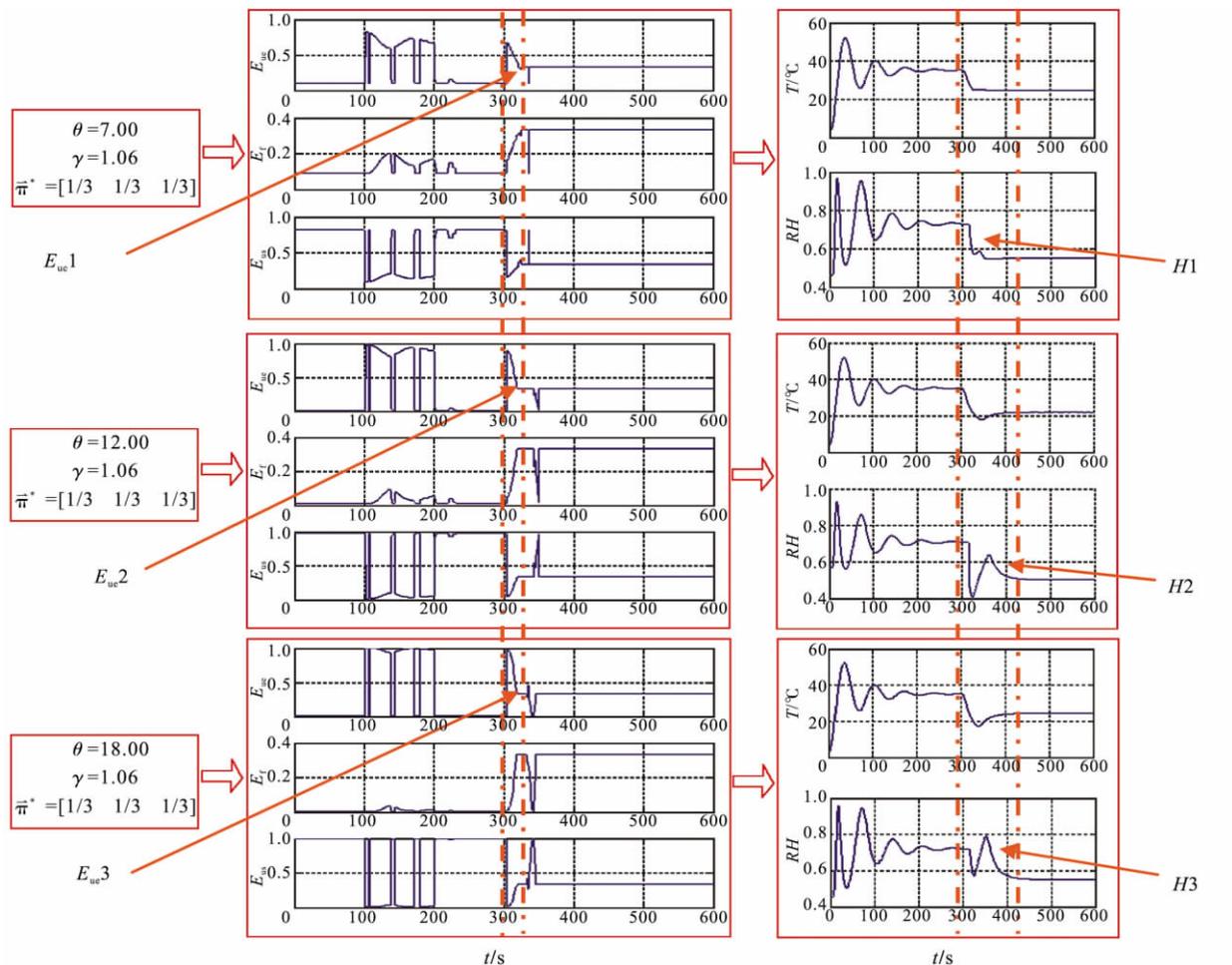


图8 不同 θ 时温控控湿过程以及情感变化图

Fig. 8 The changes of temperature and humidity control processes and emotions with different θ

情感决策算法,使得虚拟管家能够拟人地自动给出温湿度的设定值,并基于 LS-SVM 进行多源温湿度数据融合,感知室内温湿度,效果较好。

基于这种拟人情感决策算法,首先,虚拟管家系统能够代替人对设备自动地进行管理和控制,为用户提供便利;其次,交互过程是拟人的,模仿用户对环境变化所产生的情感变化,并以此为中心与设备进行交互,实现“人-设备-环境”这个广义上的人机交互;最后,不仅仅实现对设备的控制,而是以人的感受为出发点,实现人性化的智能家居设备的管理与控制。

参考文献:

[1] QI Q, DENG S M. Multivariable control of indoor air temperature and humidity in a direct expansion (DX) air conditioning (A/C) system[J]. Building and Environment, 2009, 44(8): 1659-1667.
[2] SOLDATOS A G, ARVANITIS K G, DASKALOV P I, et al. Nonlinear robust temperature humidity control in livestock

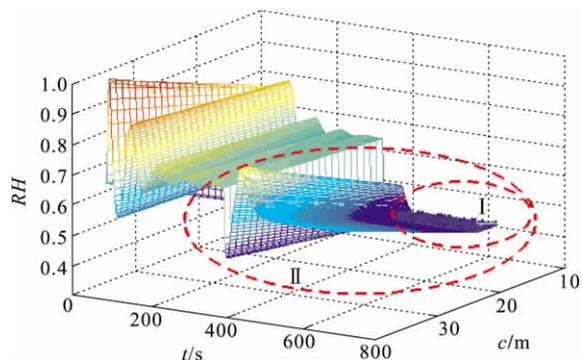


图9 居住面积不同时的湿度控制效果图

Fig. 9 The effects of humidity control with different living areas

- buildings [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005, 49(3): 357-376.
- [3] JOU L J, LIAO C M, CHIU Y C. A Boolean algebra algorithm suitable for use in temperature humidity control of a grafted seedling acclimatization chamber[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005, 48(1): 1-18.
- [4] TOFTUM J. Central automatic control or distributed occupant control for better indoor environment quality in the future [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(1): 23-28.
- [5] 国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告: 自动化科学与技术[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [6] PICARD R W. *Affective computing*[M]. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1997.
- [7] WANG Y X, WANG Y. Cognitive informatics models of the brain[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, 2006, 36(2): 203-207.
- [8] LIM M Y, AYLETT R, JONES C M. Emergent affective and personality model[C]//The International Working Conference on Intelligent Virtual Agents. Kos, Greece, Sep. 12-14, 2005: 371-380.
- [9] CYNTHIA B. Emotion and sociable humanoid robots[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2003, 59: 119-155.
- [10] 王志良. 人工心理学: 关于更接近人脑工作模式的科学[J]. *北京科技大学学报*, 2000, 22(5): 479-481.
WANG Zhiliang. Artificial psychology: A most accessible science research to human brain[J]. *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 2000, 22(5): 479-481.
- [11] 张惠娣, 刘士荣. 基于情感与环境认知的移动机器人自主导航控制[J]. *控制理论与应用*, 2008, 25(6): 995-1000.
ZHANG Huidi, LIU Shirong. Autonomous navigation control for mobile robots based on emotion and environment cognition [J]. *Control Theory & Applications*, 2008, 25(6): 995-1000.
- [12] DIRK M R. Approaching driver models which integrate models of emotion and risk[C]//2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Eindhoven, Netherland, June 4-6, 2008: 234-239.
- [13] 滕少冬. 应用于个人机器人的人工心理模型的研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2006.
- [14] 张鹏, 林晓飞, 张华. 空调控温过程的系统动力学模拟分析[J]. *工业安全与环保*, 2008, 34(11): 26-28.
ZHANG Peng, LIN Xiaofei, ZHANG Hua. Analysis on system dynamic simulation of the temperature control process by air conditioner[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2008, 34(11): 26-28.
- [15] 张浩, 张吉光, 杨丰. 冬季供暖房间加湿与热舒适[J]. *能源技术*, 2003, 24(5): 205-207.
ZHANG Hao, ZHANG Jiguang, YANG Feng. Study of air damping and thermal comfort in winter heated rooms[J]. *Energy Technology*, 2003, 24(5): 205-207.
- [16] 李隽智. 智能空气湿度测量中的数学模型[J]. *电子测量技术*, 1993(3): 17-22.
LI Junzhi. Math model of air humidity intelligent sensing[J]. *Electronic Measurement Technology*, 1993(3): 17-22.
- [17] 郭振凯, 宋召青, 毛剑琴. 一种改进的在线最小二乘支持向量机回归算法[J]. *控制与决策*, 2009, 24(1): 145-148.
GUO Zhenkai, SONG Zhaoqing, MAO Jianqin. An improved online least squares support vector machines regression algorithm[J]. *Control and Decision*, 2009, 24(1): 145-148.
- [18] 陈爱军, 宋执环, 李平. 基于矢量基学习的最小二乘支持向量机建模[J]. *控制理论与应用*, 2007, 24(1): 1-5.
CHEN Aijun, SONG Zhihuan, LI Ping. Modeling method of least squares support vector regression based on vector base learning[J]. *Control Theory & Applications*, 2007, 24(1): 1-5.
- [19] THAM K W, WILLEM H C. Room air temperature affects occupants' physiology, perceptions and mental alertness[J]. *Building and Environment*, 2010, 45(1): 40-44.
- [20] DOUNIS A I, CARASCOS C. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(6-7): 1246-1261.