

SuiTeX

一种实现全自动收纳和个性化推荐的智能衣柜¹

微 81 张亦弛 2018011213

无 87 张雨阳 2018011222

工 82 张嘉惠 2018010873

力 8 李京洋 2018011595

力 8 丘铨可 2018011582

¹作者注：SuiTeX 是 suit-plex 的拼接词。suit 代指“日常衣物”；plex 在古印欧语词根中指“折叠”。

1 背景介绍

近年来,人工智能迎来了蓬勃的发展,智能家居概念也随之广泛传播,深入人心。于是人们开始对家具的“自动化”、“个性化”等方面有了更高的要求。所以,借助智能技术开发新一代家用机械成为一种必然的发展方向,这也正是我们选择“现代智能家居”这个主题的原因。

日常生活中,衣物的整理、存放和择取是每个人每天都会经历的事。这项事务必要性高,但处理起来却因重复性而显得枯燥无味,往往成为人们的一项负担。基于此,我们考虑设计一种能够自动叠放、存储、识别和推荐的多功能智能衣柜,在这些方面解放用户的双手,使用户的生活更加自如。

我们将通过机械装置实现衣物的自动存放,即用户只需要将衣服挂在衣架上,衣柜就能够自动完成折叠与收纳。在收纳之前,衣柜将通过智能技术识别并记录衣物信息,存储在数据库中;在用户需要取衣物时,衣柜将通过人脸识别、语音识别等技术,匹配本人衣物、给出最佳推荐选项。通过这样的设计,我们的衣柜能够大幅缩减用户每日叠放、整理、挑选衣物的时间,提升收纳效率,实现智能家居。

2 产品调研

在智能衣柜的相关领域中,现有两个主要方向:其一是叠衣服的解决方案,其二是集存放、推荐、其他智慧功能于一体的智能衣柜。

对于前者,叠衣板是一种很常用的设计,它实现了手动叠衣服的效率提升。我们的设计在“叠衣板”这个基本想法上更进一步,实现了它的自动化。在这方面,美国创业公司 Foldimate 已设计出一种自动叠衣机器,该机器能实现衣服的折叠收纳,但仍然需要手工将衣服夹入机器的夹持装置;而我们考虑进一步提升用户体验。我们的设计中,用户只用将衣服连带衣架直接挂入衣柜中,便能实现衣服的自动折叠。这实现了“晾衣”到“收纳”的无缝衔接,减少了用户的重复劳动。

在多功能化的智能衣柜方面,SevenDreamers 公司进行了尝试。他们制作了 Laundroid 衣柜,拥有叠、熨、识别分类、智能推荐等多种功能。然而该款衣柜售价为 1.6 万美元,十分昂贵。或许正因价格过高、产品滞销,该产品尚未大规模上市,公司便于 2019 年 4 月宣布破产。因此,我们希望在低成本的前提下,实现衣柜智能设计,包括:衣物的识别和推荐,用户信息的录入,以及“衣物—主人”的匹配。

此外,Effie 公司的熨衣机器为我们提供了未来添加功能的思路 and 方向。在我们的设计中衣服将会卷成卷存放,这方便存取,但并没有过多地考虑衣服的熨平问题。Effie 公司在这方面的解决方案值得我们借鉴。

3 设计目标

3.1 目标总览

我们希望设计一个智能衣柜,简化人们整理、存放、择取衣服的过程。在衣服晾干后,连同衣架一起挂入衣柜,它可以将衣服叠好并分类储存;在选择衣服时,它既可以精准定位你想要的衣服,也可以根据你提出的模糊需求选择最合适的服装;在使用后,建立一个反馈系统,储存用户对衣服的偏好。

将整个项目进行三部分拆分：机械设计、硬件驱动、软件设计。机械设计部分负责叠衣服、分类装箱装置的设计；硬件驱动负责搭建电子器件的硬件抽象层，包括电机、舵机、码盘、摄像头等电子器件的驱动代码；软件负责服装推荐算法、反馈逻辑，以及整个软件系统架构的设计。

与项目拆分相一致地，我们将成员分为了机械、软件、硬件三组，各组人数分别为 3 人、3 人、1 人，其中有跨组兼职与职责交叉。并且，我们项目的重心在机械设计部分。

3.2 机械设计部分

具体来说，机械设计部分分为如下阶段：

自动叠衣装置【基础目标，正在测试】→ 加入自动送入衣服功能 → 制成衣柜形态 → 加入自动装箱功能【预期目标】→ 加入自动取衣服功能 → 改进叠衣方式【高级目标】

其中项目难点，也即最核心的工作，就是自动叠衣装置的设计。基于用户取衣服的难度、项目实现难度的考虑，我们目标的叠衣方式是，先将衣服整理成近似规则形状，再将其卷成圆柱体存放。这样设计的好处是，用户更容易在许多衣服中取出一件并不打乱其它衣服，并且装置更简单可行；坏处是容易使衣服产生褶皱，所以对于短袖、T 恤等衣服形制可用，对于衬衣、外套等则不行，亦即对可处理的衣服有一定限制。我们先实现初步的功能，再在项目后期尝试拓宽可处理的范围。

当前进度至**基础目标**，暂定最终完成至**预期目标**，会根据后期进度进行一定调整。

具体的设计在后文中详述。

3.3 软件设计部分

软件设计部分分为如下阶段：

语义识别、图像识别、衣服分类识别【基础目标，已达成】→ 系统软件架构设计 → 软件模块实现（数据库、机器学习模型、云服务、用户界面等）【预期目标】→ 更多的衣服分类 → 推荐算法和反馈算法【高级目标】→ 加入更多的传感器和智能化要素

基础工作将采用大量机器学习算法，有一部分自己搭建的神经网络模型，也有现成的 API 和云服务（包括 Azure、Face++ 等）。其中最大的困难点是数据集的获取，目前对于衣服种类的分类有已知数据集，但是对于花纹、材质等暂且没有，是项目难点所在。所以当前可以进行一些简单的分类（例如衣服外形、颜色），更多分类在之后尝试加入。

当前进度至**预期目标**，暂定最终完成至**高级目标**，会根据后期进度进行一定调整。

具体的设计在后文中详述。

3.4 硬件驱动部分

硬件驱动部分是所有功能可以正常实现的基础，所以所有需要的电子器件都需要相应的硬件驱动代码，在此不多赘述。此部分没有难点，因为都是常用的器件，以往已经有丰富的开发经验。

4 硬件设计及其基本原理

整个机械系统分为 A、B、C、D、E、F、G 七个部分，其中 B、C、D、E 构成衣柜顶端自动装置，完成核心功能“叠衣”；其余部分构成周围装置，完成服装运输等功能。下面逐一说明。

4.1 各部分详细说明

A 部分为呈递装置，由斜杆与齿轮组成，位于衣柜内部最左侧。在使用衣柜时，人们只需将自己从晾衣处收下的衣服挂在呈递装置的斜杆上，之后的过程便可以完全自动化。呈递装置负责每次向衣柜内部运输一件衣服；每件衣服在呈递装置末端被夹入衣柜，同时衣架因重力而脱离，掉入回收衣架的 H 部分的筐中。

B 部分为夹取装置，由两个机械臂构成，位于衣柜顶端自动装置的上部。结合图像识别算法的边缘提取，夹取装置能够通过夹持呈递衣物，达到分离衣架的效果。随后，夹取装置负责移动衣物至衣柜内部自动化装置的所需部位，并保持夹取姿态限制衣物形态。

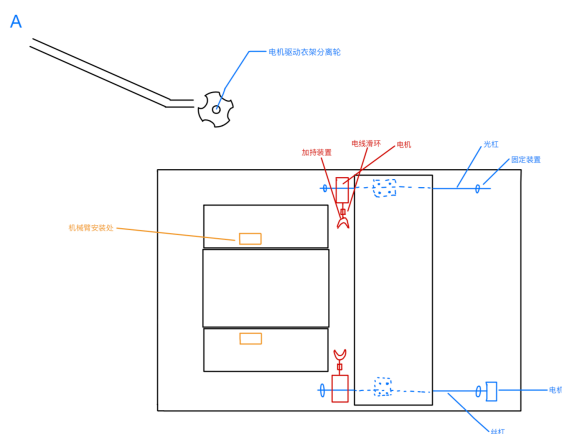
C 部分为折叠装置，由电机与板材构成，位于衣柜顶端自动装置的下部。待夹取装置就位，折叠装置会通过板材的翻转，将衣物折叠至合适的大小，为后续的操作做好准备。

D 部分为移动支撑板，由丝杠、光杠、电机与板材构成，是衣柜顶端自动装置的周围部件。折叠装置与移动支撑板共同构成衣物所放置的平面。衣物从领口向上置于移动支撑板上，其余位于折叠装置上。待折叠装置操作完毕，夹取装置收起，移动支撑板会水平方向远离折叠装置。此运动的目的是，使调整宽度的衣物的前端部分，自然下垂至衣物放置平面之下，易于进行后续操作。

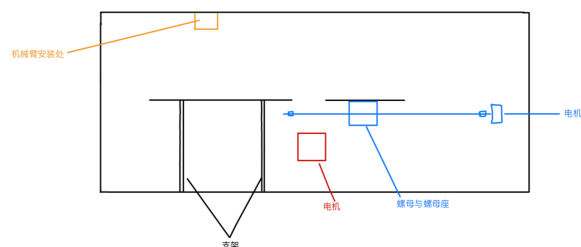
E 部分为回转装置，由两组电机与机械爪组成，位于移动支撑板下部。下垂的衣物两端被机械爪夹持后，机构可通过电机的回转驱动衣物被推拽入衣物放置平台之下。最终，衣物会以衣服卷的形态呈现。此时，通过松开机爪，卷起的衣物可以进入收纳装置。

F 部分为分拣通道，由电机与板材构成，位于衣柜侧面。通过呈递时的判定，经过整理后的衣物会被收纳于相应的集装箱内部。收纳的方法为打开对应的暗门，分类的方法为按衣物类型分类。

G 部分为收纳箱，负责收纳不同类型的衣物，位于衣柜内部。装配完毕的装置如下图所示：

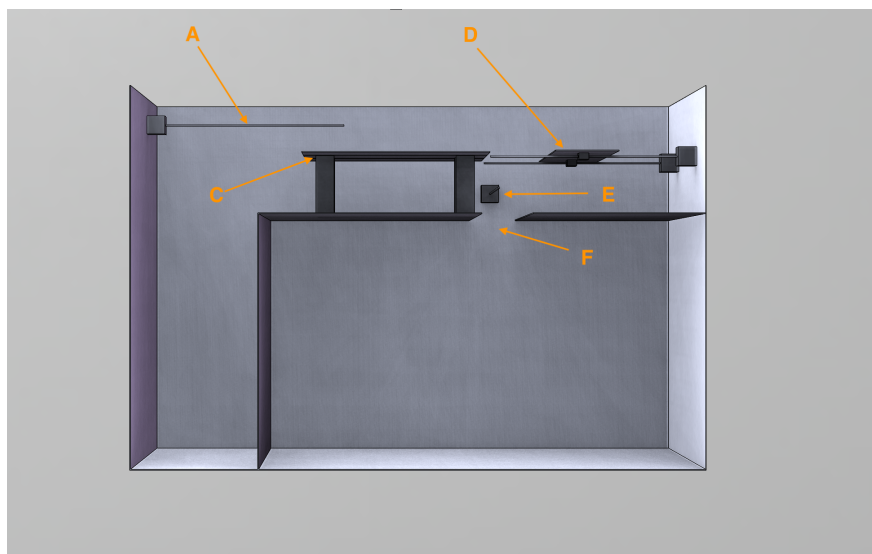
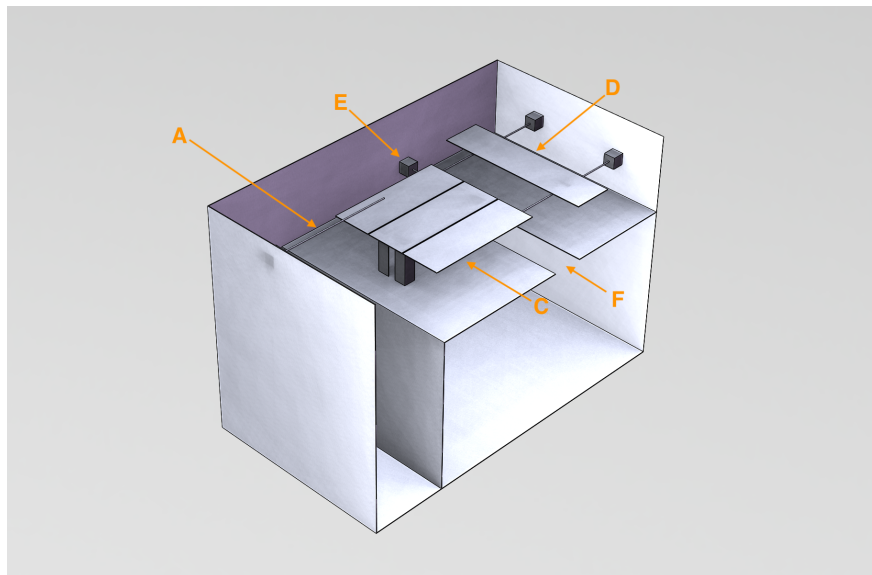


装置俯视图

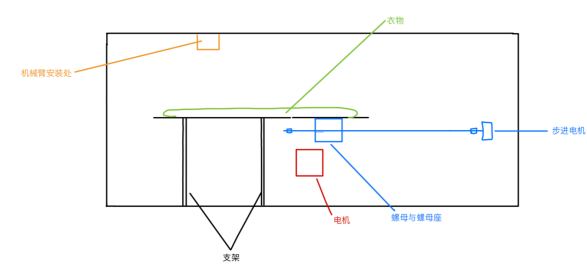


装置侧视图

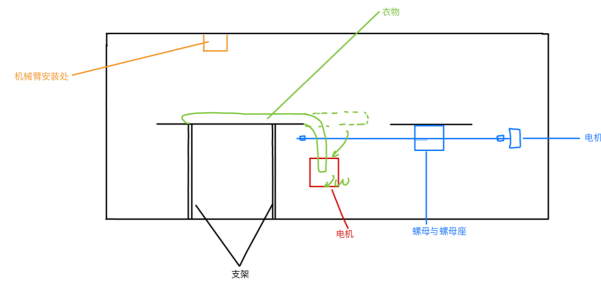
衣柜的 3D 效果如下图所示。图示 A、C、D、E、F 即上述的各个对应部件；B、G 不是主要部件，故在图中没有体现。



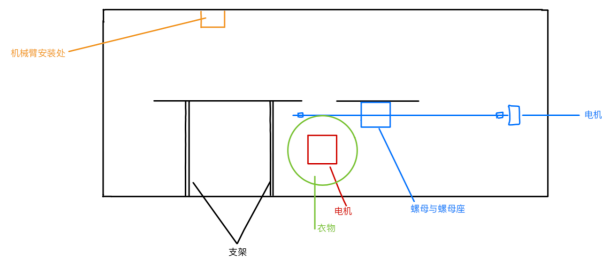
4.2 衣物收纳全过程



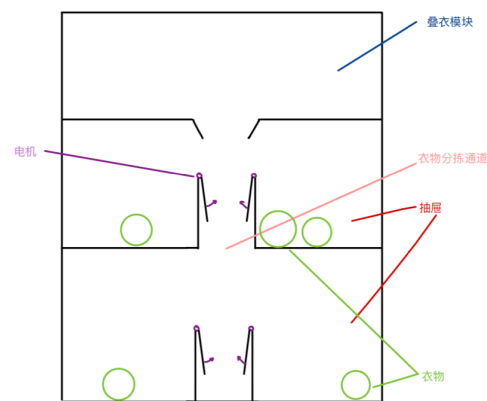
过程 1



过程 2



过程 3



过程 4

5 软件设计及其基本原理

整个体系的核心在于系统软件架构设计。为了方便修改原有功能、加入新功能并删除废弃功能，我们需要在软件上实现模块化与“热插拔”，从而更好地支持机械功能的正常实现。在这里我们采用了类 MVC 的系统架构，将整个软件系统分为多个模块，包括：信息获取模块、数据库模块、显示模块、推荐模块、智能模块、反馈模块等，这些模块统一由核心控制器控制。这样的设计将各个功能模块解耦，能够较好的满足上述“热插拔”的要求。

下面对几个重点模块进行介绍。

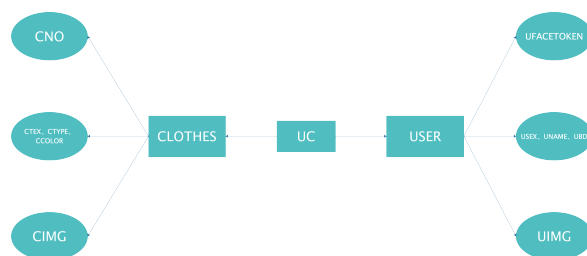
5.1 数据库模块

软件中设计的数据库是一个建立在关系数据模型（relatio model）上，具有三级模式（内模式、模式、外模式）的关系数据库。数据库中的核心数据存储在表（关系）中，数据从内存到显示屏的呈现过程及其映射关系由三级模式决定。整个数据库最关键的部分为：数据表（关系）及视图（外模式）。

5.1.1 数据表

整个数据库由三张表构成，分别为“CLOTHES”、“USER”和“UC”。“CLOTHES”存储了衣柜中所有衣服的信息，包括编号（CNO）、表面纹理（CTEX）、服装类型（CTYP）、主要色调（CCOLOR）以及服装图片（CIMG）；“USER”存储了衣柜所有用户的信息，包括人脸标识（UFACETOKEN）、姓名（UANME）、性别（USEX）、生日（UBD）、年龄以及人脸图像（UIMG）；“UC”中则存储了“衣服”和“用户”之间的从属关系，包括某一件衣服的拥有者，以及拥有者对衣服的喜好程度（PREFERENCE）。

把整个数据系统分解为上述三张表，减少了数据之间的耦合，符合数据库设计 BC 范式（BCNF）的要求。使数据库使用的过程中，不会出现插入、删除的异常，也在一定程度上减小了数据冗余。



5.1.2 数据库视图

数据库创建了一个视图，用于在数据表与用户可视的数据之间建立联系。如果用户想要查询衣柜中存储的衣服，他可以看到衣服的图片、使用者的照片以及名字，而不会看到其余的数据。这既保证了数据的安全性，也使用户界面更加简洁。

5.2 推荐模块

推荐模块利用基于卷积神经网络的图像识别技术，实现对衣服样式的识别，并将其特征标签存储在数据库中。通过 AI 模块的语音识别技术，提取用户指令语义，匹配对应需求标签，并按需求在数据库中查找匹配衣物，给出相应推荐。用户穿上衣物后，会提取用户的表情信息，通过 AI 模块中的人脸识别中与情感分析技术提取用户对衣物的反馈，相应数据库中修正该人对衣物的偏好程度数据，以做到推荐系统的修正。

5.3 AI 模块

软件中的大部分智能分析、处理功能通过调用云端服务完成，主要包括：FACE++（人脸识别与比对）和 Azure（自然语言处理）的 API。

6 项目进度

在软件方面，我们已经搭建了软件的类 MVC 架构，即完成了核心控制器及控制器与模块之间的通信。在此基础上，AI 模块、数据库模块已经构建完成；信息获取模块、推荐模块已经实现了基础功能；而反馈模块与显示模块仍待进一步开发。

在机械方面，我们已经开展模块化设计，将整个叠衣功能分解为七个部分并确定了每个部分的实现方案。目前收纳部分（上述 F、G 部分）测试已经通过；部分完成折叠部分（其余部分）的硬件搭建，测试进行中。

7 项目规划

在机械方面，我们计划在 10-11 周完成所有部分的单独测试。第十周，折叠部分（包括夹取装置、折叠装置）能够将衣物折叠至合适大小；第十一周前半周，卷衣部分（包括移动支撑板、回转装置、分拣通道）能够完成卷衣与收纳工作；十一周后半周，呈递装置能实现衣服与衣架的分离。目前 FG 部分的测试、其余部分的组装已经大致完成。在 12-13 周完成所有模块的整合工作，并进行联合调试，预期完成从收衣、叠衣到收纳的完整过程。

在软件方面，我们计划在 10 周完成软件的所有底层开发，包括显示模块的显示屏、信息获取模块的摄像头、推荐模块的数据集；11 周在底层的基础上完成所有模块功能的搭建；12 周调试控制器与所有模块的协同工作。最后，我们会在 13 周调试硬件与软件的协同工作性能，做后续的优化工作，最终在学期末形成一个完整成品。

在未来，我们主要提升衣柜的智能型，计划在以下几个方面继续开发。

1. 取衣机械的设计

目前我们的机械设计只包括了存衣时的归类收纳、取衣时的衣物定位，却没有包含自动取出衣物的部分。计划设计一个机械通道及运输方案，能最终实现取衣的全自动化。

2. 推荐算法优化

目前的推荐只考虑到本地的数据因素，如衣物纹理、类型以及用户偏好等。我们希望能将一些现实因素融入我们的决策，如当前天气，当季潮流等等。这涉及到多方面的改进，包括数据源的扩展、数据集的搭建与训练、决策的设计等等。

3. 人机交互优化

目前的设计中，人机的交互主要通过衣柜上的显示屏进行，相对单调；我们希望最终能实现“多模态交互”。在获取信息方面，能捕捉用户的肢体动作、自然语言等实时物理特征，判断行为目的；在反馈方面，能通过语音、显示屏等多维度的输出，使用户有一个更全面的了解。

8 初步成本核算

8.1 当前阶段硬件成本

器件类别	器件名称	单价 (元)	数量 (个)
周围设备	法兰盘	2.48	4
	SK8 立式直线轴承	5	2
	SCS8UU 直线轴承	10	2
	T8 螺母转换座	17	2
	350mm 步进电机丝杠	21.3	1
	250mm 步进电机丝杠	28.8	1
	$\Phi 8\ 1m$ 直线导轨	15	1
卷衣装置	步进电机梅花联轴器	13	2
	步进电机套装	75	2
	步进电机马达丝杠	15	2
叠衣装置	机械爪夹持器	100.5	2
	SNAM5700 机械手	188	1

总计 734.02 元。

8.2 未来成本初步核算

器件类别	器件名称	估计单价 (元)	数量 (个)
核心部件	机械臂	200	1
	机械爪	100	1
周围部件	木板加工	50	8
	步进电机	75	4

总计 1000 元