

- ◆一本前沿的3D技术学习范本
- ◆一个领先的AI教学实践平台
- ◆一种优秀的创新教育教学实践
- ◆一个适用的STEAM教育学习载体

3D建模与成型

E-SUN机器人

主 编 吴 强

副主编 关 颖 键



复旦大学出版社

3D建模与成型系列丛书

3D建模与成型

E-SUN机器人

主 编 吴 强

副主编 关颖键

编 委 郭惠萍 刘 烨 王慧洁

欧阳丹 阮武林 吴 强

组 编 易尚展



 清华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

3D 建模与成型: E-SUN 机器人/吴强主编;易尚展示组编. —上海: 复旦大学出版社, 2018. 5
ISBN 978-7-309-13551-0

I. 3… II. ①吴…②易… III. 机器人-建立模型-高等职业教育-教材 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 032862 号

3D 建模与成型: E-SUN 机器人

吴 强 主编 易尚展示 组编
责任编辑/梁 玲

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路 579 号 邮编: 200433

网址: fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>
门市零售: 86-21-65642857 团体订购: 86-21-65118853
外埠邮购: 86-21-65109143 出版部电话: 86-21-65642845
上海丽佳制版印刷有限公司

开本 787 × 1092 1/16 印张 12.5 字数 296 千

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 1—11 100

ISBN 978-7-309-13551-0/T · 618

定价: 70.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社有限公司出版部调换。

版权所有 侵权必究

前言

世界原本就是一个三维的世界。我们只是在还原一个真实的世界。

3D 技术是什么? 我们粗浅的理解是三维实体设计、3D 扫描和 3D 成型。这与传统的“3D 打印”有较大的不同。我们把三维实体设计、3D 扫描作为 3D 技术的“输入端”,把 3D 打印、3D 雕刻等成型技术作为 3D 技术的“输出端”,而“人”则是“输入”和“输出”的控制者。这种理解凸显了“人”的主体作用,也重视“工具”的辅助作用。在技术层面不仅让我们跳出以往“3D 打印”的框架,还让我们增加了技术的视角、拓宽了技术的视野。比如,3D 扫描作为 3D 建模的一种方式,这样让学习 3D 建模在有三维实物模型的基础上变得比较简单;又如,当我们用一些学生熟悉的橡皮泥、陶泥、木材等材料捏造一个实物模型时,已经构造了一个三维实体的模型,建立起一种空间的概念,甚至木工、泥工等也成为 3D 建模的一部分。这样,会让不同技术层面、不同技术工种的人对 3D 建模产生亲近的感觉,人人觉得皆有可能。亲近与可能,便是一种最好的技术教育方式。

从设计的创意角度,我们关注“人”在设计活动中的主观能动性,培养学生的创新潜质。从现代技术思想与方法上潜移默化地进行学生的“德性”培养,实现育人的德育功能。德育在不知不觉中达成,是一种最好的方式。

以往,教材的出现总是滞后于技术的发展,这几乎成为一条“铁律”。3D 技术的出现,同样符合这条“铁律”。人们似乎认为“3D 打印”概念已经概括 3D 技术的全部,产生认识上的谬误;当大多数人们尚在纠结于“3D 打印”时,3D 技术却已悄然发生巨大的变化。今天,我们是否能够紧跟技术发展的步伐,甚至比 3D 技术的发展略微超前一点? 本书对此尝试作出回答。

人类历史上的每一次“工业革命”都是由技术的发明与革新所引发。3D 技术作为工业 4.0 的先锋,更是引发了人类发展历史上的“第四次工业革命”。在历史浪潮来临之际,谁掌握了先进的技术,谁就把握了时代的命运。处于这一浪潮中的教育,理应顺应这种历史的潮流,为教育赋予新的活力。站在历史发展的关键时期,中国要从“制造大国”向“智造大国”转型,重要的是不能离开现代制造技术,其中最重要的是掌握有现代制造技术与思想的“人”。这也是历史赋予我们教育者的使命。

技术教育有别于传统的普通中学学科教育。技术教育关注的是“做什么”和“怎样做”以及“为什么而做”,这种教育方法的实施重在以一个项目或问题引领下的任务驱动,以及关注过程性评价为目标的自主学习方式,换句话说,就是一种基于问题解决的学习方式。当然,这种项目或者问题是构建这种学习方式的关键。因此,选择一种好的学习载体来承载学习的内容,是使学习者的学习达到事半功倍的有效途径。正是基于此,本书选择“机器人”为学习的载体,它既是 3D 技术的良好载体、STEAM 的良好载体,也是 AI 的良好载体,还是学生进行科技创新实践的良好载体。

3D 技术与传统制造技术相比,其优势在于方便、实时、个性化以及无限的可能性,其应用的可能性和商业价值已经显而易见。中华民族是一个有理想的民族,一个能够把握自己命运的民族,我们有理由坚信技术强国的信念,有理由坚信我们的教育能够培养出杰出的技术人才。教育,是民族实现理想的基石。3D 技术教育,是我们技术教育的起点。

由易尚展示组稿的 3D 建模与成型系列教材,分为高中、初中和小学 3 册。从不同年龄、学段学生的认知水平出发,遵循中学“精确”、小学“浪漫”的技术要求原则进行编写,传授 3D 技术与思想方法,期望能够培养学生良好的技术素养。

本书的编写得到 Autodesk 公司的大力支持及授权,在此表示感谢。

编者

2018 年春于上海

使用说明

本书是为普通高中学校学生编写的 3D 技术学习教材。全书以教育部颁发的《普通高中通用技术课程标准》及《上海市劳动技术课程标准》为主要依据,结合 STEAM 教育、AI 教育以及科技创新教育的需要,以 3D 技术结合艺术设计、电子控制技术跨学科学习内容;通过学习,学生能够基本自主独立完成制作一个 E-SUN 机器人,构建一种基于三维实体空间与 3D 技术下的现代设计与成型的学习方式。

本书以“E-SUN 智能机器人”为载体。其中,“E”的含义是指现代科学技术特征(如 E-mail),“SUN”的寓意为“阳光少年”,“E-SUN”机器人是具有现代技术特征的阳光少年,也指本教材的育人价值在于通过现代技术与教育思想相融合,培养一代身心健康同时又有现代技术思想的有为青少年。

在技术框架上,本书由 6 个项目贯穿而成。项目 1“E-SUN 机器人”主要介绍机器人和 E-SUN 机器人的基本知识与寓意,由郭惠萍编写。项目 2 讲解 E-SUN 机器人内部支架与外部造型的设计与成型,主要介绍用 Autodesk Inventor 构建机器人内部支架与外部造型的 3D 模型建模思路、结构设计及操作方法,由刘烨编写。项目 3 讲解 E-SUN 机器人底盘的设计与成型,是继项目 2 后对机器人的设计与成型,也是对项目 2 中未使用到的 Autodesk Inventor 操作工具的补充和深入,由王慧洁编写。项目 4 讲解 E-SUN 机器人装饰物的设计与成型,主要介绍陶泥手工建模并通过 3D 扫描方法构建 3D 数字模型,陶泥建模部分由欧阳丹编写,3D 扫描部分由吴强编写。项目 5 讲解 E-SUN 机器人的控制系统,主要介绍以 Arduino 平台及其 IDE 软件环境下构建 E-SUN 机器人智能控制系统的知识与方法,由阮武林编写。项目 6 讲解 E-SUN 机器人的组装与调试,介绍 E-SUN 机器人的组装与调试方法,由吴强编写。本书由易尚展示组稿、吴强主编。

这 6 个项目围绕 E-SUN 机器人的创意、内部结构、外部造型及头部、腿部、饰物进行三维设计、3D 扫描与成型,以及设计、制作微电脑控制系统、编写程序等,最后进行组装和调试。在“输入端”完成三维设计、3D 扫描,在“输出端”完成 3D 打印,从而构成“3D 技术”比较完整的知识链条和思维体系。

本书主要有以下 4 个特点:一是提出“3D 技术”完整的概念,三维设计、3D 扫描与 3D 成型是“3D 技术”的主体,纠正“3D 技术”只是 3D 打印的错误理解。二是把三维实体设计与 3D 扫描技术作为 3D 建模的两个输入端,拓展了 3D 建模技术的视野。三是将陶艺技术引入教学,在真实世界和虚拟世界之间搭建了一座沟通的桥梁,便于学生的空间认知,使 3D 建模更具普适性、更容易适用于众多群体。四是引入通用性强的开源的微控制系统,让学习者可以根

据自己的特长和需要进行自主学习实践。总之,本书基于 3D 技术基础作了比较多的“跨学科”融合式学习设计。

本书同样适用于普通高中开展 STEAM 教育、AI 教育,还可以用作职业高中、职业大专及工科学校及以上层次学校的本科生或研究生学习 3D 技术参考。

编者

2018 年春于上海

目 录

前言	1
使用说明	1
项目 1 E-SUN 机器人	1
项目 2 E-SUN 机器人内部支架与外部造型的设计与打印	9
项目 3 E-SUN 机器人“腿”的设计与打印	83
项目 4 E-SUN 机器人装饰物的设计与成型	126
项目 5 E-SUN 机器人控制系统	146
项目 6 E-SUN 机器人的组装与调试	181

项目 1

E - SUN 机器人

需求分析 ▶

机器人是大家所熟知的一种能够实现人类一些功能的智能机械。相信大多数人对于机器人形象的认识,是通过观看电影电视得到的。

施瓦辛格主演的《终结者》中,机器人(图 1-1)几乎完全具有“人”的外形特征;但在骨子里完完全全是机械和程序。这个机器人比人类具有更强的生命力和力量,而且具有正义感。我们知道这虽然是部科幻片,但是给人留下十分深刻的印象。

日本本田公司生产的机器人 ASIMO(图 1-2)是比较接近于真实的机器人,它能够模仿人做出行走、奔跑、转向、前进、后退等诸多动作,甚至能进行简单的语言交流,它的外形也与人类比较相近。



图 1-1 施瓦辛格主演的《终结者》中的机器人

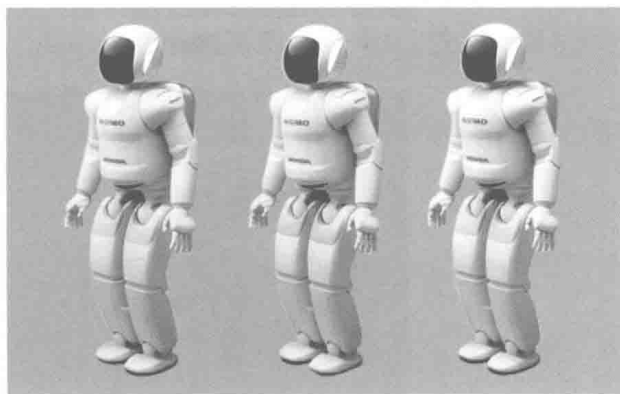


图 1-2 ASIMO 机器人

近几年来,为满足人们对于情感交流的需要,日本研制出一种 PEPPER 机器人(图 1-3),这种机器人可以和人进行一定程度的情感交流。甚至还出现了仿真的播音机器人等。可以说,机器人越来越像“人”。

这些机器人的出现,极大地丰富了机器人家族;同时,也极大地丰富了人们的想象力。在实际情况中,这些比较大型的机器人由于技术难度、研发成本、制造工艺等方面的原因,进入人们的生活还比较困难。一些功能比较简单、单一的小型机器人却活跃在市场上,甚至已经进入普通居民的家庭、教育、娱乐等方面,为人们提供多种服务(图 1-4)。

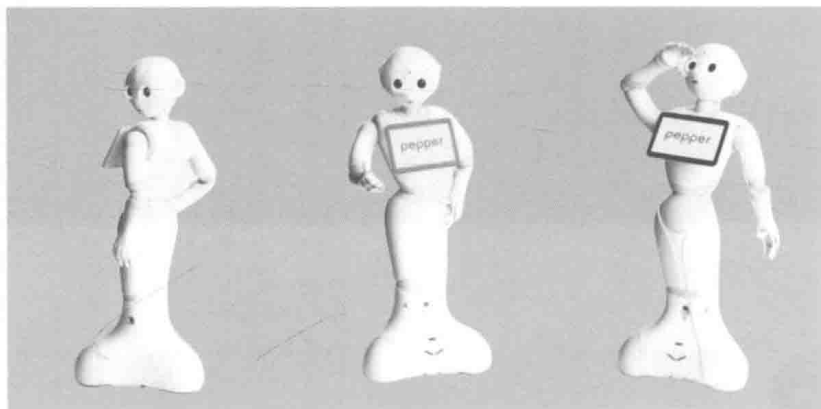
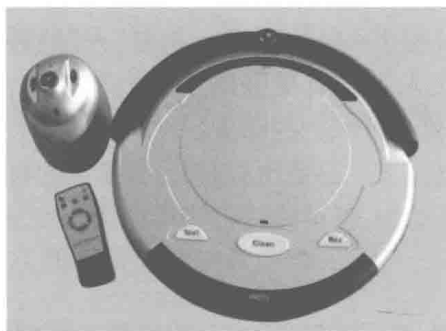
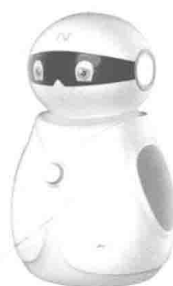


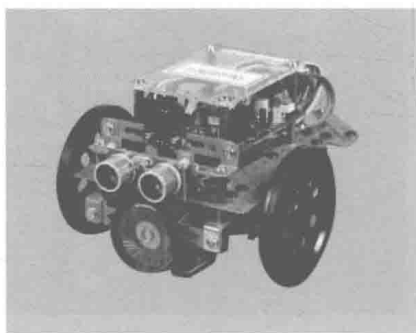
图 1-3 PEPPER 机器人



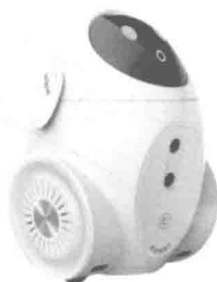
(a) 扫地机器人



(b) 儿童陪伴机器人



(c) 教育机器人



(d) 儿童编程机器人

图 1-4 机器人的种类

机器人的种类远远不止这一些。机器人正在推动社会进步,也正在走进我们的生活。那么,大家是否能够自己来设计、制作一个属于自己的机器人呢?

设计任务 ▶

以“阳光少年”为主题,设计一个身心健康、阳光快乐且有科技感的个性机器人——E-SUN机器人。

技术导航 ▶

完成设计时首先需要提出创意并画出设计草图。

创意设计也叫构思。依据设计主题“阳光少年”和“个性机器人”两个要素,可以分外形和功能两方面进行创意设计。

1. 外形创意

E-SUN 机器人的外形要比较像人,但是,我们的能力有限,无法实现外形很像人的效果。所以,E-SUN 机器人可以部分像人,突出主题即可。这个机器人有头部,并且头部有“阳光少年”的特征,如头发造型;要有简单的身子,如容易做出来的卡通型。要有一段双手和双腿,手和腿的设计可以简单些,避免做不出来。

2. 功能设计

“阳光少年”是充满朝气和活力的少年,要能实现动作:头部最好能够像人的头部一样,能够左右转动、上下转动;手臂能够配合头部动作,表达出“阳光少年”的特点;整个机器人要能够移动,如行走、奔跑、转弯、转圈等。除了上述功能,“阳光少年”还要会讲、会听、会有简单的情感表现。

对 E-SUN 机器人主题的分析 and 外形、功能的设计,可以用草图来表达。

2D 建模 ▶

画设计草图有两种方法:一种是在图纸上画出二维平面草图;另一种是借助计算机和专用软件辅助设计。

在没有学习专用软件辅助设计时,可以用在图纸上画出二维平面草图的方法来表达创意(图1-5)。



图 1-5 E-SUN 机器人设计二维草图

3D 建模 ▶

创意设计也可以用彩陶或陶土来构建直观的实体 3D 模型(图 1-6)。



图 1-6 E-SUN 机器人设计实体 3D 模型

技术评估 ▶

要实现二维草图所描述的 E-SUN 机器人,需要使用现代设计技术与成型技术,即三维实体设计、3D 扫描技术和 3D 打印及其他成型技术。

即使这样,仍然需要将 E-SUN 机器人进行分割设计与打印,最终通过组装才能完成整个机器人的制作。

一、分割设计与成型

从技术实现的角度,可以把 E-SUN 机器人分解成 5 个部分设计与成型(表 1-1)。

表 1-1 E-SUN 机器人的分解设计与成型

分解部分	名称	功能框架描述	技术条件要求
第 1 部分	底盘	相当于机器人的“腿”,可以用二轮驱动方式解决机器人在平面上的运动问题;底盘相对固定,电源、主控电路板及开关、传感器等器件可以考虑安装在上面重心相对会比较稳定	计算机、三维实体设计软件、3D 打印机等

续表

分解部分	名称	功能框架描述	技术条件要求
第2部分	内部支架	承担手臂、头部的支撑,承担身体外包围的固定	计算机、三维实体设计软件、3D打印机等
第3部分	手臂、头部与身体	手臂、头部与身体的设计打印	
第4部分	特征装饰	头发、LOGO、通信设备、帽子等个性装饰物	陶艺、3D扫描、3D打印、计算机
第5部分	控制系统	微控制系统、伺服电机、传感器等	电路设计软件、编程器、计算机等

二、基本设备的配置要求(表1-2)

表1-2 基本设备配置要求

序号	设备名称	建议配置	数量	备注
1	计算机	i7CPU/8G以上 RAM/1T以上 HD/独立显卡 2G以上显存/21"HD显示器	≥1台	按需要选配
2	设计软件	Autodesk Inventor 2015 以上	1套	
3	3D打印机	建模尺寸: ≥203毫米×203毫米×152毫米 印层厚度: 0.254毫米, 0.330毫米 工作站兼容性: Windows XP/Windows 7 及以上 符合标准: CE/TUV/KCC/RoHS/WEEE 软件配置: 随机搭配分层软件和驱动软件	≥1台	按需要选配
4	3D打印机	成型方式: 熔融沉积成型(FDM) 打印成型尺寸: ≥240毫米×215毫米×215毫米 运动控制: 全闭环光栅控制原厂配套的模型切片软件 智能功能: 交互式打印支撑编辑系统 智能功能: 内置3D数据模型库 三维数据输入格式: stl, obj 三维数据输出格式: pcode 打印精度: XY轴(axis)12.5微米, Z轴(axis)1.875微米	≥1台	按需要选配
5	3D扫描仪	参数建议参考易尚的DS200 扫描区域: 143毫米×108毫米 光源: 白光(LED) 分辨率: 0.100毫米 部件尺寸范围(建议): 0.05~0.5米 纹理分辨率: 50~250 DPI 软件: VXelements 输出格式: .dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr	≥1台	按需要选配

续表

序号	设备名称	建议配置	数量	备注
		兼容软件: 3D Systems (Geomagic® Solutions), InnovMetric Software (SolidWorks), PTC (Pro/ENGINEER), Siemens (NX 和 Solid Edge), Autodesk (Inventor, Alias, 3ds Max, Maya, Softimage)	≥1 台	按需要选配
6	超声波清洗机	超声波水溶解设备(可调温) 电源要求:“220~240VAC, 7A, 50 Hz”专用线路	≥1 台	按需要选配
7	常用工具		1 套	

技术前沿 ▶

一、Autodesk Inventor 介绍

Autodesk Inventor 软件是美国 AutoDesk 公司于 1999 年底推出的三维可视化实体模拟软件,目前已推出最新版本 Inventor 2018,实验室使用的是 Inventor 2016。它包含三维建模、信息管理、协同工作和技术支持等各种特征。使用 Autodesk Inventor 可以创建三维模型和二维制造工程图(图 1-7),可以创建自适应的特征、零件和子部件,还可以管理上千个零件和大型部件,它的“连接到网络”工具可以使工作组人员协同工作,方便数据共享和同事之间设计理念的沟通。Inventor 在用户界面简单、三维运算速度和着色功能方面有突破性的进展。它建立在 ACIS 三维实体模拟核心之上,设计人员能够简单迅速地获得零件和装配体的真实感,这样就缩短了用户设计意图的产生与系统反应时间的距离,从而最小限度地影响设计人员的创意和发挥。



图 1-7 Inventor 软件界面图片

二、3D 打印机

3D 打印机(3D Printers)又称三维打印机,简称 3DP,是一位名为恩里科·迪尼(Enrico Dini)的发明家所设计的一种神奇的打印机(图 1-8)。它不仅打印一般的物品、零件,还可以“打印”一幢完整的建筑,甚至可以在航天飞船中给宇航员打印任何所需的物品。

3D 打印机是一种累积制造技术,即快速成形技术的机器。它以数字模型文件为基础,运用特殊蜡材、粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过打印一层层的粘合材料来制造三维的物体。现阶段三维打印机采用逐层打印的方式来构造物体,被用来制造产品。3D 打印机的原理是把数据和原料输入,机器会按照程序把产品一层层构造出来。

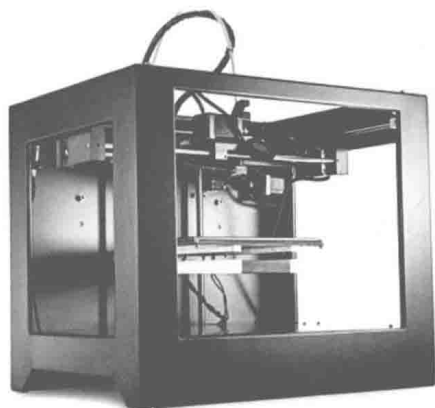


图 1-8 3D 打印机

与传统打印机最大的区别在于 3D 打印机使用的“墨水”是实实在在的原材料,堆叠薄层的形式有多种多样,可用于打印的介质种类繁多,从塑料到金属、陶瓷以及橡胶类等物质。有些打印机还能结合不同介质,令打印出来的物体一端坚硬而另一端柔软。

3D 打印带来世界性制造业革命。以前部件设计完全依赖于生产工艺能否实现,而 3D 打印机的出现颠覆了这一生产思路,使得企业在生产部件时不再考虑生产工艺问题,要知道任何复杂形状的设计均可以通过 3D 打印机来实现。

3D 打印无需机械加工或模具,就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的物体,从而极大地缩短了产品的生产周期,提高了生产率。尽管仍有待完善,但 3D 打印技术市场潜力巨大,将会成为未来制造业的突破技术之一。

三、3D 扫描仪

2013 年 3 月,美国 3D 打印机厂商 MakerBot 总裁布瑞·佩蒂斯(Bre Pettis)在西南偏南(South By Southwest, SXSW)互动大会上展示了 3D 扫描仪的原型。佩蒂斯表示,MakerBot 正在开发一款名为“Digitizer”的桌面 3D 扫描仪,帮助用户更方便地将现实世界的物品转换成可用于 3D 打印的数据。

3D 扫描仪能对物体进行高速高密度测量,输出三维点云(point cloud)供进一步后处理用。它的用途是创建物体几何表面的三维点云,这些点可用来插补成物体的表面形状,越密集的点云可以创建越精确的模型。若扫描仪能够取得表面颜色,则可进一步在重建的表面上黏贴,即所谓的纹理映射(texture mapping)。

3D 扫描仪可模拟照相机,它们的视线范围都体现圆锥状,信息的搜集皆限定在一定的范围内。两者的不同之处在于照相机抓取的是颜色信息,而 3D 扫描仪测量的是距离。

由于 3D 扫描仪的扫描范围有限,因此常需要变换扫描仪与物体的相对位置或将物体放置于电动转盘(turnable table)上,经过多次扫描以拼凑物体的完整模型。多个片面模型集成的技术称为图像配准(image registration)或对齐(alignment),其中涉及多种三维比对

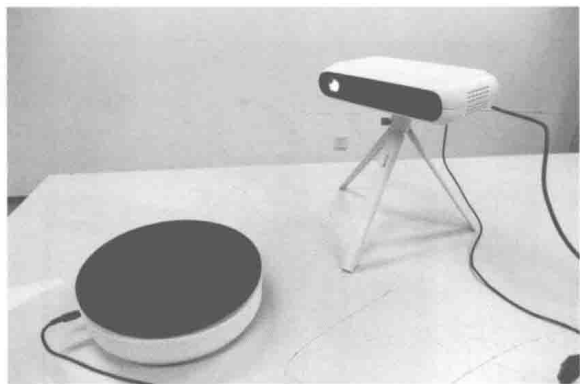


图 1-9 3D 扫描仪

(3D-matching)方法。

扫描是获取 3D 物品可打印设计文件的 3 种方式之一。除扫描之外,用户还可以下载其他人创建的文件,或者使用软件从头开始设计模型。

商用的 3D 扫描仪已经出现,价格高达数千美元。用户也可以自己动手,利用 3D 成像装置(如微软 Kinect 中的摄像头),自制图 1-9 所示的扫描仪。

实践创新 ▶

(1) 按照 E-SUN 机器人的主题意义,设计自己的 E-SUN 机器人,并用二维草图方式表达。

(2) 自定义主题,设计符合主题意义的机器人,用二维草图方式表达。

(3) 制作 PPT 或者视频等;组织 5~6 位同学,向他们讲解你的创意,并请他们讨论你的创意;邀请他们加入你的项目,共同实现你的创意。

项目 2

E - SUN 机器人内部支架与外部造型的设计与打印

需求分析 ▶

在设计 E - SUN 机器人的外部造型时,要考虑它有类似于人的头部、手臂和身体的外部造型。而头部、手臂和身体之间的相互连接需要支撑,如头部支架、手臂支架和身体支架。内部支架与外部造型的设计与打印,是制作 E - SUN 机器人结构的重要组成部分。

一、E - SUN 机器人内部支架的需求分析

(1) 头部支架设计: 头部要能够左右转动和上下“点头”。因此,需要设计左右和上下各两个自由度,能够固定机器人的头部。一个自由度用一个电机可以实现。在 E - SUN 机器人中,用两个舵机来实现两个自由度。所以,支架不仅要考虑两个舵机的安装,还要考虑与手臂支架的连接。

(2) 手臂支架设计: 手臂只要能够前后摆动,即一个自由度,因此,在身体的左右两侧各需要一个舵机。为了支撑这两个舵机,需要设计手臂支架,并连接头部支架和躯干支架,起到承上启下的作用。

(3) 身体支架设计: 身体支架是将头部、手臂以及底盘连成一体,从而支撑整个机器人主体的结构。因此,设计的身体支架要充分考虑身体支架与头部支架、手臂支架与底盘的连接方式,还要考虑 E - SUN 机器人的整体尺寸,以及保证机器人的重心稳定。

二、E - SUN 机器人的外部造型的需求分析

(1) 头部外形设计: E - SUN 机器人是个类人型机器人,因此,可以将头部外形设计成圆形,它的脸部包含眼睛、耳朵、嘴巴等结构。头部外形的尺寸要考虑头部支架的结构和尺寸,以及头部外形与头部支架之间的安装。可以将头部外形分成左右两半,其中一半要与头部支架连接。

(2) 手臂外形设计: 由于手臂摆动只有一个自由度,因此,手臂只需考虑与旋转舵机连接即可。需要设计制作手臂连接件,将手臂与旋转舵机相连。

(3) 身体外形设计: 身体外形要将手臂支架与身体支架包裹起来,同时与头部外形和手臂的相连处要设计出颈部造型和肩部造型。考虑身体外形的安装与 3D 打印机打印尺寸的限制,整个身体外形可分成 4 个部分,每个部分分别打印制作。要考虑它们之间如何连接,包括与底盘的连接方式。需要的设备名称、数量及要求如表 2 - 1 所示。