



电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

实验报告

实验名称：四足仿生机器人设计与开发

学 院：机械与电气工程学院

专 业：机械工程

学 生：黄鑫元

尚 昆

王佳鑫

程 凯

指导教师：毛湘宇

2018 年 12 月 27 日

目 录

第一章 背景及意义	1
1.1 国外四足机器人研究现状.....	1
1.2 国内四足仿生机器人研究情况.....	1
1.3 仿生四足机器人发展趋势.....	2
第二章 四足仿生机器人结构设计.....	3
2.1 仿生机器人结构设计方案一.....	3
2.2 仿生机器人结构设计方案二.....	6
2.2.1 机身设计.....	6
2.2.2 各运动关节设计.....	7
2.2.3 腿部设计.....	8
第三章 四足仿生机器人控制系统设计.....	10
第四章 心得与体会	16

第一章 背景及意义

仿生机器人是机器人技术领域中的一个新兴的发展分支,是当前机器人领域的研究热点。人们可以利用仿生机器人的灵活性和适应性从事复杂或危险的工作。近年来,足式仿生机器人的研发情况发展迅速,由于足式运动的特点,这一类型的机器人以其在崎岖不平的地面支撑、运动灵活、环境适应能力强,同时具有一定的平衡能力,多用于军事物资运输、抢险救灾及娱乐等,国内外很多企业和高等院校等都进行了或正在进行着相应的足式机器人产品研发,目前发展前景广阔,以四足机器人为例,其研究现状如下:

1.1 国外四足机器人研究现状

仿生四足机器人的研究工作从上世纪六十年代开始后,其诸多优点就被许多理论和应用研究者所关注,国外涌现出大量的样机。2000 年以后,现代四足步行仿生机器人的研制工作进入了快速发展的阶段。最具代表性的为波士顿动力学工程公司(Boston Dynamics),其四足机器人发展过程迅速,基本上每 1—3 年就会发布一款新的产品样机,而每一次推出都会引起不小的震动反应。

2011 年,波士顿动力学工程公司发布了“LS3”四足移动仿生机器人,这款四足机器人配置了先进的视觉跟踪、地形感知、GPS 等技术,运用灵活的步态和极强的平衡能力,能够在崎岖的山地负重跨越障碍物。2012 年,该公司发布了“Cheetah”猎豹仿生四足机器人,这款机器人在奔跑过程中能够像猎豹一样进行腿部关节的屈伸动作,并能够自我感知障碍物高速跨越,是目前室内奔跑速度最快的四足机器人。2013 年,波士顿动力公司发布“WildCat”野猫四足仿生机器人,采用复杂的步态算法,能够快速奔跑并提高能量利用效率,是室外运动奔跑速度最快的四足机器人。2016 年推出的“SpotMini”四足仿生机器人,其体型更加小巧,行走更加快速,体重仅约 30 公斤,能够在大型机器人难以涉足的崎岖地形行走和奔跑,进步之快,另人惊叹。

2016 年,瑞士苏黎世联邦理工学院发布了新一代四足机器人 ANYmal,这款机器人装备有多种传感器,体重轻巧,充电一次可工作 2—4 小时,可以自主在不同工作环境中穿梭进行巡逻工作,最新显示,这款机器人还能够自主乘坐电梯,体现了未来机器人的智能化时代的到来。

1.2 国内四足仿生机器人研究情况

近年来,许多国内科研机构和研究学者们也对四足仿生机器人投入了积极的

研究,并取得一定的成果。如早年的上海交通大学设计开发的 JTUWM-III 型四足机器人,到清华大学研制的 2 自由度的四足步行机器人,再到华中科技大学研制了“4+2”多足步行机器人,可利用六条腿来实现稳健的静态或动态运动,哈尔滨工业大学机器人研究所近年来也一直从事着多足机器人结构设计及步态算法研究,其研制的四足仿生机器人也在国内机器人研发领域占有一席之地。

2015 年 7 月,中国兵器装备集团公司发布了“中国大狗”的仿生四足机器人。这款由中国自行研制的“大狗”仿生机器人,可以运用到军事领域进行崎岖地形的物资输送工作,其系统功能已经达到国外同类产品水平。2017 年 10 月,宇树科技发布了他们的四足机器人莱卡狗(Laikago),重量轻但系统输出功率高,可匹敌美国最强产品,一脚踹不倒,其平衡能力在国内研发领域也展出超强的水平。2018 年,浙江大学熊蓉教授领导的机器人团队发布了一款“绝影”四足机器人,这款国产机器人能够稳健地爬陡坡,踏雪地,拥有强大的平衡技能。

国内近年来在足式机器人领域也在努力追赶,上海交通大学对外展示了六足机器人,而在四足机器人方面,据了解目前国内主要是山东大学、哈工大还有军方在研究,由浙江大学控制系机器人实验室出来的创业团队也在研发四足机器人,相信不久也会有新动态对外分享。

1.3 仿生四足机器人发展趋势

随着机器人技术的日益深入发展,仿生四足机器人在奔跑速度、自主感知能力、结构功能和生物仿生技能等方面的性能将不断提高,智能化水平也将逐步提高。对于机械结构的设计来说,目前研发的机器人多为刚性结构,如何运用新技术采用柔性构件模仿动物肌腱肌肉的高效储能和节能元件将是未来仿生四足机器人在机械结构设计方面发展的主要研究领域。同时,进一步提升仿生四足机器人的载重能力,以及对复杂地形的适应能力也将成为未来机器人的发展趋势。另外,柔性运动控制技术、目标识别与避障方法、定位与导航技术、复杂地形步态规划方法、能源供给技术等,随着理论的发展和技术的进步,它们的性能仍会进一步提升。

第二章 四足仿生机器人结构设计

实验要求仿生机器人结构部件由 3d 打印加工制作，打印零件的尺寸被限制在 $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$ 以内，同时由于实验所使用的 3d 打印材料的特性，在四足仿生机器人结构设计及 3d 打印过程中，不断产生新的问题和新的挑战，通过不断尝试，对仿生机器人结构进行了多次改进和优化，最终完成了四足仿生机器人结构的设计。

2.1 仿生机器人结构设计方案一

在实验过程中，本小组设计内容由六足仿生机器人更改为四足仿生机器人，因此，结构设计的初始方案为六足机器人的设计。同时，由于其结构设计不合理，部分零件尺寸选择不合理，造成在 3d 加工时时间和材料消耗大且强度不高，有的零件甚至在加工过程中会变形，在多方考虑下，小组并没有采取此方案为最终方案。实验报告中将不涉及此结构设计的具体参数及各零部件设计截图。

仿生机器人结构设计方案一（六足仿生机器人）整体效果图如图 2-1 所示：



图 2-1 方案一整体效果图

其结构分别由 18 个舵机、机身、腿等几部分构成。其中，要对以下三点设计思路进行说明：

1) 舵机部分：

仿真机器人所采用舵机的型号为 SG90，为了增强其结构强度，同时与其他零部件进行连接，设计为舵机增加了外壳，并在外壳上增加与其他零部件连接相应的结构，其结构图如图 2-2 所示：

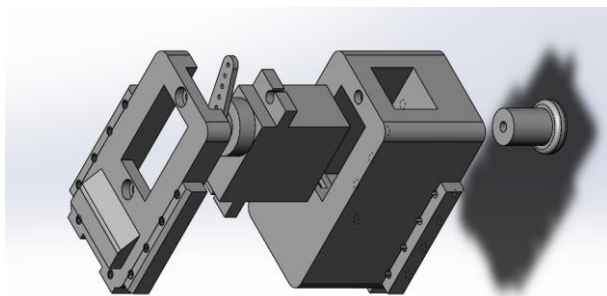


图 2-2 舵机及舵机壳装配爆炸图

2) 机身部分:

机器人机身分别由上下两块底板构成，两底板之间由四块支撑板所连接，配有外壳的舵机通过螺丝装在不同的位置上。底板上大孔洞的设计目的是方便走线，小孔洞的设计一部分是为了安装舵机和支撑结构，另一部分是用来安装控制板及其它装置，其结构图如图 2-3 所示。

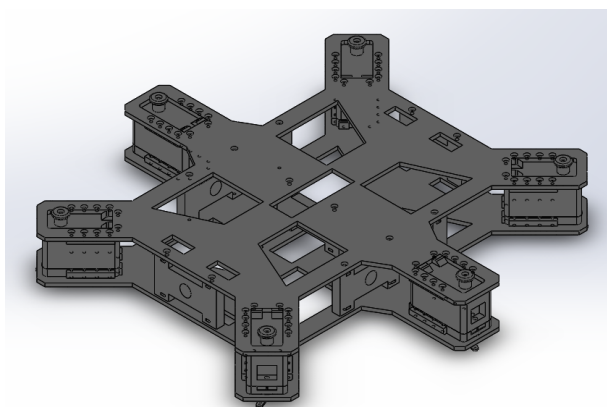


图 2-3 机身结构图

3) 腿部分:

为了使仿生机器人运动更为灵活，拥有更多姿态，结构设计为机器人腿部添加了两个关节，每个关节由相同的两个零件组成，关节 1 和关节 2 零件分别如图 2-4 和图 2-5 所示。其中，竖立部分为零件与舵机整体连接部分，其连接关系图如图 2-7 所示；每个关节两零件之间由螺丝螺母连接，结构设计时分别为螺丝头部和螺母设计了相应大小的孔；除此之外，关节 1 的两个零件直角处分别添加了两个孔用来方便走线。

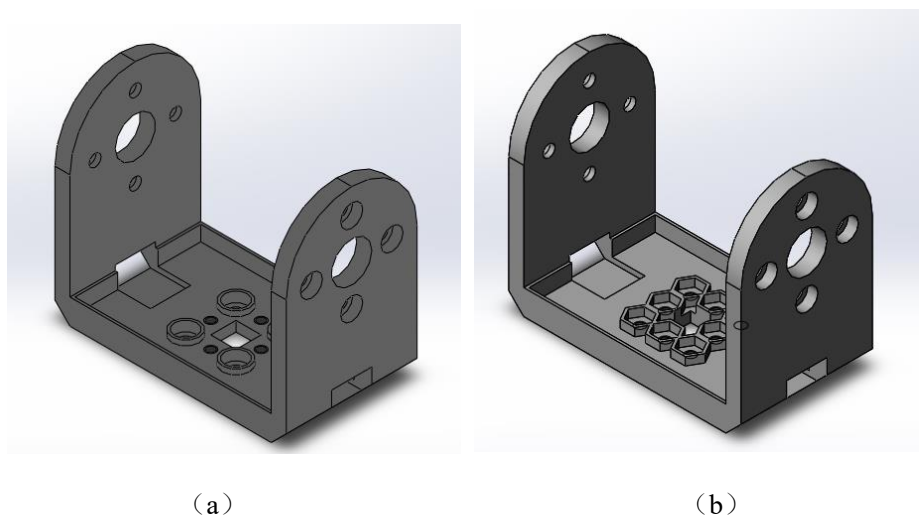


图 2-4 关节 1 零件图 (a) 有装螺丝的结构 (b) 有装螺母的结构

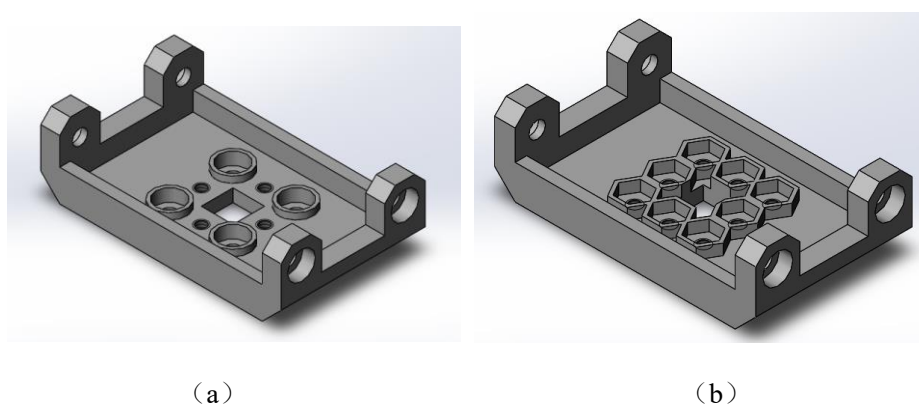


图 2-5 关节 2 零件图 (a) 有装螺丝的结构 (b) 有装螺母的结构

腿部装备图如图 2-6 所示，其主要结构由两块平板、5 个支撑结构和接触地面结构组成。其中，平板上设计有与舵机整体配合的大小孔洞，其装配效果图如图 2-7 所示；支撑结构使两块平板紧密连接；与地面接触的结构完美的镶嵌于两平板之间。

腿部整体装配图如图 2-7 所示，整个腿部具有三个自由度，可以灵活的完成各种动作和姿态。

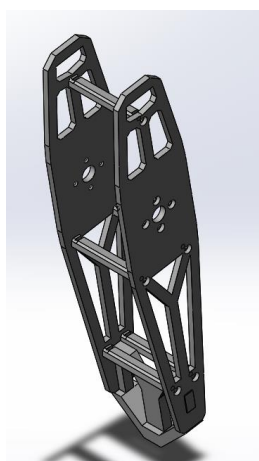


图 2-6 腿部装配图

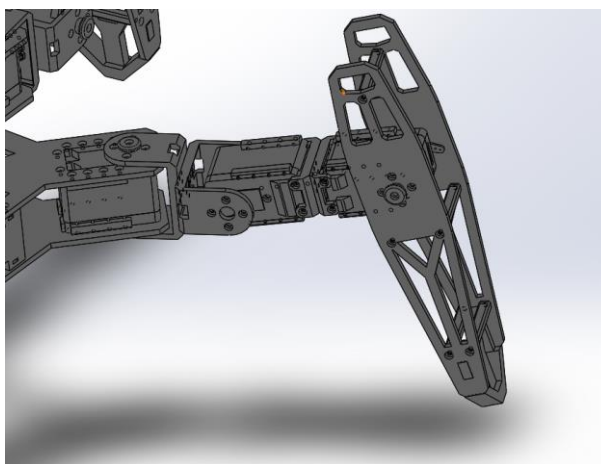


图 2-7 腿部装配效果图

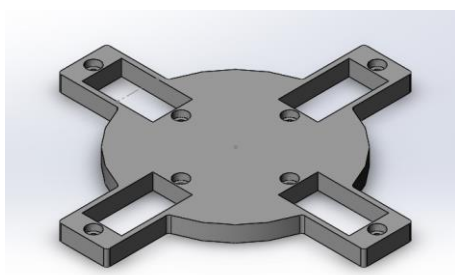
2.2 仿生机器人结构设计方案二

通过对零件的加工发现以下三点问题：

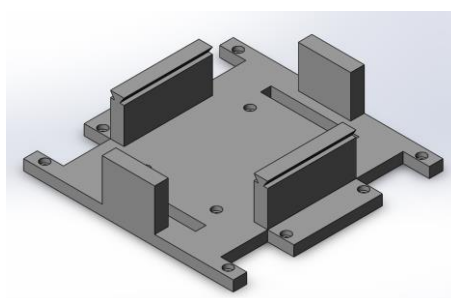
1. 方案一每个零件加工时间过长，在课程时间内无法加工完整个结构；
2. 加工尺寸过大，很容易产生残次品；
3. 部分零件的强度无法达到要求，加工出来的零件容易损坏；

除了以上三点问题，再加上设计题目更换的原因，小组放弃了设计原有方案一，设计了结构更为简单，尺寸更为小巧，强度更为坚固的方案二。下面我将对方案二的各个部件进行详细介绍。

2.2.1 机身设计



(a)



(b)

图 2-8 机身零件设计图 (a) 方案 A (b) 方案 B

关于机身的设计有两款方案，方案设计图如图 2-8 所示。在方案的选择时，机身设计方案 A 尺寸小，且加工时间短，单纯的结构涉及可以满足设计要求，但在考虑芯片和电池盒安装时，没有足够的空间，也没有为其设计相应的安装孔，

因此小组在方案 A 的基础上，提出了方案 B 的设计。

机身设计方案 B 将机身地板整体扩大，舵机分别安装在四周各个角上；底盘上有两个长方形的孔用来方便走线；中心四个小孔方便安装 16 路舵机控制板；电池盒放置在四块挡板中间；在四块挡板中，较长的两块设有榫卯结构，该结构与其他零件结构配合，用来安装 Arduino 控制板。机身设计方案 B 的设计图如图 2-9 所示。

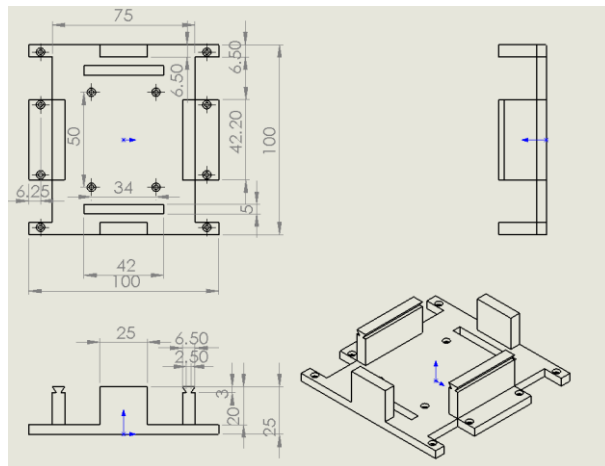


图 2-9 机身设计图

2.2.2 各运动关节设计

在设计方案二中，我们简化了方案一中两关节的设计，在完成原有功能的基础上，结构更加安全可靠，后续调试带来了方便。

方案二关节设计图如图 2-10 所示：

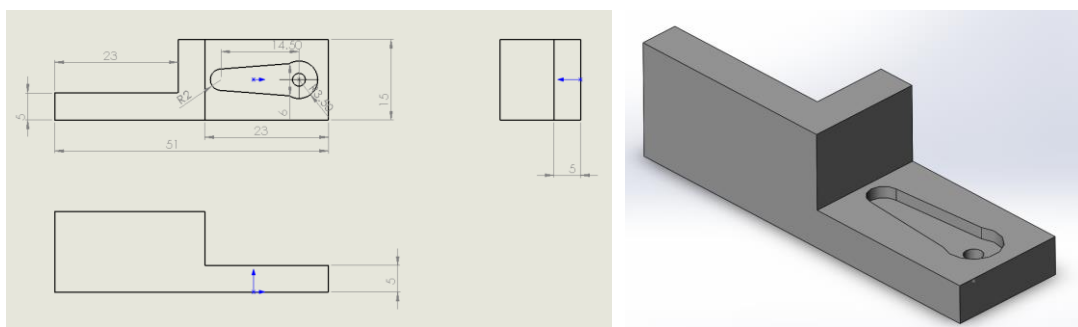


图 2-10 关节设计图

其中，零件厚度为 5mm；零件设计有与舵盘配合的孔洞，孔洞与舵盘采用过盈配合，这可以使舵盘牢固的卡在零件上；零件还留有 M2 螺丝可以通过的孔洞，螺丝与舵机相固定；此外，利用自攻螺丝将舵盘的孔洞扩大并与零件连接，使零件与舵盘牢固的连接为一个整体。

2.2.3 腿部设计

腿部设计图如图 2-11 所示，上部长方形的孔、圆形孔的设计目的是为了安装舵机；底部长方形平台是为了增加机器人与地面的接触面积；腿部整体高度为 96mm，其长度既满足了加工要求，又满足了设计要求；在腿与平台之间有加强筋增加其强度。

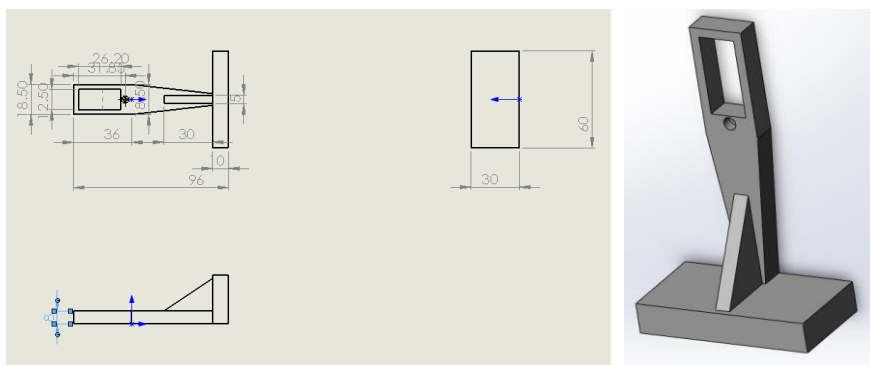


图 2-11 腿部零件设计图

2.2.4 装配图及实物展示

四足仿生机器人装配图如图 2-12 所示，其实物图如图 2-13 所示，Arduino 控制板通过安装与机器人顶部，Arduino 板连接了键盘、蜂鸣器等外设设备，如图 2-13（a）所示；

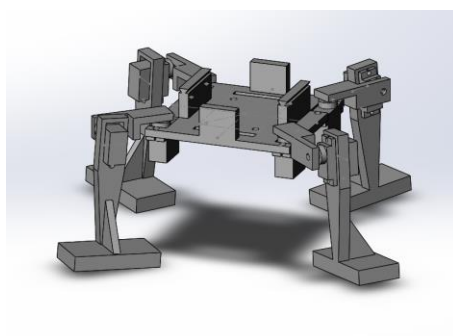
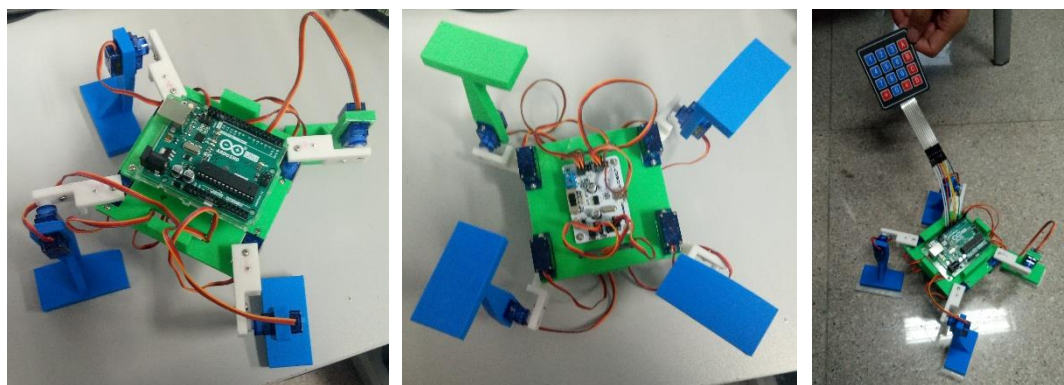


图 2-12 四足仿生机器人装配图



(a)

(b)

(c)

图 2-13 足机器人实物图

机身底部为 16 路舵机控制板，连接控制四肢的舵机运动，分别利用了第 0 路和第 1 路控制腿 1；第 4 路和第 5 路控制腿 2；第 8 路和第 9 路控制腿 3；第 12 路和第 13 路控制腿 4。这样分配的原因是合理利用舵机控制板接口位置，尽量避免舵机杜邦线的交叉，且利于后期控制程序的调试。接线分布如图 2-14 (b) 所示；

将动作程序写入舵机控制板后，用键盘上不同的按键对应不同的动作，分别为：按键 1——前进动作，按键 2——左转动作，按键 3——右转动作，按键 4——挥手动作，按键 5——特定动作。供电装置（电池盒）位置安放在机身上部四块挡板间的间隔处，充分利用了空间，避免了机身过于冗余累赘，如图 2-13 (c) 所示。

第三章 四足仿生机器人控制系统设计

3.1 硬件部分介绍

3.1.1 Arduino UNO 控制板介绍

Arduino 是一款便捷灵活、方便上手的开源电子原型平台。包含硬件（各种型号的 Arduino 板）和软件（Arduino IDE）。由一个欧洲开发团队于 2005 年冬季开发。其成员包括 Massimo Banzi、David Cuartielles、Tom Igoe、Gianluca Martino、David Mellis 和 Nicholas Zambetti 等。

它构建于开放原始码 simple I/O 介面版，并且具有使用类似 Java、C 语言的 Processing/Wiring 开发环境。主要包含两个的部分：硬件部分是可以用来做电路连接的 Arduino 电路板；另外一个则是 Arduino IDE，你的计算机中的程序开发环境。你只要在 IDE 中编写程序代码，将程序上传到 Arduino 电路板后，程序便会告诉 Arduino 电路板要做些什么了。

Arduino 能通过各种各样的传感器来感知环境，通过控制灯光、马达和其他的装置来反馈、影响环境。板子上的微控制器可以通过 Arduino 的编程语言来编写程序，编译成二进制文件，烧录进微控制器。对 Arduino 的编程是通过 Arduino 编程语言(基于 Wiring)和 Arduino 开发环境(基于 Processing)来实现的。基于 Arduino 的项目，可以只包含 Arduino，也可以包含 Arduino 和其他一些在 PC 上运行的软件，他们之间进行通信(比如 Flash,Processing, MaxMSP)来实现。



图 3-1 Arduino UNO 控制板

本课程使用的 Arduino 板子为 Arduino Uno 开发板——以 ATmega328 MCU 控制器为基础——具备 14 路数字输入/输出引脚(其中 6 路可用于 PWM 输出)、6

路模拟输入、一个 16MHz 陶瓷谐振器、一个 USB 接口、一个电源插座、一个 ICSP 接头和一个复位按钮。它采用 Atmega16U2 芯片进行 USB 到串行数据的转换。Uno PCB 的最大长度和宽度分别为 2.7 和 2.1 英寸，USB 连接器和电源插座超出了以前的尺寸。4 个螺丝孔让电路板能够附着在表面或外壳上。请注意，数字引脚 7 和 8 之间的距离是 160 密耳（0.16"），不是其他引脚间距（100 密耳）的偶数倍。它包含了组成微控制器的所有结构，同时，只需要一条 USB 数据线连接至电脑。其实物图如图 3-1 所示。

3.1.2 舵机介绍

舵机，是指在自动驾驶仪中操纵飞机舵面（操纵面）转动的一种执行部件。分有：电动舵机，由电动机、传动部件和离合器组成。接受自动驾驶仪的指令信号而工作，当人工驾驶飞机时，由于离合器保持脱开而传动部件不发生作用。液压舵机，由液压作动器和旁通活门组成。当人工驾驶飞机时，旁通活门打开，由于作动器活塞两边的液压互相连通而不妨害人工操纵。此外，还有电动液压舵机，简称“电液舵机”。

本实验使用的是 SG90 9g 模拟舵机，其实物图如图 3-2 所示。给与舵机相应 PWM，舵机就可以运动到指定位置。



图 3-2 SG90 9g 舵机

3.1.3 蜂鸣器介绍

蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器，采用直流电压供电，广泛应用于计算机、打印机、复印机、报警器、电子玩具、汽车电子设备、电话机、定时器等电子产品中作发声器件。蜂鸣器主要分为压电式蜂鸣器和电磁式蜂鸣器两种类型。蜂鸣器在电路中用字母“H”或“HA”（旧标准用“FM”、“ZZG”、“LB”、“JD”等）表示。

本实验使用的是是无缘蜂鸣器。无源蜂鸣器利用电磁感应现象，为音圈接入

交变电流后形成的电磁铁与永磁铁相吸或相斥而推动振膜发声，接入直流电只能持续推动振膜而无法产生声音，只能在接通或断开时产生声音。通过给蜂鸣器相应的直流信号，达到发生的效果。



图 3-3 蜂鸣器

3.1.4 4*4 矩阵键盘介绍

矩阵键盘是单片机外部设备中所使用的排布类似于矩阵的键盘组，由于电路设计时需要更多的外部输入，单独的控制一个按键需要浪费很多的 IO 资源，所以就有了矩阵键盘，常用的矩阵键盘有 4*4 和 8*8,其中用的最多的是 4*4。本实验使用矩阵键盘不同按键实现相应不同功能，其实物图如图 3-4 所示。



图 3-4 4*4 矩阵键盘

3.1.5 16 路舵机控制板介绍

本实验使用 16 路舵机控制板，控制 8 个 SG90 舵机，进行相应的动作，其实物图如图 3-5 所示。

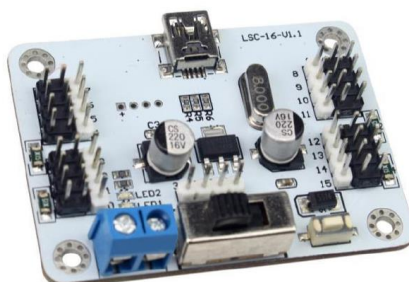


图 3-5 16 路舵机控制板

3.2 控制系统接线表

仿生机器人接有蜂鸣器、键盘等外设设备,同时舵机需要由舵机控制板控制,接线如表 3-1、表 3-2 所示。

表 3-1 舵机控制板接线表

接口引脚	连接引脚	功能
舵机控制板 RXD 口	Arduino 控制板 TXD 口	串口通讯
舵机控制板 TXD 口	Arduino 控制板 RXD 口	串口通讯
舵机控制板 0-13 号引脚组	0-13 号舵机	舵机控制

表 3-2 Arduino 控制板接线表

接口引脚	连接引脚	功能
Arduino 控制板 TXD 口	舵机控制板 RXD 口	串口通信
Arduino 控制板 RXD 口	舵机控制板 TXD 口	串口通信
Arduino 控制板 5-13 口	连接 4*4 矩阵键盘	用于进行键盘操作
Arduino 控制板+5V	连接蜂鸣器 VCC	用于进行蜂鸣器供电

3.3 仿生机器人姿态表

仿生机器人实现了直行、左转、右转、挥手及一些特定动作,通过各个舵机不同角度配合,达到不同姿态的变化以呈现不同的动作,各个动作的姿态参数如表 3-3 至 3-7 所示。在姿态参数表中,参数为上位机中设置控制舵机的参数,其中,参数为 1500 时,舵机位置为 90 度;参数为 500 时,舵机位置为 0 度;参数位置为 2500 时,舵机位置为 180 度;其余参数值与分别与舵机位置相对应。

表 3-3 直行姿态参数表

舵机编号 动作组编号	0 号	1 号	4 号	5 号	8 号	9 号	12 号	13 号
1 号	2000	1500	900	1500	1900	1500	1000	1500
2 号	2000	1000	900	1000	1900	1500	1000	1500
3 号	2000	1000	900	1000	1900	1000	1000	1000
4 号	2000	1500	900	1500	1900	1000	1000	1000
5 号	2000	1500	900	1500	1900	1500	1000	1500

表 3-4 左转姿态参数表

舵机编号 动作组编号	0 号	1 号	4 号	5 号	8 号	9 号	12 号	13 号
1 号	1500	1500	2000	1500	1500	1500	1500	1500
2 号	2000	1500	2000	1500	1500	1500	1500	1500
3 号	2000	1500	2000	1500	1500	1500	2000	1500
4 号	2000	1500	2000	1500	2000	1500	2000	1500
5 号	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

表 3-5 右转姿态参数表

舵机编号 动作组编号	0 号	1 号	4 号	5 号	8 号	9 号	12 号	13 号
1 号	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
2 号	1500	1500	1000	1500	1500	1500	1000	1500
3 号	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500
4 号	1000	1500	1500	1500	1000	1500	1500	1500
5 号	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

表 3-6 挥手姿态参数表

舵机编号 动作组编号	0 号	1 号	4 号	5 号	8 号	9 号	12 号	13 号
1 号	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
2 号	1500	600	1500	600	1500	1500	1500	1500
3 号	1500	600	1500	600	1500	675	1500	1500
4 号	1500	600	1500	600	1500	675	1500	1500
5 号	1500	600	1500	600	800	675	1500	1500
6 号	1500	600	1500	600	2000	675	1500	1500
7 号	1500	600	1500	600	800	675	1500	1500
8 号	1500	600	1500	600	2000	675	1500	1500
9 号	1500	600	1500	600	800	675	1500	1500
10 号	1500	600	1500	600	2000	675	1500	1500
11 号	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500