

世界因你而不同 / 因你而精彩

The world is different because of you / wonderful because of you

基于 Arduino 的四旋翼飞行器 系统设计与制作



朱良谊 吕丹 李宗哲 荆继红 闫江宏 编著

年轻人，听说你要买无人机？
不如自己动手，创造未来！



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

基于 Arduino 的四旋翼飞行器 系统设计与制作

朱良谊 吕丹 李宗哲 荆继红 闫江宏 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是一部关于四旋翼飞行器的科普读物。全书共6章：第1章介绍了四旋翼飞行器的概念、发展史以及四旋翼飞行器的主要优缺点和技术难点，让读者对四旋翼飞行器有初步的了解；第2章重点讲述了Arduino的原理及应用，为学习开源飞控打下基础；第3章介绍了四旋翼飞行器的飞行原理、飞行姿态及滤波算法，为读者制作四旋翼飞行器打下基本的理论基础；第4章介绍了四旋翼飞行器的硬件选择，为读者开展四旋翼飞行器制作做好器材准备；第5章通过讲解一个具体的四旋翼飞行器的制作过程，向读者详细介绍了硬件组装步骤，并且提供了与飞行控制相关的全部源代码，让读者具备制作一架真正属于自己的四旋翼飞行器的实际动手能力；第6章展望了四旋翼飞行器的新技术和未来的发展方向，为读者今后能深入学习四旋翼飞行器提供借鉴。

本书可以作为大学或高中学生开展基于实践的STEAM学习的素材，也可以作为教师开展STEAM教学的教辅。

图书在版编目(CIP)数据

基于Arduino的四旋翼飞行器系统设计与制作 / 朱良谊编著. —西安：西安电子科技大学出版社，2018.9
ISBN 978-7-5606-5159-0

I. ① 基… II. ① 朱… III. ① 旋翼机—程序设计 ② 旋翼机—制作 IV. ① TP368.1 ② V275

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第260965号

策划编辑 戚文艳

责任编辑 文瑞英 雷鸿俊

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 12

字 数 280千字

印 数 1~3000册

定 价 28.00元

ISBN 978-7-5606-5159-0 / TP

XDUP 5461001-1

如有印装问题可调换

前 言

有人说，莱特兄弟(Wright Brothers)一定会对今天的飞行器感到目瞪口呆。事实上，当今的飞行器比以往任何时候都飞得更快更远，更让前人无法想象的是，现在的飞行器甚至在无人驾驶的情况下也可以翱翔蓝天，并为人们提供着各种各样的服务。这意味着——无人机的时代已经来临。

“无人机”的英文缩写为 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)，是利用无线电遥控设备或者自动程序控制飞行的无人飞行器。近年来，无人机的发展可以用迅猛、火爆来形容。这其中最火的当属“四旋翼”无人机，在很多庆典场合中都可以看到大规模的四旋翼无人机的飞行表演。除此之外，在航拍、农业、植保、快递运输、灾难救援、观察野生动物、监控传染病、测绘、新闻报道、电力巡检、救灾、影视拍摄等领域都有四旋翼无人机的身影，各种有关无人机或专业的四旋翼无人机的比赛也方兴未艾。

Arduino 是目前世界上资源最丰富的智能硬件。它是一系列方便灵活、易于上手的开源电子原型平台，不仅工程师能够用其进行快速原型开发，艺术家、设计师以及对各类 DIY 有兴趣的爱好者同样可以用其开展各类有创意的开发。更重要的是 Arduino 是开源的，这就意味着使用该软件不但可以降低开发成本，而且会有很多衍生品可供选择。

DIY(Do It Yourself)的乐趣对于年轻人来说是不言而喻的，在课余做自己喜欢做的事，不亦乐乎。毫无疑问，无人机和 Arduino 碰撞在一起一定能够产生出绚丽多彩的火花，本书就是为这些敢想敢做的年轻人准备的。通过阅读本书，作者希望年轻的读者能够真正体会到 DIY 的乐趣，当你看到自己亲手制作的四旋翼无人机飞向天际的那一刻，那种成功的喜悦必将成为人生中最难忘记忆。

本书是一本介绍 Arduino 四旋翼飞行器的实用图书，全面介绍了四旋翼无人机和 Arduino 的基本知识以及利用这些知识开发自己的飞行器的方法。本书在撰写过程中，尽量避免深奥的原理说教，先介绍了一些必备的基础知识，然后详细讲解了制作四旋翼飞行器的步骤，并向读者提供了完整的程序代码，让没有电子制作或编程基础的读者也能够看得懂、学得会、做得出。因此，希望读者能够喜欢这本书，希望年轻的 DIY 爱好者能够在本书的帮助下，用自己的双手放飞翱翔蓝天的梦想。

作 者

2018 年 7 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 四旋翼飞行器简介.....	1
1.1.1 四旋翼飞行器的概念.....	1
1.1.2 四旋翼飞行器的发展史.....	1
1.2 四旋翼飞行器的主要优缺点和技术难点.....	3
1.2.1 四旋翼飞行器的主要优缺点.....	3
1.2.2 四旋翼飞行器的技术难点.....	4
思考题.....	5
第 2 章 Arduino 的原理及应用.....	6
2.1 开源飞控.....	6
2.2 初识 Arduino.....	7
2.2.1 Arduino 简介.....	8
2.2.2 Arduino 的不同版本.....	10
2.3 Arduino 开发环境搭建.....	14
2.3.1 IDE 环境介绍.....	14
2.3.2 Arduino 驱动安装.....	17
2.3.3 实现 Hello Arduino.....	19
2.4 Arduino 编程基础.....	22
2.4.1 程序结构.....	22
2.4.2 控制语句.....	23
2.4.3 相关语法.....	30
2.4.4 算术运算.....	32
2.4.5 比较运算.....	34
2.4.6 布尔运算.....	35
2.4.7 指针运算.....	36
2.4.8 位运算.....	36
2.4.9 复合运算符.....	40
2.4.10 常量与变量.....	41
2.5 Arduino 的基本函数.....	56
2.5.1 数字 I/O 函数.....	57
2.5.2 模拟 I/O 函数.....	59
2.5.3 高级 I/O 函数.....	61
2.5.4 时间函数.....	65

2.5.5	几个基本的数学运算函数.....	67
2.5.6	三角函数	70
2.5.7	随机数函数	71
2.5.8	位操作函数	72
2.5.9	设置中断函数	74
2.5.10	开关中断函数	75
2.6	Arduino 硬件平台	76
2.6.1	Arduino Uno R3 的硬件原理.....	76
2.6.2	数字输入	79
2.6.3	数字输出	81
2.6.4	模拟输入	82
2.6.5	模拟输出	84
2.6.6	串口输入	87
2.6.7	串口输出	88
2.6.8	Arduino Pro Mini.....	90
	思考题	93
第 3 章	四旋翼飞行器的飞行原理、飞行姿态及滤波算法.....	94
3.1	四旋翼飞行器的结构和飞行原理.....	94
3.1.1	结构形式	94
3.1.2	飞行原理	94
3.2	四旋翼飞行器姿态的表示和运算.....	97
3.2.1	坐标系统的建立	97
3.2.2	四旋翼飞行器飞行姿态的表示和换算.....	99
3.3	滤波算法以及修正融合	101
3.3.1	互补滤波和梯度下降算法.....	102
3.3.2	卡尔曼滤波	110
3.4	PID 控制算法.....	113
3.4.1	四旋翼飞行器的控制原理.....	113
3.4.2	PID 控制理论.....	114
3.4.3	四轴 PID 控制——单环	116
3.4.4	四轴 PID 控制——串级	118
	思考题	119
第 4 章	四旋翼飞行器的硬件选择	120
4.1	四旋翼飞行器的类型	120
4.2	主要部件的选择	121
4.2.1	遥控器	121
4.2.2	飞行控制器	123

4.2.3 机架	125
4.2.4 电机	126
4.2.5 桨叶	126
4.2.6 电调	127
4.2.7 电池	127
4.2.8 充电器	128
思考题	129
第 5 章 基于 Arduino Uno 的四旋翼飞行器的制作	130
5.1 选用的核心硬件介绍	130
5.2 硬件主要的组装步骤	132
5.3 软件源代码	137
5.3.1 Arduino 四旋翼飞行器初始化源代码	137
5.3.2 Arduino 四旋翼飞行器的飞控源代码	160
5.3.3 Arduino 四旋翼飞行器的 ESC 校正源代码	176
思考题	181
第 6 章 四旋翼飞行器未来的发展与展望	182
思考题	183
参考文献	184



了惊人的成功。1922 年该设计取得了美国专利。

Ethenne Oehmichen 于 1920 年开始设计多旋翼设计，第一次试飞失败，经过重新设计之后，1921 年 2 月 18 日他首次成功搭乘直升机。1923 年他突破了当时直升机领域的世界纪录：该直升机首次实现了 14 分钟的飞行时间。

1956 年，M.K.Adman 设计的第一架真正的四旋翼飞行器 Convertawings Model A 在试飞时取得了巨大成功。这架飞机重达 1 吨，依靠两个 90 马力的发动机实现悬停和机动。

在 20 世纪 50 年代，美国陆军继续测试各种垂直起降方案。1958 年，两架 VZ-7 原型机交付给美国陆军。该飞机在试验期间表现良好，但是由于它未能达到军方对高度和速度的要求，因此 VZ-7 于 1960 年退役并被返回给制造商。

在此之后的数十年中，四旋翼垂直起降机没有什么大的进展，四旋翼飞行器的发展几乎停滞。20 世纪 90 年代之前，惯性导航系统还是十几公斤重的“大铁疙瘩”。直至 90 年代初随着微机电系统(MEMS)研究的成熟，只有几克重的 MEMS 惯性导航系统才被制造了出来，这意味着能供多旋翼飞行器使用的微型自动控制器可以实现了。但是由于 MEMS 传感器处理数据时的噪音影响很大，且数据不能被直接读出来使用，于是人们又花了几年的时间研究去除 MEMS 噪声的各种数学算法。由于这些算法以及自动控制器本身通常需要速度比较快的单片机来运行，于是人们又等了几年，等速度比较快的单片机诞生，接着人们又花了若干年的时间理解多旋翼飞行器的非线性系统结构，给它建模、设计控制算法、实现控制算法。直到 2005 年左右，真正稳定的多旋翼无人机自动控制器才被制造了出来。

近些年来，随着微系统、传感器以及控制理论、四旋翼垂直起降机制理论等技术的发展，四旋翼垂直起降机再度引起人们极大的兴趣。研究集中在小型或微型四旋翼飞行器的结构、飞行控制以及能源动力等方面。产品方面，德国 Microdrones GmbH 于 2005 年成立，2006 年推出了 Md4-200 四旋翼无人机，2010 年推出了 Md4-1000 四旋翼无人机系统。同年，德国人 H. Buss 和 I. Busker 主导了一个四轴开源项目 Mikrokopter。美国 Draganflyer 公司在 2004 年推出了 Draganflyer IV 四旋翼无人机，并随后在 2008 年推出了工业级的多旋翼无人机 Draganflyer X6。中国的大疆、零度等无人机公司也蓬勃发展，占领了国内外很大的四旋翼无人机市场份额。在学术方面，越来越多的学术研究人员开始研究多旋翼，并且自己搭建四旋翼无人机，验证算法，特别是姿态控制算法，还有个别研究者基于商业四旋翼+动作捕捉系统开发验证环境。四旋翼无人机的爆发式的发展也得到了学术界权威杂志——《自然》的关注。

从四旋翼无人机在国内的发展看，自 2012 年底大疆公司推出四旋翼一体机——小精灵 Phantom(见图 1-2)后，因该产品极大地降低了航拍的难度和成本，获得了广大消费群体的认可，成为迄今为止最热销的产品。之后短短两年间，围绕着多旋翼飞行器相关创意、技术、产品、应用和投资等新闻层出不穷。目前，多旋翼飞行器已经成为微型无人机或航模的主流。比如在 2015 年闭幕的中国国际模型博览会和农业展览会上，随处可见多旋翼飞行器的身影。随着大疆、零度等国内顶尖无人机公司产品的走

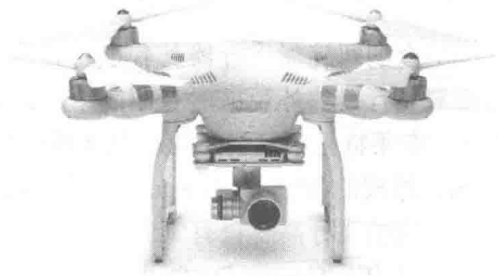


图 1-2 大疆小精灵航拍四旋翼无人机



热,各种相关技术的不断进步,开源飞控社区的推动,专业人才的不断加入,以及资本的投入等,多旋翼技术得到了迅猛的发展。

1.2 四旋翼飞行器的主要优缺点和技术难点

1.2.1 四旋翼飞行器的主要优缺点

四旋翼飞行器是典型的多旋翼控制系统,它的控制完全由四个无刷电机的转速变化实现。四旋翼飞行器的输入功率、电机转速、旋翼升力、机体角加速度之间的关系很简单,对整架飞机的动力学建模简洁又精确,哪怕是简单的PID(负反馈)控制也可以极大地减少操纵者的负担,并且其机械结构非常简单,按指令实现的动作也没有误差。而传统直升机的周期距控制机械结构极其复杂,误差较大,周期距与机体角加速度之间的关系复杂,要考虑旋翼与尾旋翼的转动惯量、旋翼变形、前进时迎风侧旋翼与顺风侧旋翼升力差引起的偏航等因素。因此,总的来说,四旋翼飞行器具有多旋翼飞行器普遍具备的以下几个优点:

(1) 在操控性方面,四旋翼飞行器的操控最简单。

四旋翼飞行器不需要跑道便可以垂直起降,起飞后可在空中悬停。它的操控原理简单,操控器的四个遥感操作对应飞行器的前后、左右、上下和偏航方向的运动。在自动驾驶仪方面,多旋翼自动驾驶仪控制方法简单,控制器参数调节也很简单。相对而言,学习固定翼飞行器和直升机的飞行不是简单的事情。固定翼飞行器的飞行场地要求开阔,而直升机飞行过程中会产生通道间耦合,自动驾驶仪控制器设计困难,控制器调节也很困难。

(2) 在可靠性方面,四旋翼飞行器的表现最出色。

若仅考虑机械的可靠性,多旋翼飞行器没有活动部件,它的可靠性基本上取决于无刷电机的可靠性,因此可靠性较高。相比较而言,固定翼飞行器和直升机有活动的机械连接部件,飞行过程中会产生磨损,导致可靠性下降。而且多旋翼飞行器能够悬停,飞行范围受控,相对于固定翼飞行器更安全。

(3) 在勤务性方面,四旋翼飞行器的勤务性最高。

四旋翼飞行器的结构简单,若电机、电子调速器、电池、桨和机架损坏,很容易替换。而固定翼飞行器和直升机零件比较多,安装也需要技巧,维修相对比较麻烦。

但四旋翼飞行器也有其自身的不足,比如在承载性能方面,四旋翼弱于固定翼,并且它是通过螺旋桨速度的及时改变来调整力和力矩从而控制其他运动的,这种方式并不适宜推广到更大尺寸的四旋翼飞行器。

四旋翼飞行器的缺点主要有以下几点:

(1) 桨叶尺寸越大越难迅速改变其速度。

正是因为如此,直升机主要是靠改变桨距而不是速度来改变升力的。

(2) 在大载重下,螺旋桨的刚性需要进一步提高。

螺旋桨的上下振动很容易导致刚性大的桨折断,这与我们平时来回折铁丝便可将铁丝折断同理。因此,桨叶的柔性是很重要的,它可以减少桨叶来回旋转对桨叶根部的影响。为了减少桨叶的疲劳,直升机采用了一个容许桨叶在旋转过程中上下运动的铰链。如果要



提供大载重，多旋翼飞行器也需要增加活动部件或加入涵道和整流片。这相当于一个多旋翼飞行器含有多个直升机结构。这样多旋翼飞行器的可靠性和维护性就会急剧下降，优势也就不那么明显了。当然，另一种增加多旋翼飞行器载重能力的可行方案便是增加桨叶数量，增至 18 个或 32 个桨。但该方式会极大地降低可靠性、维护性和续航性。种种原因使人们最终选择了小型多旋翼飞行器。

(3) 在续航性能方面，四旋翼飞行器的表现也明显弱于固定翼飞行器，其能量转换效率低下。

目前解决多旋翼飞行器的续航问题，主要有以下四种方式：

① **新型电池**：比如最近风头正热的氢燃料电池，国内外已经有公司进行投入使用，2015 年，来自加拿大蒙特利尔 EnergyOr 技术有限公司采用燃料电池的四旋翼飞行器进行了 2 小时 12 分钟续航飞行。此外，石墨烯、铝空气、纳米点这三项电池技术将成为未来电池世界的三大奇兵。如果这些新兴材料能运用到多旋翼飞行器上，则可以使其续航能力有一个大的提升。

② **混合动力**：2015 年，美国初创公司 Top Flight Technologies 开发出混合动力六旋翼无人机。它仅需要 1 加仑(约合 3.78 升)汽油便可以飞行两个半小时(可飞行约 160 公里)，最高负重达 9 kg。

③ **地面供电**：通过电缆将电能源源不断输送给多旋翼飞行器，目前多用于大型集会时的安防无人机供电，例如 Skysapience 公司生产的 Hoverlite。

④ **无线充电**：来自德国柏林的初创公司 SkySense 在无人机户外充电方面提供了一种解决方案，他们研发出一块可以为无人机进行无线充电的平板。如果能够缩短充电时间，那么无线充电技术将会极大地帮助多旋翼飞行器进行长途飞行。

对于常见的固定翼、直升机以及多旋翼三种飞行器而言，操控性与飞机结构、飞行原理相关，这是很难改变的。而在可靠性和勤务性方面，多旋翼始终具备优势。随着电池能量密度的不断提升、材料的轻型化和机载设备的不断小型化，多旋翼的优势将进一步凸显。因此，在大众市场，“刚性”体验最终让人们选择了多旋翼。

1.2.2 四旋翼飞行器的技术难点

虽然国际上对四旋翼无人机的研究已经取得了丰硕的成果，并已大量投入商业应用。但是，作为开发制作人员，还应研究四旋翼本身的机械结构及控制系统，目前在研究过程中还存在以下一些技术难点。

(1) 在飞行过程中四旋翼飞行器不但受到本身软硬件、机体结构等因素的影响，还容易受到气流等外部因素的干扰。比如驱动四个旋翼的电机产生的振动和干扰，使得加速度计的数据变化剧烈，并含有大量振动噪声；电机产生的磁场会干扰电子罗盘模块的测量数据。

(2) 四旋翼飞行器空间上具有 6 个自由度，有 4 个控制输入。其控制的变量多、传感器多、数据量大、算法复杂、运算量大和干扰大的特性，使得飞行控制系统的软件也比一般直升机复杂得多。

(3) 四旋翼飞行器的主要的姿态传感器——陀螺仪传感器的输出比较缓慢，时间一长就会产生较大的累积误差，而且还有温度漂移，利用陀螺仪进行物体姿态检测需要考虑到



累积误差的消除。加速度计的敏感性、变化速度快使得加速度计在飞行过程中采集到的数据带有大量的噪声(主要是由振动产生的)。因此在四旋翼飞行器的飞行姿态控制系统中,必须将陀螺仪和加速度计的数据通过数据滤波算法进行融合和滤除噪声干扰,以此来得到正确的姿态数据。

此外,随着四旋翼飞行器的应用领域不断扩大,人们对它的要求也越来越高,因此在许多技术层面迎来了新的挑战。为了适应未来需求的发展,目前国际上对四旋翼飞行器的研究主要针对以下技术难点进行突破:

- (1) 大载荷;
- (2) 自主飞行;
- (3) 智能传感器技术;
- (4) 自主控制技术;
- (5) 多机编队协同控制技术;
- (6) 微型化。

思 考 题

1. 四旋翼飞行器的结构布局有什么特点?为什么要这样布局?
2. 四旋翼飞行器的主要优点有哪些?
3. 多旋翼飞行器为什么多为小型飞行器?
4. 四旋翼飞行器的主要技术难点有哪些?



第 2 章 Arduino 的原理及应用

在纷繁复杂的无人机产品中，四旋翼飞行器以其结构简单、使用方便、成本低廉等优势，最先进入了大众的视线。但是，这种飞行器对飞行控制能力的要求是最高的，因此它刺激了大批基于 MEMS 传感器的开源飞控的出现。

2.1 开源飞控

开源(Open Source)的概念最早被应用于开源软件，开放源代码促进会(Open Source Initiative)用以描述那些源码可以被公众使用的软件，并且这类软件的使用、修改和发行也不受许可证的限制。图 2-1 是开放源代码促进会主页。



图 2-1 开放源代码促进会的主页

每一个开源项目均拥有自己的论坛，由团队或个人进行管理。论坛定期发布开源代码，对此感兴趣的程序员都可以下载这些代码，并对其进行修改，然后上传自己的成果。管理者从众多的修改中选择合适的代码改进程序并再次发布新版本。如此循环，形成“共同开发、共同分享”的良性开发模式。



开源软件的发展逐渐与硬件相结合,产生了开源硬件。图 2-2 是开源硬件协会的主页。因此,生产在开源硬件(OSHW)许可下的品目(产品)的个人和公司有义务明确该产品没有在原设计者核准前被生产、销售和授权,并且没有使用任何原设计者拥有的商标。硬件设计的源代码的特定格式可以被其他人获取,以便对其进行修改。在实现技术自由的同时,开源硬件提供知识共享并鼓励硬件设计,开放交流贸易。



图 2-2 开源硬件协会主页

开源硬件(OSHW)最初的定义是在软件开源定义基础上产生的。该定义是由 Bruce Perens 和 Debian 的开发者作为 Debian 自由软件方针而创建的。

了解了开源硬件的概念,开源飞控的概念也就比较容易理解了。所谓开源飞控就是建立在开源思想基础上的自动飞行控制器项目(Open Source Auto Pilot),其中同时包含开源软件和开源硬件,软件中又包含飞控硬件中的固件和地面站软件两部分。爱好者不但可以参与软件的研发,也可以参与硬件的研发,不但可以购买硬件来开发软件,也可以自制硬件,这样便可让更多人自由享受该项目的开发成果。

开源项目的使用具有商业性,所以每个开源飞控项目都会给出官方的法律条款以界定开发者和使用者权利,不同的开源飞控对其法律界定都有所不同。

2.2 初识 Arduino

要谈开源飞控的发展就必须从著名的开源硬件项目 Arduino 谈起。



Arduino 是最早的开源飞控平台，于 2005 年在意大利交互设计学院合作开发而成。Arduino 为电子开发爱好者搭建了一个灵活的开源硬件平台和开发环境，用户可以从 Arduino 官方网站获取硬件的设计文档，通过调整电路板及元件，使其符合自己的实际设计的需要。图 2-3 是 Arduino UNO R3 开发板。

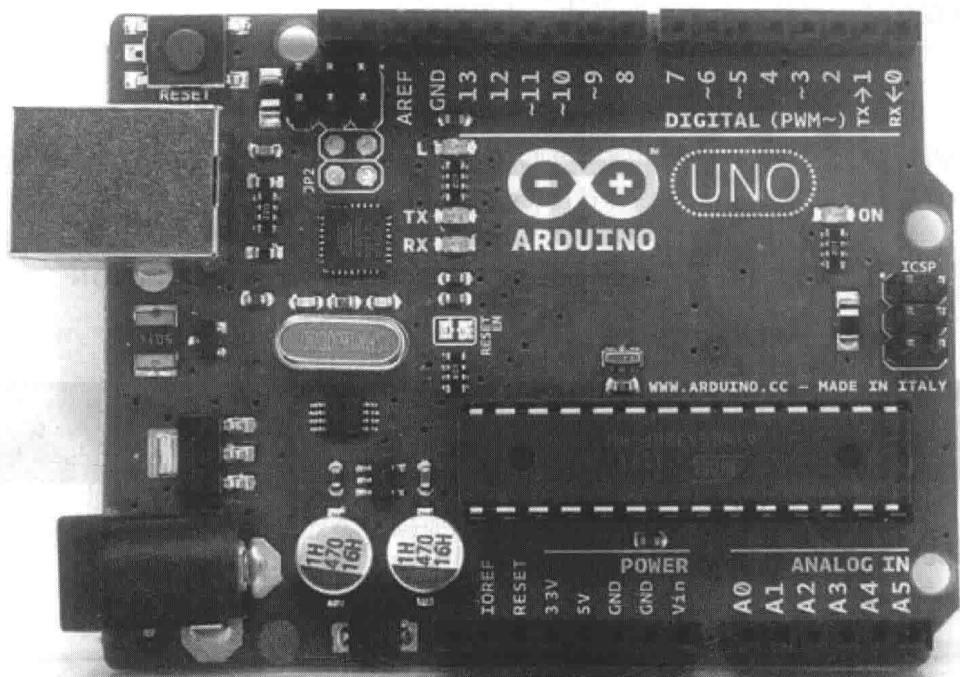


图 2-3 Arduino Uno R3 开发板

Arduino 用户可以通过配套的 Arduino IDE 软件查看源代码并上传自己编写的代码。Arduino IDE 使用的是基于 C 语言和 C++ 的 Arduino 语言，非常容易掌握，并且 Arduino IDE 可以在 Windows、Macintosh OSX 和 Linux 三大主流操作系统上运行。

随着 Arduino 平台逐渐被爱好者所接受，各种功能的电子扩展模块层出不穷，其中最为复杂的便是集成了 MEMS 传感器的飞行控制器。为了得到更好的飞控设计源代码，Arduino 公司决定开放其飞控源代码，由此开启了开源飞控新的发展道路，著名的开源飞控 MWC 和 APM 都是 Arduino 飞控的直接衍生产品，至今仍然使用 Arduino 开发环境进行开发。目前，包括 MultiWii、APM/ACM、MegaPirates 等基于 Arduino 的“飞控系统”都是飞行器爱好者喜欢的工具。

2.2.1 Arduino 简介

Arduino 的核心开发团队成员包括：Massimo Banzi、David Cuartielles、Tom Igoe、Gianluca Martino、David Mellis 和 Nicholas Zambetti。Massimo Banzi 之前是意大利 Ivrea 一家高科技设计学校的老师。他的学生们经常抱怨找不到便宜好用的微控制器。2005 年冬天，Massimo Banzi 跟 David Cuartielles 讨论了这个问题。David Cuartielles 是一名西班牙籍芯片工程师，当时在这所学校做访问学者。两人决定设计自己的电路板，并邀请 Banzi 的学生



David Mellis 为电路板设计编程语言。两天以后, David Mellis 就写出了代码。又过了三天, 电路板就完工了。这块电路板被命名为 Arduino。图 2-5 为 Arduino Uno 板。



图 2-4 Arduino 核心开发团队成员

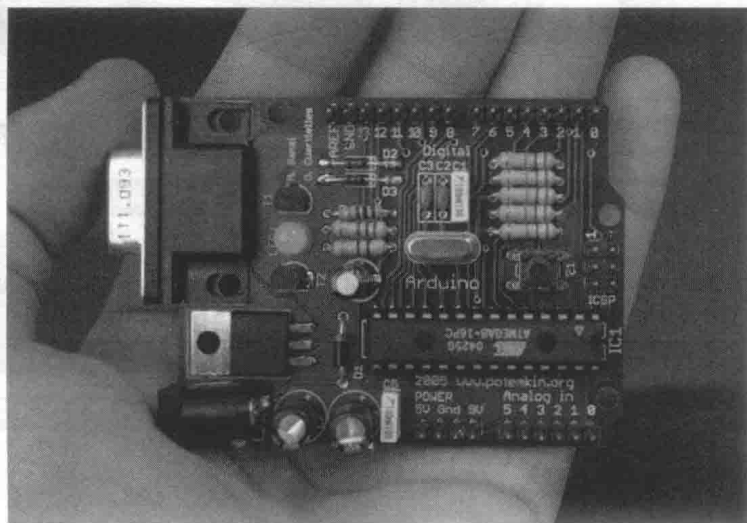


图 2-5 Arduino Uno 板

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)。它适合艺术家、设计师、爱好者和对于“互动”有兴趣的朋友们。

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。它可以快速地与 Adobe Flash、Processing、Max/MSP、Pure Data、SuperCollider 等软件结合, 产生互动作品。Arduino 也可以独立运行。板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 的编程是利用 Arduino 编程语言(基于 Wiring)和 Arduino 开发环境(Based on 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，它们之间的运行通过通信(比如 Flash、Processing、MaxMSP)来实现。Arduino 的 IDE 界面基于开放源代码，可以免费下载使用，可以开发出更多令人惊艳的互动作品。

开发者可以自己动手制作，也可以购买成品套装；Arduino 使用的软件都可以免费下载。硬件参考设计(CAD 文件)也是遵循 available open-source 协议的，开发者可以非常自由地根据自己的要求去修改它们。

2.2.2 Arduino 的不同版本

Arduino 家族的产品系列非常丰富，仅其官方组织就针对不同用户和不同的应用领域，开发出了几十种不同的版本，如图 2-6 所示。

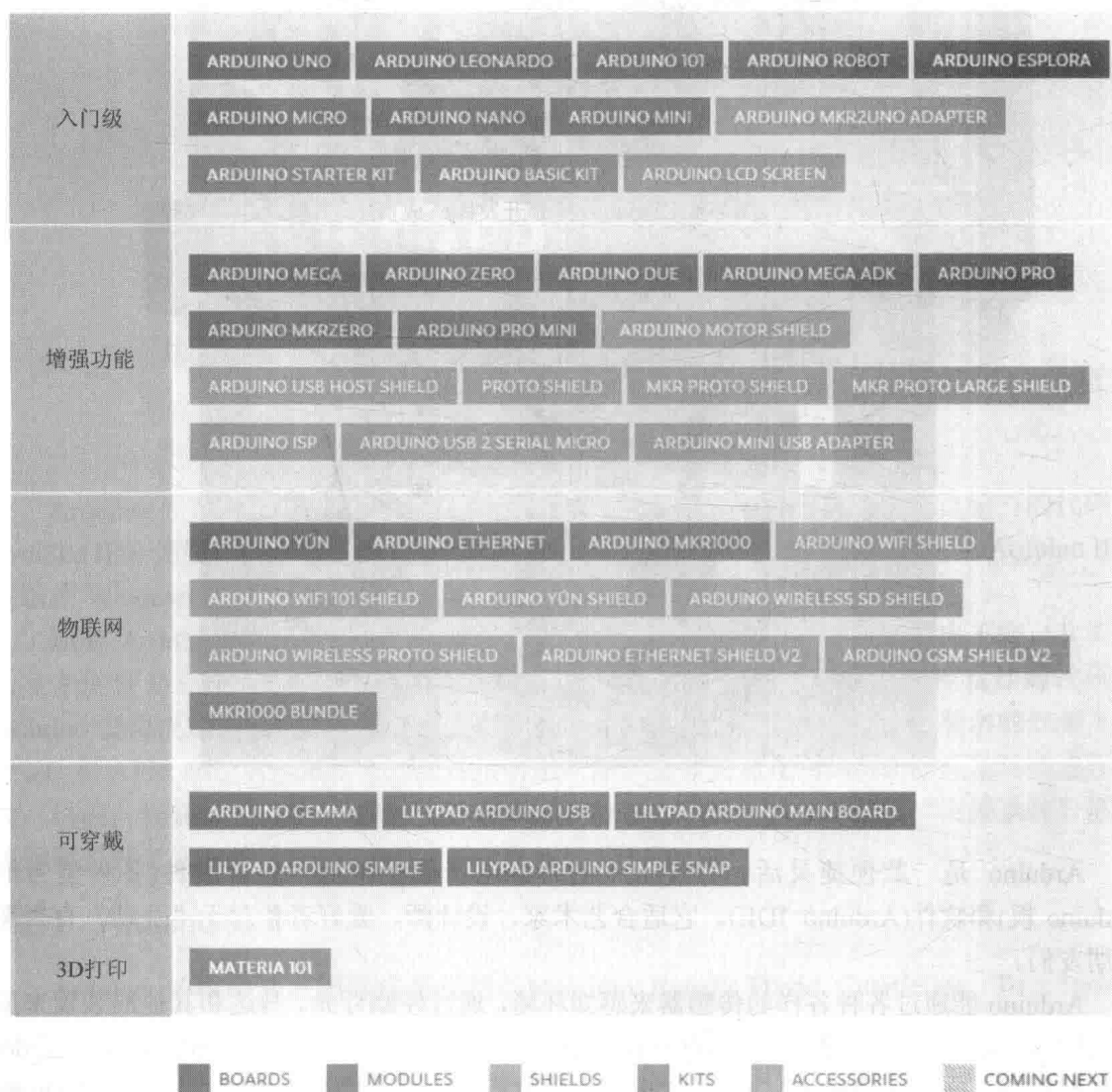


图 2-6 Arduino 家族系列版本



从图 2-6 我们可以看到, Arduino 产品家族存在着好几个系列, 每个系列都针对不同的用户需求。例如针对入门须用户, 其系列如图 2-7 所示。初学者可以用这个系列的板子学习 Arduino, 并且由简单到复杂, 用它制作出功能丰富、富有创意的电子产品。这个系列的产品是入门者的首选。

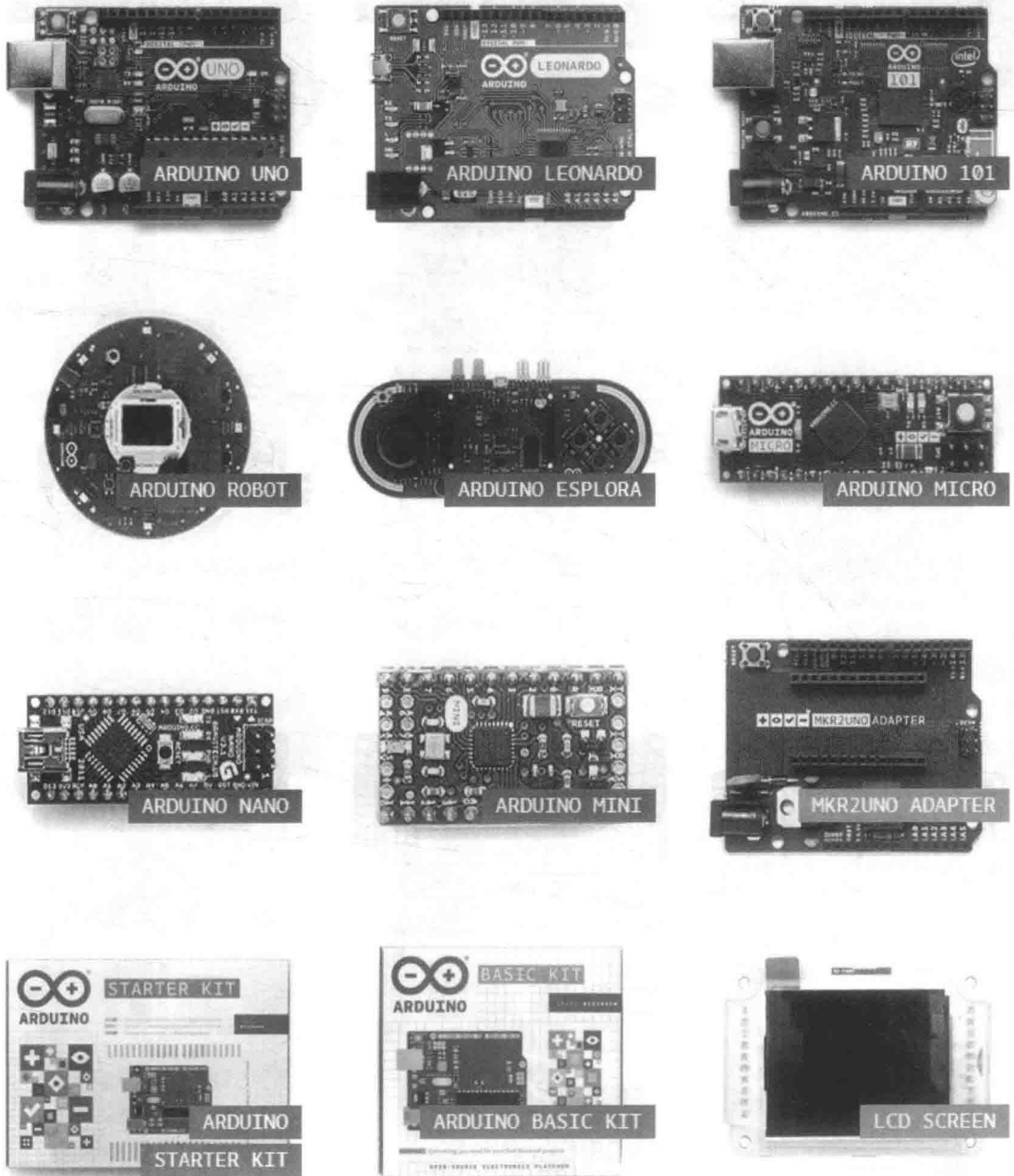


图 2-7 Arduino 入门级系列

对于开发经验更加丰富, 想开发功能更加复杂产品的用户, 可选用 Arduino Enhanced Features, 即增强系列的产品, 如图 2-8 所示。