



城堡里学 无人机

原理、系统与实现

杨 浩 / 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

城堡里学无人机： 原理、系统与实现

杨 浩 编著



机械工业出版社

本书是一本关于无人机概念、原理、系统与实现的参考书，共分三篇，七个章节。主要内容有：无人机的故事、无人机的类型和控制方式、无人机的软硬件系统、无人机行业应用、以及学习无人机所需的基础技能和各种共享资源等相关知识。本书着重阐释了无人机行业、市场、读者职业三者之间的相互关系，并结合无人机实际应用和制作指导为读者提供进入无人机领域的各项知识，将实用性、趣味性、理论性充分融合，可以帮助读者尽快跨入无人机的世界。

本书的主要读者是无人机领域的爱好者、从业者和其他行业的无人机应用者或有意应用无人机的那些读者，相关院校和专业的师生也可将此书当作培训教材或辅导教材使用。

图书在版编目（CIP）数据

城堡里学无人机：原理、系统与实现/杨浩编著. —北京：机械工业出版社，2017.9

ISBN 978-7-111-57554-2

I. ①城… II. ①杨… III. ①无人驾驶飞机—基本知识 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 181908 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：丁 诚 责任编辑：丁 诚

责任校对：丁 诚 责任印制：李 飞

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·252 千字

0001—3500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-57554-2

定价：59.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

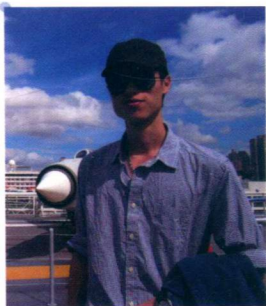
机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com



本书作者

杨浩，华南理工大学控制理论与控制工程专业无人机方向在读博士，具备较丰富的无人机技术知识及实现经验，具备多应用领域、多类型无人机机型设计，硬件、算法系统研发等项目经验及相关无人机企业顾问经验。著有《从刻漏到无人机：摘下控制学理论与工程的面具》一书，并以“无人机中的城堡”为ID活跃于知乎平台，通过专栏写作、活动演讲、平台公开课等形式分享无人机技术、市场、发展等知识。

无人机在线学习平台、无人机职业飞手社群：
无人机世界（公号uavwww）推荐



序 言

大家好，“无人机中的城堡”是我的笔名，朋友都习惯直接称呼我“城堡”或“MR. 城堡”。我现在广州某大学攻读控制理论与控制工程专业的博士学位，研究方向是无人机控制器设计。平日里，我的主要时间都花在学习和项目上，但一有时间就会在同名知乎专栏与微信公众号中跟大家分享、讨论无人机领域的知识和观点。

在我并不短暂的教育经历中，理论与实践总是被人为分割开，无人机领域也是如此。有些书籍会像教科书一样给出无人机系统在某一学科中的各种公式、定理。还有一些书籍则侧重于小型无人机，特别是四旋翼机型的组装与搭建。但很多问题依然没有得到解答：这些理论在实际系统中是如何应用的？这些公式和实际无人机有着怎样的联系？这样搭建的系统为什么可以运行？为什么可以用这样的方式实现自动控制？等等。从某种意义上而言，对这些问题的忽视造成了理论与实际间的鸿沟。

在我眼中，无人机是一个由各种理论和硬件相互支撑的实际系统，在这个系统中看似枯燥的数学和物理知识发挥了实实在在的作用，而这些又与我们的生活紧密相连。为什么不写一本书和大家一起感受理论知识与工程实践的紧密联系，并把这种联系带入到我们对无人机或日常工作、生活的理解，以及学习、实践中呢？这正是本书创作的初衷。

希望本书能够帮助读者不只在无人机领域，而是在各行各业中建立起理论与实际系统关系的感触，并通过这种感触来弥合理论与实际间的鸿沟。

感谢读者们的支持与帮助，很多读者通过城堡的专栏和公众号、邮箱、微信等提出了宝贵的建议，从某种意义上来说，这本书是由热心读者与我共同完成的。感谢机械工业出版社丁诚编辑和其他工作人员的付出，本书选材、编辑、校对、印刷等所有环节中都留下了他们辛劳的痕迹。此外感谢远在美国，热爱工作和生活的鸭子哥-王言（知乎 ID: grapeot），他常常利用业余时间游历北美名山大川，为本书封面中提供了高质量图片素材：DJI 便携无人机 Mavic 平面图；樱花盛开的华盛顿大学全景航拍图。最后感谢一直在城堡背后默默付出的妻子，每一次因为工作而看着你睡去时，我心里都充满了愧疚。你的笑容与理解、包容、支持一直是我的不竭动力。

目 录

序 言

第一篇 热 身

第一章 关于本书	2
1.1 一本不仅关于无人机的书	2
1.2 内容的核心是问题	3
1.3 章节介绍	4
1.4 如何使用本书	4
第二章 我与无人机	5
2.1 无人机和哪些职业有关?	5
2.2 这些职业能从无人机获得什么?	6

第二篇 认识无人机

第三章 无人机的故事	14
3.1 什么是无人机	15
3.2 无人机的昨天	15
3.3 数据视角理解当下的无人机	21
第四章 不同类型的无人机与控制方式	27
4.1 固定翼型无人机	27
4.2 直升机型无人机	33
4.3 多旋翼无人机	38
4.4 涵道型无人机	45
4.5 自转旋翼机	50

第三篇 了解无人机

第五章 走入无人机系统	57
5.1 无人机硬件系统结构	58
5.2 飞行控制系统	61
5.3 控制器模块	66
5.4 反馈模块	69
5.5 动力系统	81
5.6 机身	86
5.7 有效负载系统	94
5.8 地面系统	95

5.9 能量单元	97
5.10 设计举例	106
第六章 深入无人机系统	110
6.1 玩转坐标系	111
6.2 坐标系间的数据转换	114
6.3 无人机姿态	117
6.4 多旋翼无人机数学模型	120
6.5 控制的基础概念	128
6.6 无人机控制的算法实现	131
第七章 建议与资源详解	135
7.1 付出与积累	135
7.2 技术与焦虑	137
7.3 工作与生活	139
7.4 基础技能	140
7.5 实用资源	142
结束语	145
附录 词汇表	146
参考文献	150

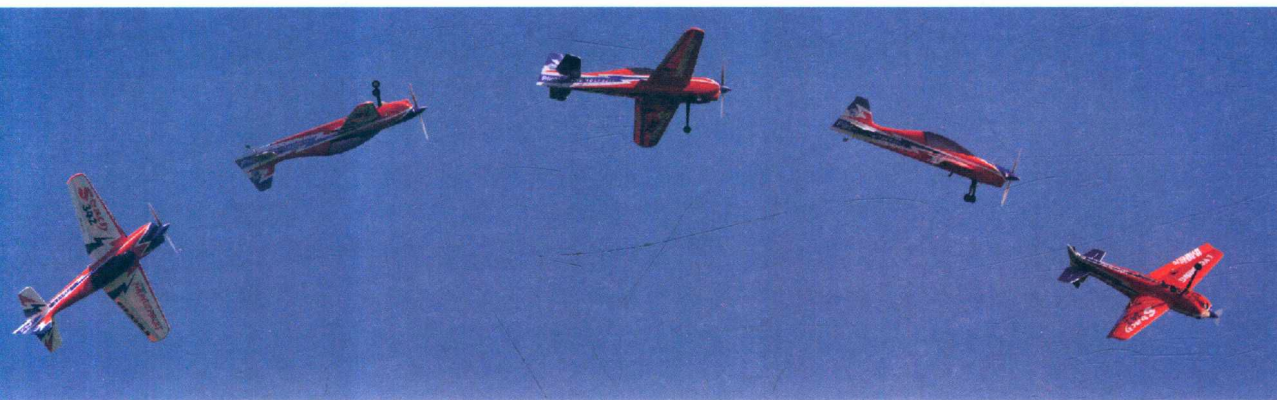
第一篇

热身

“在正式训练前，我们先进行一些热身活动”，这是城堡以前的篮球教练在训练开始时总会强调的内容。拉伸，慢跑，体转……由于它并不能直接提高篮球技能，仅仅能提高效率，降低受伤风险，被我认为既是枯燥又无用的，所以每次训练前的热身活动总是懒懒散散地完成。态度一旦形成习惯就会一直在我们的生命中发挥作用，直到一些“莫名其妙”的伤痛把你打醒，才能让人稍稍收敛。城堡不注意运动前热身的习惯一直延续到高中，直到在一次篮球比赛里扭断了前交叉韧带。

有时我们太急于获取眼前的收益，很容易甚至很愿意忽视一些从长远来讲更有价值的内容。相信各位读者在看到本书时一定带着热切的期盼想尽快走入无人机的世界，掌握各种技能，学习尽可能多的理论。然而本书将用整整一篇来回答下列问题：这是一本什么样的书？这一本书中有哪些内容？如何使用本书？无人机和我有什么关系？

读者可以跳过本篇，进入与无人机直接相关的章节开始阅读，然而作者还是建议大家读完本篇内容之后再进入后续章节。虽然这部分预备内容正如同运动前的热身活动一样，功能仅仅是提高效率，降低风险，但这已经足够重要了。



第一章

关于本书

1.1 一本不仅关于无人机的书

2012年城堡在美国端盘子，美国餐厅里的服务员是与餐桌挂钩的，菜鸟员工一般只负责一两张桌子，老员工或能力强的服务员会被指派负责更多的餐桌，负责餐桌的数量将直接决定收入的多少。因为美国服务员的收入中仅有一小部分来自于餐厅定期支付的时薪，绝大部分来自于顾客的小费。城堡对这份工作是有期盼的，去餐厅打工希望收入至少能抵消日常花费，最好可以有富余给家人和女友买些礼物，因此这份工作的目标从一开始就非常明确：钱。这必须通过负责更多的餐桌，调到更好的工作时间，接待更多的顾客才能实现。

然而城堡的第一份工作竟然是给老员工整理餐桌……这和增加收入没有任何直接关系啊！而且这份工作是如此枯燥乏味：收拾客户吃剩的盘子，擦桌子，摆配料，摆餐具……也许是看到我的工作状态不好，也许只是无意之中，一位同事——大卫，在休息时间走过来对我说：“Yorx（城堡的英文名），你知道这份工作对我而言，最大的吸引力在哪里么？”这个突如其来的问题让我有些不知所措“呃，收入？”“不，我最喜欢能够布置自己的餐桌，你看，虽然这个餐厅不是我的，但是有四张我专门负责的桌子，它们就是我的领地，我的地盘，我就是这四张桌子的……呃，老板（我怀疑他最初是想用‘国王’这个词），我能够把它们布置得很好，然后看着顾客开心地用餐，没有人能在这里对我指手画脚，就是经理也不能。”他说到这里时声音异常洪亮，经理办公室里的人一定听得清清楚楚，“当然，如果搞得不好，破产的也是我，但这正是最有趣的地方，不是吗？”。

大卫的一席话给我带来了许多思考，我开始关注对自己“领地”的照顾，开始注意不同文化的交流方式，开始了解美国餐厅的管理模式，开始与同事们一起出去聚会，享受生活。

我开始理解到同样的一件事情能够获得不同的收益，而这不同之处完全取决于我们对待它的态度，这样的观点让年轻时的我兴奋不已，似乎每一件小事都变为一座宝山，好的寻宝者总能获取更多的收获。

本书是一本关于无人机的书，但希望能够给大家带来的收获不仅仅停留在无人机的范畴，有多少读者的工作与无人机直接相关呢？有多少读者每天都在使用无人机呢？城堡相信不会很多。但是我们每天都会使用与无人机相关的各种知识：物理公式、数学公式、软件程序、算法实现、硬件系统设计等。这些抽象的内容在课本中让我们摸不到头脑，这些公式在实际产品中是如何使用的呢？这些算法对于机器人系统有什么重要作用呢？这些用数学符号拼凑起来的文字如何在工程中实现呢？现在我们有了一架看得见摸得着的无人机，在这个实际的系统中各种力与力矩的公式每时每刻都在发生作用，各种控制算法都通过程序写进了芯片中，并真实地控制着它进行定点飞行、轨迹跟踪、目标识别等等。这些有用的知识都将通过无人

机呈现在我们的面前。

任何一个行业都在不断变化，无人机行业也是如此，新的硬件，新的技术，新的算法，新的实现方式，新的产品模式总会层出不穷，如果我们的收获仅仅停留在当下的无人机技术、产品、工程、算法中，这些知识在未来能有多大的效用呢？并非要否定这些知识的益处，如果我们不知道加减乘除也很难掌握微积分或拓扑学，但是很显然只掌握加减乘除对于学习微积分而言是远远不够的。因此本书将会涉及无人机的原理、技术、算法实现等内容，但更重要的是通过这些来收获更多有着长远价值的内容：如何去理解理论公式？如何在工程项目中使用理论公式？如何通过理论来理解实际系统（比如无人机系统）？如何建立自己的知识体系？如何判断技术的发展方向并做好准备？等等。这些收获并不会随着时间的变化而被淘汰，并能让我们不断改善自己的职业和生活。

1.2 内容的核心是问题

1. 一个令人讨厌的名词：问题

“问题”这两个字往往不被当作正面词汇，当我们说起“他的项目出现问题了”“他这个人有问题”“你到底有什么问题”时是不会感到开心的。我们希望没有“问题”，虽然我们的教育中也在某些方面鼓励学生提问，但这些问题大多不是关于“为什么”，而是关于“怎么解决”。在我们的意识里最好的状态是“没有问题”，问题是要被“消除”的，是要被“解决的”，因此最省力的办法就是不要“提出问题”。

轻松的事情与错误的事情不同，但有趣的是这两者在很多时候是相互吻合的，就好比更加困难的事情往往更有意义，很容易让人联想到尼古拉斯·凯奇著名电影“天气预报员”里的经典台词：“你知不知道：难做的事和应该做的事往往是同一件事？凡是有意义的事都不会容易。成年人的生活里没有容易二字。”

到底是提问题更难呢，还是解决问题更难呢？这可真是一个复杂的哲学问题，但事实上没有人能够解决所有的问题，任何一个老问题的处理都会带来更多的新问题，正如古希腊哲学家芝诺的名言“你知道的越多，你会发现自己不知道的更多”。我们与真理的距离就像圆周率后面不断出现的小数一样永远不能消失，但提问题，却能够让我们不断接近真理。

“发现问题”是任何一个理工科工程师、研究人员、从业人员及在校学生必须重视的技能。缺乏“发现问题”的能力与欲望会在很大程度上限制我们事业的发展。试问如果“没有问题”，那为什么还要创新呢？为什么还要进步呢？为什么还要努力呢？如果我们诚实一些，就会发现这个世界上并不存在“完美”的产品、个人和技术，因此“没有问题”既是懒惰的，又是骄傲的，一个同时具备懒惰和骄傲的个体是无法取得进步的。“提问题”不是前进道路上的绊脚石，而是求索与进步的必经之路。

2. 一道不为填饱肚子的菜肴

在城堡本人接受的教育历程中，老师的角色大多是答案的提供者。这和我们对于书籍的定义与期盼很类似，一本书应该是提供了满满的“答案”，最好能够覆盖很多在看之前都没有考虑过的问题，而且这些答案一定要新颖、简单、明快、直接、可操作性强。现在有了对这一类内容的统一称呼：“干货”。我们喜欢干货就如同我们喜欢快餐一样，吃下去就能填饱肚子，至于有多少最终被排出体外，有多少为身体提供营养？这是另一个问题，问题都是无聊的，还是填饱肚子最要紧。

如果将书看作一道菜肴，城堡看重的不在于能够让大家吃下多少东西来填饱肚子，而在

于最终有多少能够被读者消化吸收，产生有益于成长的营养。“答案”的灌输能够提供满满的饱腹感，而“问题”提出与解答的整个流程更有助于大家对养分的吸收利用。因此本书在后面的所有内容中都会不断抛出问题，有些问题会在对应的章节中给出答案，有些问题需要读者慢慢思考。

希望我们能够在这个快节奏、快收益、快处理的时代中一起感受一下探索的自由和乐趣。

1.3 章节介绍

本书由三篇，共七章组成。

第一篇“热身”侧重挖掘本书对读者的价值。第一章的内容主要关于本书的写作目的，内容核心，内容介绍，使用建议等。第二章着重从职业属性层面构建无人机与读者的关系。

第二篇“认识无人机”从无人机发展历史和不同机型的实际系统出发，帮助大家从最直观的资料中培养对无人机的“感觉”。第三章从无人机历史和数据系统两个视角审视无人机。第四章从机身结构、动力与姿态控制等角度描述固定翼无人机、直升机型无人机、多旋翼无人机、涵道无人机、自转旋翼机等飞行器。

第三篇“了解无人机”结合实例与代码给出硬件系统和开发中使用的理论知识。第五章介绍了无人机系统中常见的硬件组成及各个部分的功能、参数等，并在最后一节结合前述内容给出了小型多旋翼无人机的基本设计流程。第六章介绍无人机系统涉及到的坐标系，姿态描述方法，数学模型，控制概念与控制算法的代码实现等。第七章把视角从无人机延伸至与读者工作、生活、学习相关的内容，其中既包括城堡的个人建议也涵盖对一些工具、资源的介绍。

1.4 如何使用本书

1. 无处不在的问题

本书会在每部分内容的开头、中间、结尾提出数目不一的问题，建议读者在阅读过程中不断思考这些问题，结合书中的内容形成自己的观点，并通过对实际系统的观察、搭建等来体会解答的实现过程，不断丰富自己对无人机的感触，并形成属于自己的答案寻求模式。

2. 讨论与交流

一本好书不应该在读完最后一页后戛然而止，欢迎各位读者在阅读过程中或完成阅读内容后与城堡分享心得，讨论问题，大家可以在知乎或城堡的微信公众号中通过私信或留言的方式将问题提供给城堡。事实上本书的很多内容都是与专栏或公众号读者讨论的结果。

城堡会将好的问题或讨论以具名方式通过专栏文章或者知乎 Live 与更多读者分享，甚至会写入到后续的新书中。传播知识与观点不是某一个人的专利，你、我、他，我们每一个人都有权利与责任让更多人接触到好的观点与想法。

第二章

我与无人机

对于想要考研的本科生而言，最先要面对的是选择自己心仪的学校，这正是六年前城堡不得不面对的难题。那一年正好是城堡与现在的妻子以男女朋友身份交往的第二年。彼时“研究生”对于自己而言意味着什么，其实心里并不清楚，甚至没有太当一回事，感谢四年的大学时光，让我能够一边嘴上说着“好伴侣比好大学重要”，一边偷懒地给自己铺垫一个借口留在本科学校继续研究生学习。这确实省却了很多麻烦，不用换学校，不用收拾杂物用具，不用离开舒适的环境。然而这一切都是要付出代价的，这种代价并不完全取决于学校的性质，而在于我没有认真地对待这个选择，没有思考能从中获取哪些收益。

在我们花费时间去了解无人机系统的相关知识前，不如先回答一下这个问题：无人机与我们有什么关系？或者换一个问法：“我们能够通过无人机获得些什么？”这个问题看上去似乎非常功利，为什么一开始就要谈“获利”呢？难道不能单纯为了“兴趣”“爱好”“梦想”走进无人机行业么？城堡在行业中的很多朋友，甚至城堡本人都非常喜欢无人机，觉得它很酷。但城堡也遇到很多人，将兴趣、爱好、梦想当作“廉价”的答案，用在任何地方，不愿意正视一个现实：这些美好的事物是与代价相关联的，可能是时间，也可能是金钱，也可能是漫长的努力与积累。渐渐地“兴趣”“爱好”“梦想”这类美好的词汇，成了逃避努力与无视付出的借口，因此它们的对象也总是从一个事物跳跃到另一个事物上，今天可能是无人机，明天可能是机器人，后天可能是游戏制作。

城堡想强调的是，任何事物都要有相应的付出才会有收获。不劳而获是不现实，也是不符合客观规律的，甚至导致我们的整个人生在不知不觉的慵懒里消散殆尽。

怎样才能认真地对待付出呢？首先要从认真对待收益开始。清楚可以通过无人机获得些什么，既可以让我们更有效率地学习、应用相关知识，又可以不断激励我们进行有效的付出，让梦想不仅仅停留在绚丽的辞藻上。

2.1 无人机和哪些职业有关？

无人机可以介入到生活中的每个层面。我们可以在举家出游的过程中使用无人机拍摄留念，也可以在爱好者聚会时带上自己DIY的无人机系统与朋友们分享无人机知识，这些都是我们生活的一部分，然而更容易对我们产生持续激励的是每个人所从事的职业。

对于大多数人而言，工作会占用每天的大部分时间，同时它也是我们主要的收入来源。这意味着工作直接与两项重要资源相连：时间，收入。前者是我们在任何领域深入发展的必要要素，后者是对我们最直接的激励因素（是否是最大的激励可能因人而异）。从爱好出发能够DIY一架无人机，但与职业相连才能保证这架无人机不会积上厚厚的尘土变成我们浪费

时间的铁证。爱好永远是最本质的冲动，但把爱好揉进职业发展中，才会时用时新。

无人机可以对很多职业产生帮助，当我们更深入的思考无人机与自己职业的关系后可以更有效的学习无人机相关知识，同时让自己的事业与先进的技术相联系。如果知识不能在工作中使用，它不会像无人机那样积上尘土，而是会直接从我们头脑中消失。

以下职业或身份的读者，都可以从无人机技术、理论、行业发展中受益：学生、机器人工程师、研究人员、创业者、行业应用者。

2.2 这些职业能从无人机获得什么？

1. 学生



图 2.1 在年轻时能够多读一些有意义的书实在是一件幸福的事情，
但幸福的事情往往不容易达成（图片来源：pixabay）

微积分、数学建模、解微分方程、力学定理、动量守恒、空气动力学、控制算法、图像算法等等。城堡相信很多读者可能在高中，大学或者其他阶段中接触过各种各样的理论知识，但那些知识的意义大概只在各种考试中才能得到体现，一旦交完考卷，难免萌生出“从此萧郎是路人”的感慨。既然不知道这些理论知识的意义在哪里，就更别提在工作或生活中使用它们了。长此以往，很有可能只形成了抽象、反感的印象，既无助于已有知识的记忆，也无

助于未来知识的学习、掌握。最终把兴趣、爱好、快乐这些美好的词汇都驱赶到知识的对立面。

学生是一个可大可小的概念，在城堡眼中，不断学习专业领域或者新领域知识的人都可以算作该行业的学生。对于学生而言，最难的未必是“如何去获取知识”，而是“为什么需要这些知识”，获得某种学位或证书后带来的经济激励几乎成了当下社会唯一认可的学习动力，然而多少金钱能够填满心中的欲望呢？当我们通过努力学习获得期望的经济回报后，只会有另一座欲望的高山出现在面前，学习的满足？快乐？也许会出现在童话故事中吧。

为何不把那些数学、物理、控制等理论知识与能在天空中飞翔的智能空中机器人相联系呢？通过无人机来真正使用这些理论，看一看物理学和数学是如何与无人机姿态变化相关联的，深奥的控制算法是如何通过编程语言实现的，看似繁杂的机器人硬件有着什么样的数学本质呢？通过无人机，可以让这些知识不只停留在考卷中，更能够在读者的脑海中形成具体的感知，让理论显现出确实的价值和意义，如此一来还需要什么其他的刺激因素么？赶紧抱着被子去图书馆通宵达旦吧（此处只是一种形容，大家还是要注意身体啊），通过无人机你会发现那些枯燥的知识也是有生命力的。

2. 工程师

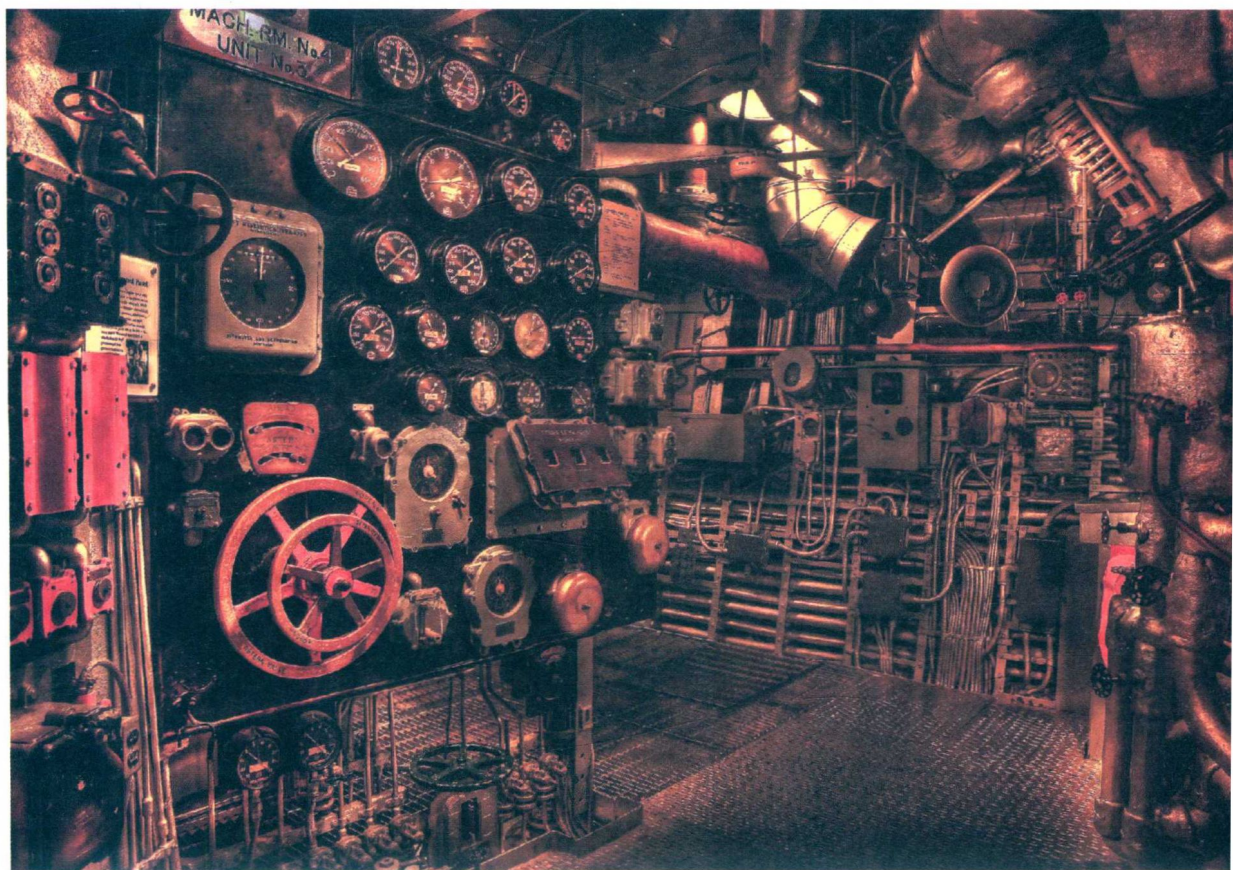


图 2.2 是不是每个工程师都有拆东西的冲动？（图片来源：pixabay）

这里提到的工程师，特别侧重但不限于无人机工程师或者电气、控制领域工程师。

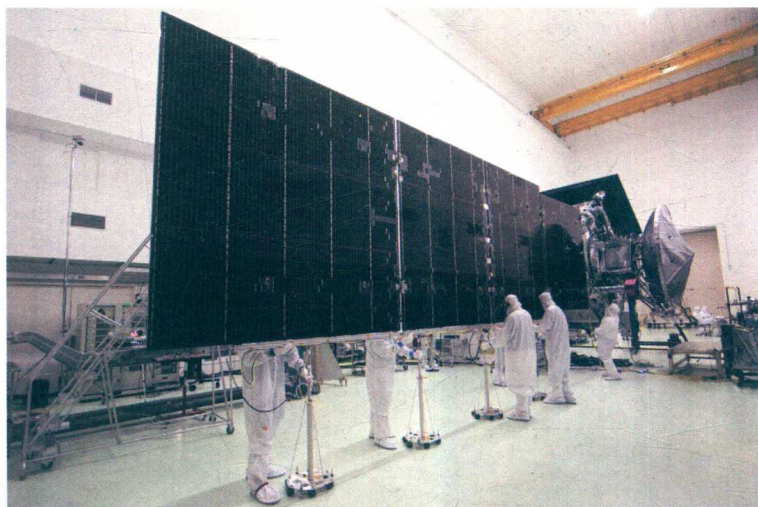
工程师是解决实际项目的高手，对于他们而言，无人机能带来什么呢？无人机系统囊括了机器人领域常见的各种硬件、软件、算法技术，如直流电动机、舵机、电调、伺服电动机、嵌入式控制器、气压计、红外线、超声波、双目视觉设备等，对于任何弱电领域的工程师而言，无人机都是不可多得的实践平台。

无人机技术领域中的开源内容涵盖硬件、软件、算法等多个层面，这些已有的开源资料对于任何领域的工程师而言都是宝贵的工具与资源。而在面对这些开源资料时，如果具备基本的无人机知识则能有效提高工程师对它们的利用效率。同时在将这些开源内容应用在新的平台中或其他领域里时，具备无人机知识的工程师可以降低错误发生率。

工程师喜欢并且擅长解决实际问题，擅于从实际工程中积累经验。然而经验是“不确切”“不全面”的总结，经验性知识在一定时间范围和应用对象中确实很有“效率”，然而由于这种经验来自于已有现象或实际的实验活动，应用范围受当下的时空限制，简单来说，这些经验性知识不具备普遍性。20 世纪之前工程师的经验可能在几十年甚至上百年内都是有效的，因为环境与承载经验的硬件、理论的变化速度没有那么快。然而当下信息时代的技术发展实在是太迅猛了，各种理论、硬件、系统的迭代速度远超以往。这意味着工程师积累经验的环境正被快速更新，工程师经验的不精确性与不全面性在面对高速变化中的环境时会显得力不从心。而物理、数学、控制学等相关内容的有效性、正确性、普遍性则可以有效弥补“经验知识”在这些方面的不足。事实上城堡在行业中遇到的优秀工程师无一例外地注重通过理论与实际经验的结合不断加深自己对行业、技术的预判与了解。可能没有人比优秀的工程师更了解形成快速、实用、精确的“感触”有多么重要了，而在无人机领域我们可以将实践与理论结合起来，用旋转定律分析姿态变化，用数学模型分析飞行现象，用控制算法解读程序代码，用理论与技术形成行业观点，感受理论与工程实践的配合，这样的能力可以用在任何专业技术领域之中。

3. 研究人员

图 2.3 在研究领域中找到合适的研究对象与对应问题是很重要的
(图片来源: pixabay)



对于研究人员而言，找到合适的研究方向或研究对象是非常重要的，最好是交叉学科，因为这样研究的成果就可以应用在更多领域中。而无人机显然是非常值得关注的研究领域或研究平台，它本身就是一个多学科的成果，包含：数学、物理学、控制学、机械制造、电力电子、材料、动力学等等，甚至还包含地理学、建筑学这些与无人机技术无关的行业，都可以在无人机工具平台属性中获得研究的突破。

无人机系统涵盖大量硬件模块，这些硬件涉及众多应用领域，可以为研究者创造出各种实用工具，农业研究者？可以使用！地理测绘研究者？可以使用！安全领域研究者？可以使用！同时无人机系统的算法涉及范围也非常宽广，这两方面的结合使得无人机在交叉领域备受关注。但这些研究内容、工具平台实现是与无人机本身特点、结构、模型、算法、实践等息息相关的，如果研究人员想要在无人机方向上深入，就必须对无人机这个对象及其已有的分析方法具备较为丰富的理解。对于将无人机当作先进工具的研究者，无人机数据的分析也会有助于研究内容的快速推进。付出总是有的，但相比于丰厚的回报，就算不得什么了。

4. 创业者



图 2.4 自信来源于对所处行业的深刻理解（图片来源：pixabay）

创业热潮几年前就已经出现，时至今日也没有一点衰减的迹象，甚至发展成全民创业的趋势。如果说无人机是当下智能硬件创业领域最为火热的行业，应该也并不为过。城堡每次参加行业活动，总能看到新的无人机创业公司。对于创业者而言懂得选择一个有前景的好行业是第一步。但后面还需要脚踏实地深入了解所在行业，这才是成败天平中决定胜负的砝码。

无人机行业是一个优秀的创业领域，但由于它优秀得这样明显也势必导致竞争的加剧。高收益往往与高风险相联系，对无人机领域的创业者而言，与其将精力放在如何提高收益上，不如押在如何规避风险上，优秀的行业本身已经足够带来可观的收益，但其中蕴含的种种风险却常被人们忽视。