

Volume

1

# 机器人操作系统 ROS

史话 36 篇

作者：张新宇

## 作者简介

张新宇，副教授，现为华东师范大学“智能机器人运动与视觉实验室”负责人。毕业于浙江大学，获本科/硕士/博士学位。博士毕业后，在韩国梨花女大图形学与虚拟现实研究中心从事博士后研究，后受聘为讲师和研究教授。受聘美国北卡罗来纳大学教堂山分校计算机系研究科学家，从事机器人、虚拟现实方面的研究。

2013年回国后立即着手筹建华东师范大学“智能机器人运动与视觉实验室”，将研究内容定位于机器人运动规划、计算机视觉、虚拟现实、基于物理的计算机模拟等方向。2015年底创建华东师范大学“创客空间”，推动创客教育与创新活动，2016年底负责筹建华东师范大学“虚拟现实与智能计算实验室”，2017年，领导学生成立面向华东师范大学的学生社团“机器人俱乐部”和“虚拟现实俱乐部”，推动相关技术的科普工作。在华东师范大学开设《机器人导论》、《虚拟现实》、《人机交互》、《机器人开发实践》等多门本科研究生课程。作为项目负责人承担多项国家自然科学基金、教育部、上海市科委科研项目。

2015-2018连续四年举办全国“机器人操作系统（ROS）及其应用暑期学校”，四年期间共有近2百所高校，上千名本科生、硕士、博士生，及其机器人企业的开发人员参加暑期学校的学习，授课视频在线点击超过10万次。2017年创立中国机器人操作系统（ROS）教育基金会，与国内外同行共同推进机器人操作系统在中国的宣传普及与产业应用。

## 目录 Table of Contents

序 .....	3
1. 此岸与彼岸 .....	5
2. 柳树街 68 号 .....	10
3. 机器人毕业舞会 .....	15
4. PR2 的缔造者 .....	19
5. ROS 的起源 .....	24
6. ROS 之父 .....	28
7. ROS 被 OSRF 托管 .....	33
8. ROS 开发者大会 .....	36
9. ROS 乌龟的起源 .....	41
10. 乌龟机器人 .....	47
11. 乌龟设计师 .....	54
12. ROS 的名字和乌龟帮 .....	59
13. ROS 第一只乌龟 .....	62
14. ROS 之 navigation 与 hiDOF .....	67
15. ROS 之可视化 rviz .....	70
16. ROS 阿 C 龟-诺亚方龟 .....	72
17. ROS 之物体操控 manipulation .....	76
18. ROS 飞天金刚龟与视觉传感器 .....	79
19. ROS 之 OpenCV .....	84
20. ROS 之 KDL .....	89
21. ROS 乌龟帮 .....	94
22. ROS 与 Windows .....	105
23. ROS 之 Gazebo .....	109
24. ROS 之编译系统 .....	113
25. ROS 之皆大欢喜 (Player 与 Stage) ...	117
26. ROS 驱动 DARPA 挑战赛 .....	124
27. ROS 之 MoveIt! .....	133
28. TurtleBot 的故事 .....	138
29. TurtleBot 背后的女人 .....	144

30.	TurtleBot 背后的男人.....	150
31.	TurtleBot 的演变.....	155
32.	ROS 之 IPI .....	159
33.	秘密项目 PlatformBot 爱与恨.....	162
34.	从 OSRF 到 OSRC .....	169
35.	实习生计划.....	172
36.	柳树车库系 .....	179
	后记.....	183
	参考文献.....	184

## 序

机器人是我们这个星球出现的新物种。人类在好奇心的驱使下，没有上帝的帮助，完全凭一己之力，用“泥土”，用自己独立创造出来的科学技术捏出来了这个新物种。机器人正经历着前所未有的物种演进。他的细胞快速地分裂者，一变二，二变四，。。。这种指教级别的变化只有到细胞分裂到一定的数量才能表现出强大的力量。

现在，人类站在食物链的最顶端，以主宰者的身份，享受着自以为是的万物崇拜，这种感觉无比美好。未来，人类是否可以与机器人和睦相处，还是被机器人取代，成为这个星球的被统治物种，被机器人圈养，还是人类在意识到威胁前把机器人驱赶出这个星球。

没有人能够预言未来。

2006 年，无比好奇的一群人走在一起，组建了一个机器人研究实验室：柳树车库（Willow Garage）。他们利用开源软件这一无比诱惑人的馅饼，骗取这个星球上千上万人加入到这个宏伟计划中。在机器人历史上，从来没有这样的经历，组织全球的力量去实现一个机器人梦想。

机器人操作系统（ROS）就是这一宏伟计划的一部分。

开源的 ROS 打开了潘多拉魔盒，闸门打开了，洪水汹涌冲进来。这正是“天上没有白掉的馅饼”，一旦人们尝到馅饼的美味，就欲罢不能。



这也是为什么 ROS 这么令人着迷。但是因为闸门打开的太快了，很多人还没有做好准备，有些人完全没有意识到是怎么回事，就不得不与 ROS 牵连在一起，卷入到洪流中，在其中奋勇搏击。

他们可能是将要就业的大学生、研究生、博士生。也可能是不小心拿到几十万甚至几百万融资的创业达人。甚至是在互联网取得巨大成功转业到机器人，实在看不下去机器人领域的碌碌无为，期待颠覆这个领域的商业奇才。

《机器人操作系统（ROS）史话 36 篇》是想告诉大家这一机器人梦想是什么，人们是如何围绕 ROS 编织这个梦想的，有哪些人卷入其中。《机器人操作系统 ROS 史话 36 篇》希望通过这些历史片段和事实，带你理解构造机器人的艰难，领略机器人时代开启将要面临的挑战，当然也包括对未来美好的憧憬。

2018 年 06 月 05 日

华东师范大学，上海

## 1. 此岸与彼岸

### 西海岸

如果从中国东海岸或东南海岸的任何一座城市，比如上海，青岛，连云港，温州，福州向东看，是一片汪洋，称为东海。

再向东，穿过东海并突破日本弧形岛礁的包围，就进入了地球上最大的水域——太平洋。

踏着太平洋，再一路往东，就能踏上美国大陆的西海岸，那里有洛杉矶和好莱坞。

如果从中国东海岸，向西，沿着“一带一路”的陆上丝绸之路，经过中原新兴城市和祥和的农田，穿过西北荒原，沙漠，中亚广袤而安静大地，途径俄罗斯的莫斯科，到达欧洲大陆。站在欧洲的西海岸，面向西方，是地球上第二大水域，大西洋。

如果横跨大西洋，沿着当年泰坦尼克号的既定路线，一路向西，就能到达美国大陆的东海岸城市，纽约。

从纽约驾车，横穿美洲大陆，向西，约两天两夜，也能到达美国的西海岸。

美国的西海岸，加州，确实是一个美丽的地方。

西海岸的加州有三个著名的城市，从北往南数是旧金山，洛杉矶，圣地亚哥。

最北边的城市是旧金山，华人多。在华人心目中，以唐人街最为有名。在科技圈，旧金山的硅谷和斯坦福大学，最为响当当，被中国的媒体常常提起。以至于到了科技创业圈，言必提硅谷了。

旧金山往南 600 多公里，距离大致相当于青岛到上海的路程，就是洛杉矶，加州第一大城市。这里有世界最著名的影视基地，好莱坞。好莱坞星光大道上，镶嵌了很多星星，上面印有影视名人的姓名。那里的中国戏院也是历史悠久，现在还在播放电

影。门前有很多明星的脚印，手印和签名。洛杉矶也有世界著名大学，如加州理工学院和南加州大学。

圣地亚哥在加州的最南端，与墨西哥接壤。加州大学圣地亚哥分校也很不错。

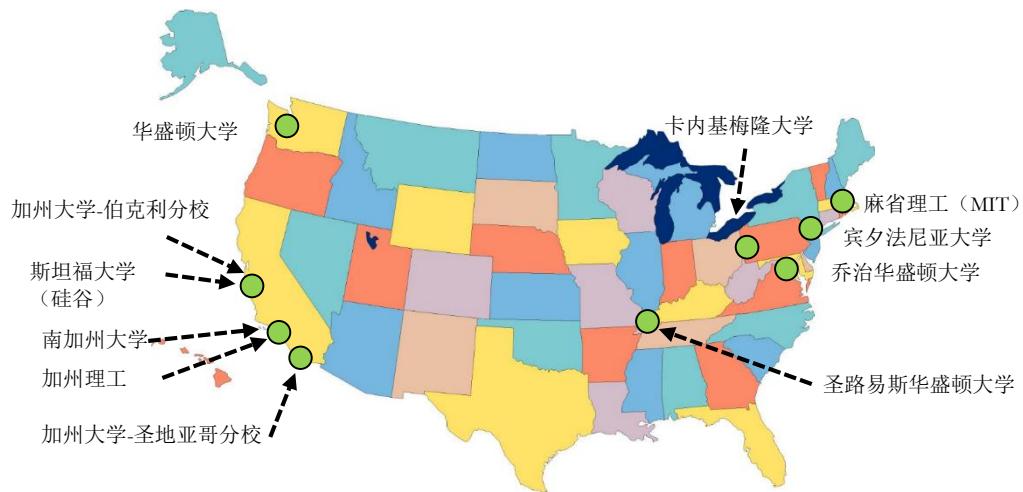


图 1.1 文中提及的几所美国大学

斯坦福大学位于旧金山湾南部，硅谷的核心地带。胡佛纪念塔是斯坦福大学的地标建筑，登上胡佛纪念塔，整个斯坦福校园就都放在眼里了。这里有我们耳熟能详斯坦福大学人工智能实验室（SAIL），也就是华人里知名的科学家吴恩达、李菲菲曾经工作过的实验室。这里还有奥萨玛·哈提卜（Oussama Khatib）教授领导的斯坦福机器人实验室。哈提卜教授是机器人领域研究的先驱人物之一，是国际机器人研究基金会主席，在自动机器人、类人机器人架构、人类协作机器人、动态仿真、触觉互动方面做了许多开创性的工作。哈提卜教授最近两年也常常受邀来中国，参与各种学术活动。

我们的史话就始于离斯坦福不远的一条蜿蜒的小路上。

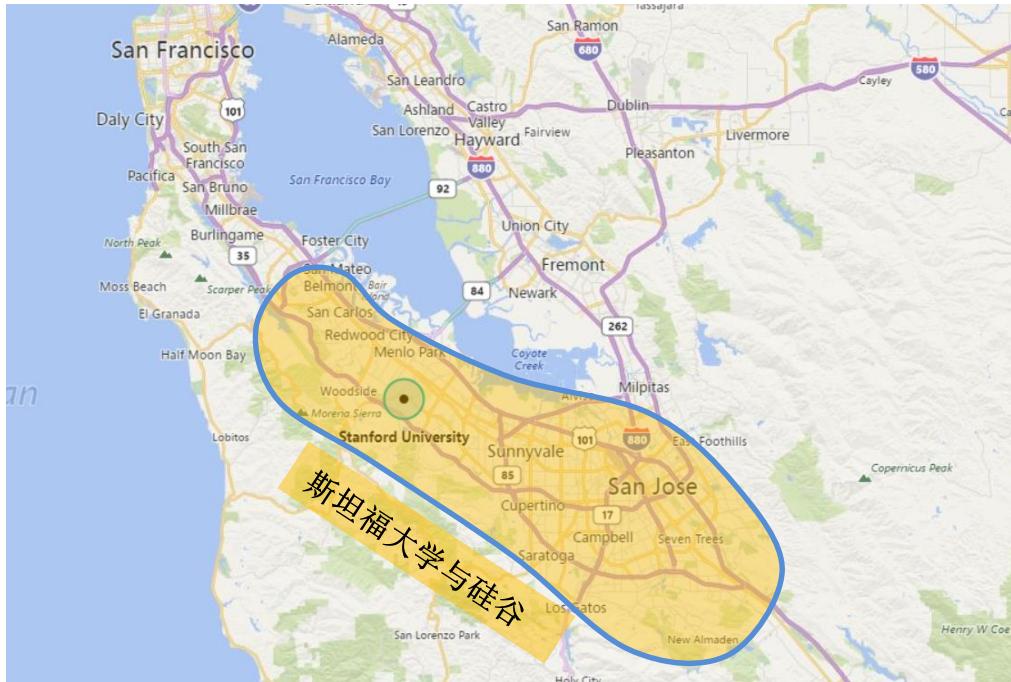


图 1.2 美国硅谷和斯坦福大学

站在胡佛纪念塔，西南面 5 公里处有一片绿地，Alta Mesa 纪念公园，苹果公司的创始人史蒂夫·乔布斯（Steve Jobs）就安葬在那里。在东面 10 公里处，是谷歌公司（Google）大厦。北面 6 公里处，一条由西南蜿蜒到东北的小路尽头，是脸书公司（Facebook）的总部。西北面 16 公里处是甲骨文公司（Oracle）的总部。





图 1.3 美国西海岸大学：上排：斯坦福大学胡佛纪念塔，加州大学-伯克利分校，加州理工；下排：南加州大学，加州大学-圣地亚哥分校，华盛顿大学。

## 东海岸

在东海岸，纽约是全球的金融中心，华尔街是纽约的中心。从纽约往东北 350 公里是波士顿，这里有麻省理工学院（MIT）。从纽约往西南 350 公里是华盛顿，美国的首都，政治中心。这里有一所乔治华盛顿大学（George Washington University）。美国另外还有两所毫不相关的华盛顿大学，一所是位于西海岸西雅图的华盛顿大学（Washington of University），位于旧金山北面 1300 公里处。另一所是圣路易斯华盛顿大学（Washington University in St. Louis），位于密苏里州，圣路易斯市，在乔治华盛顿大学西面 1300 公里处。距离相当于上海到重庆的路程。

离纽约不远，有位于宾夕法尼亚州的宾夕法尼亚大学。这里是现代计算机的诞生地。这里有世界知名的机器人实验室（GRASP: General Robotics, Automation, Sensing and Perception）。估计很多人都看过实验室负责人维杰·古玛（Vijay Kumar）在 TED 的演讲，让人目瞪口呆的无人机飞行表演，以及 GRASP 实验室开发的自主飞行机器人“盖房子”的演示。

在传统的内陆汽车城匹兹堡，有世界机器人研究的重要大学：卡耐基梅隆大学。该校的机器人学院是全球最大的机器人研究机构，曾经承担 NASA 航空航天科研任务，如自动驶车、月球探测步行机器人，单轮陀螺式滚动探测机器人等。卡耐基梅隆大学也是世界上规模最大、参与人数最多的机器人足球比赛“RoboCup”的主要赞

助者，被公认为是将机器人应用于教育的先驱者，无数机器人研究人员向往的圣地。

我们史话的人物和这些学校也有千丝万缕的联系。

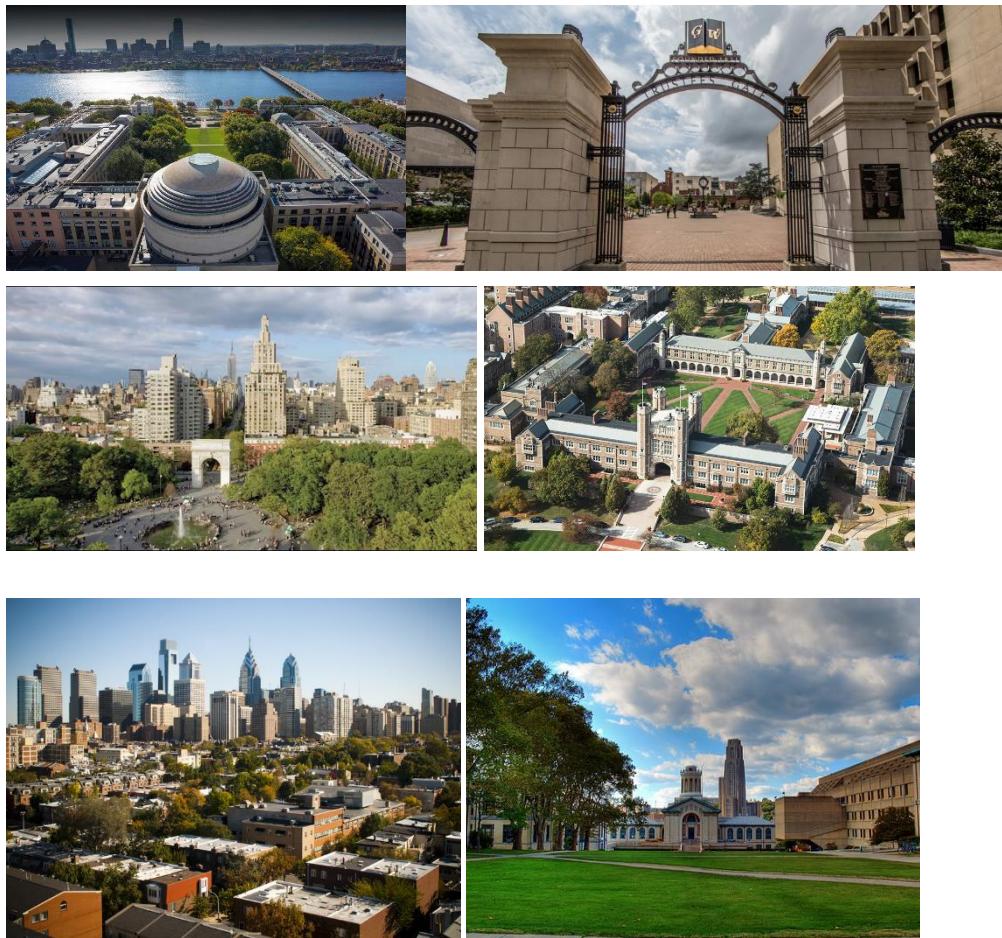


图 1.4 美国东海岸大学：上排：麻省理工学院（MIT），乔治华盛顿大学；中排：纽约大学，内陆的圣路易斯华盛顿大学。下排：宾夕法尼亚大学，卡耐基梅隆大学。

## 2. 柳树街 68 号

这是一条叫柳树路（Willow Road）的林荫道，这片绿荫覆盖的区域住满了硅谷的商业精英和 IT 新贵们，也拥挤着追求创业梦想的年轻人。



图 2.1 柳树街、Facebook、谷歌、斯坦福大学、柳树街 68 号地理位置

从脸书公司（Facebook）的总部沿着这条柳树街，从东北的尽头往西南走，也就是朝着斯坦福大学的方向走，会先穿过 101 公路，然后左手边路过一个加油站，加油站后面是一个橡树公园，公园斜对面，也就是西面，有一个条胡同，叫纳什胡同（Nash Ave）。沿纳什胡同走 100 米，在第一个路口，向左，拐到圣玛格丽塔胡同（Santa Margarita Ave）上，向前走 150 米，是圣玛格丽塔胡同 232 号，那里正是谷歌诞生的仓库。圣玛格丽塔胡同 232 号距离斯坦福大学的标志性建筑胡佛纪念塔只有约 4 公里。



图 2.2 柳树车库（Willow Garage）机器人的办公地，柳树街 68 号

还是沿着圣玛格丽塔胡同，纳什胡同返回到柳树街吧。朝着斯坦福方向前进 800 米，就能到达，柳树街 68 号。这是一处优雅的别墅，边上就是公园，小河环绕。别墅的房东主人是一个叫斯科特·哈森（Scott Hassan）的中年人，硅谷的亿万富翁。

哈森在硅谷是一个传奇人物。

哈森大学毕业于纽约州立大学布法罗分校（或称为布法罗大学），这所学校隶属于庞大的纽约州立大学系统<sup>1</sup>。布法罗分校也是这个系统中规模最大、综合性最强的研究型大学，位于纽约州西部的布法罗市。后来，斯科特·哈森去了圣路易斯华盛顿大学（Washington University in St. Louis）读研究生，这所华盛顿大学位于密苏里州，圣路易斯市，在乔治华盛顿大学西面 1300 公里处（注：前面提到过三所不同的华盛顿

---

<sup>1</sup> 纽约州立大学（State University of New York, SUNY）是美国纽约州的一个由多家大学组成的大系统，不是一家独立的大学。这个全球最庞大的高等教育系统由 64 所学府组成，共有学生近 39 万人。比较有名的分校有，奥尔巴尼（University at Albany）、宾汉姆顿（Binghamton University）、布法罗（University at Buffalo）、石溪（Stony Brook University）等分校。

---

大学）。后来又去了斯坦福大学去读研究生，在那里结识了无数的互联网豪杰，包括谷歌的创始人谢尔盖·布林（Sergey Brin）和拉里·佩奇（Larry Page）。

哈森曾经和谷歌的创始人布林和佩奇（Larry Page）一道在斯坦福大学学习，哈森所做过的一个项目就是开发谷歌搜索引擎原型，写了 Google 的很多关键代码。谷歌的第一个爬虫软件就是他写的。谷歌刚成立，他就投资了 800 美元。这笔天使投资给他带来了丰厚的回报。

以区区 800 美元投资谷歌后，哈森自己又开发了一个称为 eGroups 的 e-mail 应用，哈森在斯坦福大学并没有完成学业，就中途退学了，创立了 eGroup 公司，并在 2000 年以 4.32 亿美元的天价卖给了当时如日中天的互联网巨头雅虎（Yahoo）<sup>2</sup>，成为雅虎产品 Groups，该产品为雅虎赢得无数用户。拉里·佩奇的哥哥卡尔·佩奇（Carl V. Page）也是 eGroups 的创始人之一，随着 eGroups 出售，也非常成功，只是后来的失败的投资比较多，逐渐走了下坡路。又因为拉里·佩奇太成功了，没有人再记得这位也曾成功过的卡尔·佩奇了。



图 2.2：斯科特·哈森，原 eGroups 的创始人，硅谷的亿万富翁，柳树街 68 号的房东，柳树车库机器人公司创始人与投资人。斯科特·哈森在 eGroups 的日子。下排：Ramu Yalamanchi，Martin Roscheisen，Scott Hassan，第四位不详。上排：Carl Page，Alan Braverman。

<sup>2</sup> 2017 年 1 月 10 日，雅虎宣布在核心业务出售给 Verizon，公司名称将改为 Altaba。

出售了 eGroups，哈森年纪轻轻就成了亿万富翁。俗话说，钱是男人胸中胆，这一点不假。换句话将，说的是，男人就怕有钱，有钱就想干大事。第一件事，他慷慨地投资了谷歌，那时他的好朋友谢尔盖·布林和拉里·佩奇的谷歌刚刚起步。后来随着谷歌上市，斯科特·哈森又获得了第二桶资金。第二件事，买了一套房产。其实，那时他也不知道该干啥事。很多事实在看 着没意义，没挑战。他干脆就先在硅谷风险投资机构聚集的门洛·帕克（Menlo Park）买了一个办公室，希望作为以后的办公空间。

这就是后来柳树车库的办公地址：柳树街 68 号。这个地址也是后来柳树车库（Willow Garage）机器人公司名字的来源。这个车库其实名不符实，不像很多早期的创业公司，如微软、苹果，他们确实是在车库里创业的，但是这个柳树街 68 号完全不是一个车库，而是一栋别墅。



图 2.3：2009 年，谷歌的创始人佩奇来柳树街 68 号串门。

在当时，市面上除了一些教育类的机器人外，只有 iRobot 公司销售的扫地机器人。哈森认为扫地机器人实在是太低端了，他的梦想是希望开发一个机器人助手，帮助打理个人生活。那才叫机器人。

哈森看好个人机器人助手有诸多原因：

- 首先，他认为“机器人能够提高人们的生活水平”。在参观了丰田的汽车工厂之后，他对丰田的工业机器人和自动化生产线印象非常深刻。未来在他脑海的轻舞飞扬：如果这些机器人走出工厂，走进家庭，世界会变成什么样？
- 在 Willow Garage 成立的时候，人们关注的多是制造业相关的工业机器人，非工业机器人市场非常之小，没人愿意投资这个领域，更不要说个人服务机器人领域了。另外，机器人相关的人才对专业要求比较高，需要懂硬件、软件、电子、管理各路人才。哈森发现没有很好的方法把这些人聚集在一起。出于使命感，他感觉“这事他自己应该能做”。
- 还有一个原因是，哈森的母亲是个机器人爱好者，对他产生了潜移默化的影响。

哈森希望打造一款家用服务机器人。他看到机器人背后巨大的市场，这就是他在柳树街 68 号创建的柳树车库的理由。

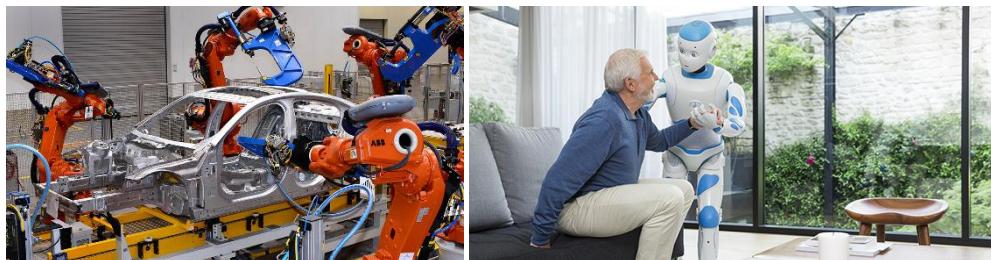


图 2.4：自动化流水线上的工业机器人（左）。哈森期待的机器人是家庭机器人，能帮助人们日常生活（右）。

当然，后来随着柳树车库命运的变迁，那个柳树街 68 号，柳树车库（Willow Garage）机器人的办公地，变成了一个名叫 BootUp 的共享办公空间。

### 3. 机器人毕业舞会

2010年5月26日，人类历史上第一个机器人毕业典礼在硅谷这条蜿蜒的柳树街68号的小路旁，临时搭建的一座帐篷中举办。

5月的加州，凉意正浓，硅谷的精英们，还有各路互联网豪杰和新贵，夹杂着谷歌造就的百万富翁或亿万富翁们，从各路赶来。

这天的夜晚，注定是值得纪念的夜晚。无论对柳树车库机器人公司，对机器人学术界，还是机器人工业界都是重大的日子。今晚，柳树车库将为自己研发的机器人，PR2（Personal Robot，个人机器人2代），举办一场盛大的毕业典礼。



图3.1 机器人舞会现场

邀请的来宾有大学教授，有媒体记者，有机器人爱好者，投资人，亿万富翁，当然还有柳树车库的员工们。在300多人的营造的喧嚣中，在昏暗的灯光和拥挤的空间里，混杂着音乐，香槟，香水。柳树车库的创始人，就是那位亿万富翁兼房东哈森，走上舞台，告诉八方来客，自己过去四年思考的三个问题：

- 第一：为什么人类需要机器人？

斯科特·哈森的答案是：机器人可以帮助我们提高生产和工作效率。机器人已经在工厂里证明可以大幅度的提供工业的生产效率，在日常生活中，人类也需要机器人提高工作效率和生活质量。而且需要大量的机器人。

- 第二：为什么我们至今还没有好的机器人？

斯科特·哈森答案是：过去的经验告诉我们，造一个机器人非常困难，资本对机器人方向的关注和投入也很少。投资很少是因为市场很小，市场很小是因为机器人能做的事情很有限。没有市场，就没有投资，没有投资就没有人造机器人，没有人造机器人，就没有机器人。所以我们先从造机器人开始。

- 第三：如何实现人类拥有机器人的梦想？

斯科特·哈森答案是：我们正在做这件事，但是我们自己无法实现这个梦想，我们通过构建一个社群，让工程师，研究人员，工业企业参与进来，联合起来，一起来做。希望有生之年能实现这个梦想，一个人人拥有机器人的梦想。

一群被人们称为 PR2 的机器人们，在闪烁的彩灯下，扭上舞台，自由挥舞手中旗帜，炫耀着自己 200 公斤重的身躯，印有 ROS 的标志高高飘扬。

T 型舞台中央，11 台 PR2 机器人排成一列，举起健壮的臂膀，整齐划一地甩头，脚下的舞步潇洒华丽，观众中爆发出阵阵欢呼。

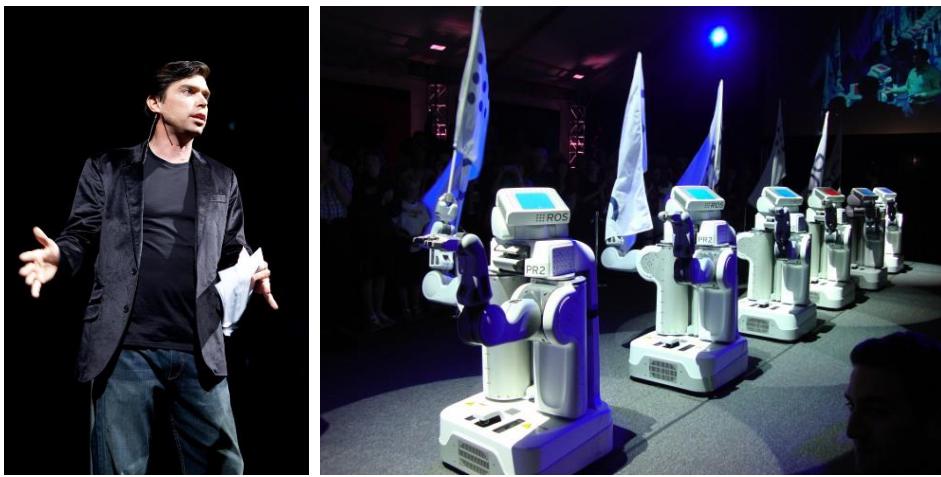


图 3.2 左：斯科特·哈森，硅谷的亿万富翁，柳树车库（Willow Garage）机器人公司创始人与投资人。右：PR2 机器人们整齐划一，挥动着 ROS 大旗。

当 PR2 项目的负责人埃里克·博格 (Eric Berger) 和基南·威罗拜克 (Keenan Wyrobek) 宣布柳树车库已经开发制造了 20 台 PR2 机器人，他们计划将 11 台 PR2 机器人赠送给世界知名的机器人实验室。这场机器人毕业典礼仪式高潮才刚刚开始。



图 3.3 在机器人毕业典礼上与 PR2 合影。从左到右：埃里克·博格（PR2 项目经理），斯科特·哈森（创始人），史蒂夫·库辛斯（CEO），基南·威罗拜克（PR2 项目经理）。前面站立者为 PR2 机器人。

这些身价高达 40 万美元的机器人毕业生将真正进入社会，进入 11 所大学和研机机构，开始他们的机器人科研之旅。通过下面列出的这 11 所大学和研究机构，我们可以对世界机器人研究力量做一个简单的判断。埃里克·博格和基南·威罗拜克大声念出每一个幸运的大学和研究机构：

- 德国弗莱堡大学 (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)
- 博世 (Bosch)
- 美国佐治亚理工学院 (Georgia Institute of Technology)
- 比利时荷语天主教鲁汶大学 (Katholieke Universiteit Leuven)
- 美国麻省理工学院计算机科学与人工智能实验室 (MIT CSAIL)
- 美国斯坦福大学 (Stanford University)
- 德国慕尼黑工业大学 (Technische Universität München)

- 美国加州大学伯克利分校 (University of California, Berkeley)
- 美国宾夕法尼亚大学 GRASP 实验室 (University of Pennsylvania, GRASP Laboratory)
- 美国南加州大学 (University of Southern California)
- 日本东京大学 JSK 实验室 (University of Tokyo, JSK Robotics Laboratory)



图 2.4 从左到右：11 所 PR2 机器人合作研究机构。

现场的人们就欢呼，尖叫，伴随着上世纪 80 年代风行一时的摇滚乐曲《机器人先生》(Mr. Roboto) 的音乐，霓虹灯闪烁，旗帜飘飘。

11 家机器人研究机构将把这些宝贝们领回家，与柳树车库的工程师们，共同创造未来个人机器人时代。

那些狂欢的人们可能不会想到，仅仅过了 4 年，柳树车库的众将们都各领旗帜，开创自己的机器人事业去了。

## 4. PR2 的缔造者

车库创立的后，斯科特·哈森找到了史蒂夫·库辛斯。当史蒂夫·库辛斯正式加入柳树车库时，哈森正热衷于无人车和无人船的研发。无论是哈森，还是库辛斯，都没有机器人背景和开发经验，这时候斯坦福大学的吴恩达教授告诉他们一个正在进行的项目，就是埃里克·博格（Eric Berger）和基南·威罗拜克（Keenan Wyrobek）的 PR1 项目。那时，博格和威罗拜克正在斯坦福大学 Salisbury 教授的机器人实验室读书做研究，同时也参与吴恩达教授的项目。

这两位就是后来柳树车库机器人公司主要产品 PR2 的缔造者，堪称“车库双雄”。

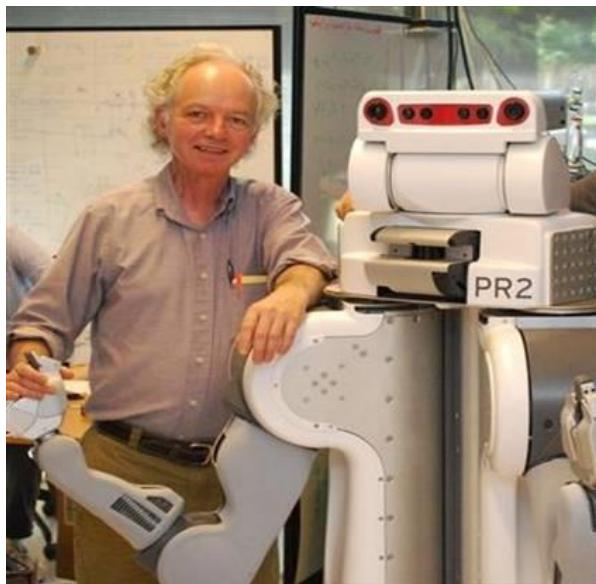


图 4.1：肯尼斯·萨里斯伯里（Kenneth Salisbury）教授，埃里克·博格和基南·威罗拜克在斯坦福大学的导师。

这两位学生的梦想，是打造一款个人机器人，包括全套硬件和软件。这样一个项目也是这两位的论文题目。为了做这样一个项目，他们预期要花 4 百万美金，他们希望有跟多的人帮助他们打造这样一个机器人。他们四处找投资，可有谁会相信两个学生，哪怕他们带着的是斯坦福的光环。

在四处奔走，资金没有着落时候，有一个叫乔安娜·霍夫曼（Joanna Hoffman）的女人和他的丈夫给了他们第一笔捐助：5万美金。有一部美国好莱坞电影《史蒂夫·乔布斯》，改编自沃尔特·艾萨克森所著的《史蒂夫·乔布斯传》。其中凯特·温斯莱特（Kate Winslet），就是那位在电影《泰坦尼克号》饰演露丝的那位凯特·温斯莱特，演绎了剧中的重要角色就是这位乔安娜·霍夫曼。乔安娜·霍夫曼是苹果麦金塔电脑的核心成员，人称“麦金塔电脑之母”，是史蒂夫·乔布斯背后最重要的女人。电影《史蒂夫·乔布斯传》开场讲得就是“麦金塔电脑”产品发布会的幕后故事。



图 4.2: (左)：电影《史蒂夫·乔布斯》里的安娜·霍夫曼，(右)：苹果麦金塔电脑的核心成员，左二站立者为乔安娜·霍夫曼。

就是这位乔安娜·霍夫曼的第一笔资助，启动了被称为 PR1 的机器人项目。乔安娜·霍夫曼期望两位博士生能用着 5 万美金，先做点东西，慢慢积累。这是这个初级版本的 PR1 居然成了埃里克·博格和基南·威罗拜克的招牌。

正是这个招牌，吸引了柳树街房东——斯科特·哈森的注意，家庭服务机器人与斯科特·哈森的设想是一致的。当斯科特·哈森和史蒂夫·库辛斯来到斯坦福大学，看到的一幕是：埃里克·博格和基南·威罗拜克，这两位小伙伴正忙着用募集到的 5 万美金，用木头打造一个叫 PR1 的小玩具。

斯科特·哈森和史蒂夫·库辛斯并没有告诉他们此行的意图，只是说想看看机器人演示。埃里克·博格和基南·威罗拜克做了演示，并告诉两位大佬，他们希望这个机器人以后可以打扫房间，可以切菜，还可以帮人做饭，给人喂饭。斯科特·哈森看了两位小伙伴的演示，感觉非常好，这正是斯科特·哈森想要的。



图 4.3: 在斯坦福大学机器人实验室,由基南·威罗拜克和埃里克·博格开发的 PR1 机器人。

一开始,斯科特·哈森想找些硬件工程师和软件工程师,跟这两个小孩 PK,看谁做得快。后来斯科特·哈森改变了策略,采取直接跟这两个斯坦福的学生合作的方式,后来也成功吸引他们加入了车库。车库把埃里克·博格和基南·威罗拜克在斯坦福做的机器人称为 PR1,后来在车库打造的机器人称为 PR2(个人机器人 2 代)。

有了车库的支持,基南·威罗拜克放弃读博,埃里克·博格也则退而求其次拿了硕士学位,本来想继续读博士,也放弃了。两人一起加入车库共同负责 PR2 项目开发。车库内部分成很多小项目,基南·威罗拜克和埃里克·博格则是车库最重要的项目 PR2 的联合创始人。另外,埃里克·博格以前也参与了斯坦福的 STAIR 项目,并且负责软硬件系统的体系构架工作。所以埃里克·博格也是 ROS 早起贡献者之一。



图 4.4：基南·威罗拜克和埃里克·博格领导开发的 PR2 机器人。左：埃里克·博格；中：PR2 机器人；右：基南·威罗拜克。

斯科特·哈森和史蒂夫·库辛斯调动公司大部分人力和财力支持 PR2 项目。

ROS 是 PR2 项目其中的软件部分，车库采用同时与斯坦福大学人工智能实验室吴恩达教授合作的形式，将 STAIR 项目中的系统软件 Switchyard 为基础，构建 ROS，并采用开源软件方式，邀请世界上（其实一开始主要是美国）感兴趣的人能参与进来。

创业初期，车库主要目标是推动 PR2 机器人的开发和 ROS 开源软件的维护。ROS 的贡献中，吴恩达教授的博士生摩根·奎格利起到了关键作用，被称为 ROS 之父。

到这个阶段，PR2 和 ROS 的核心团队已经形成。



图 4.5: 从左到右: 斯科特·哈森 (创始人), 史蒂夫·库辛斯 (CEO), 基南·威罗拜克 (PR2 项目经理), 埃里克·博格 (PR2 项目经理)。

## 5. ROS 的起源

在机器人毕业典礼上，PR2 的两位项目经理，博格和威罗拜克不但给来宾们介绍了 PR2 机器人，还隆重介绍了 PR2 机器人采用的软件系统：ROS。

PR2 机器人挥舞的大旗上正是印着“ROS”的标志。ROS 也正是本书的主题。



图 5.1 左：在机器人毕业典礼上 PR2 机器人们挥动着 ROS 大旗；右：ROS 标志。

计算机使用的操作系统，英语称为 Operating System，缩写为 OS。它是一种计算机程序，帮助使用计算机的人操控计算机硬件、管理各种应用软件。人们听说过的硬件包括：CPU、主板、内存、硬盘、显示器、打印机、U 盘等；人们常用的应用软件有：文字处理软件，比如微软开发的 Word，幻灯片制作软件，比如微软开发的 PowerPoint，看电影的软件，比如微软的视频播放器，浏览网页的软件，比如谷歌的 Chrome、聊天软件，比如腾讯的 QQ 和微信等等。

一开始，计算机比较简单，并没有操作系统，人们通过各种操作按钮就可以控制计算机，但是这种操作方式效率比较低。后来人们通过有孔的纸带将程序输入计算机进行编译，再通过程序员自己编写的程序运行，这种方式效率还是很低。为了更有效的管理计算机硬件，并提高计算机程序的开发效率，就出现了操作系统。

与计算机操作系统类似，机器人操作系统的出现也遵循这样一个规律：为了提高机器人设计和开发的效率。机器人操作系统英语称为 Robot Operating System，缩写为 ROS。

ROS 最早的原型是在美国斯坦福大学<sup>3</sup>的人工智能实验室开发的，后来硅谷这家叫“柳树车库”的机器人公司与斯坦福大学合作，将 ROS 应用到公司开展的一个个人机器人 PR2 项目中<sup>4</sup>。

ROS 的系统架构是由摩根·奎格利（Morgan Quigley）设计的，他当时还是美国斯坦福大学博士生，他的博士导师是中国知名度非常高的吴恩达（Andrew Ng）。人们一般很难想象，老气横秋的大胡子 Morgan Quigley 是看着青春无限 Andrew Ng 的学生。吴恩达因为是华人，所以特别受中国人的追捧，中国的互联网公司“百度”还聘请他做了首席科学家。吴恩达的经历非常丰富，最早成名于斯坦福大学 AI 实验室，在斯坦福大学开设了一门慕课（MOOC，网上开放课程）“机器学习”，听课的学生有十万多人，后来他跟他的好朋友创办了在线教育平台 Coursera。现在 Coursera 已经发展成世界最大的慕课平台。吴恩达还在谷歌领导过“谷歌大脑”项目，后担任百度公司首席科学家，领导百度的“人工智能研究院”。吴恩达已于 2017 年 3 月从百度离职。



图 5.2 从左到右：摩根·奎格利和吴恩达。

---

<sup>3</sup> 斯坦福大学（Stanford University）：位于美国硅谷，世界顶级大学，以创新创业出名。想了解斯坦福大学和硅谷的故事，推荐看一看《硅谷传奇》（吴军著）和《大学之路》（吴军著）两本书。

---

<sup>4</sup> ROS: An Open-Source Robot Operating System，2009 年在 IEEE 机器人与自动化大会发表（IEEE ICRA 2009）

在与 Willow Garage 合作之前，奎格利就已经开始在美国斯坦福大学人工智能实验室内部的 STAIR<sup>5</sup>机器人项目中负责软件架构设计和项目开发了。

当时这个 STAIR 项目希望完成一个服务机器人原型，在视觉的辅助下，可以在复杂环境中运动，还可以通过机械臂操控环境中的物体。STAIR 机器人配备了一个运动底盘，一个小型机械臂，立体摄像头、激光雷达。STAIR 项目由几个小组分别负责不同的模块，分头推进。奎格利负责导航组，同时负责软硬件模块的系统集成。奎格利发现将机械臂操控、导航、视觉等各种功能集成在一个机器人上非常不容易，因此那时他就考虑并采用了“分布式”的方式，来连接不同的模块。这一概念被成功应用到后来的 ROS 中。

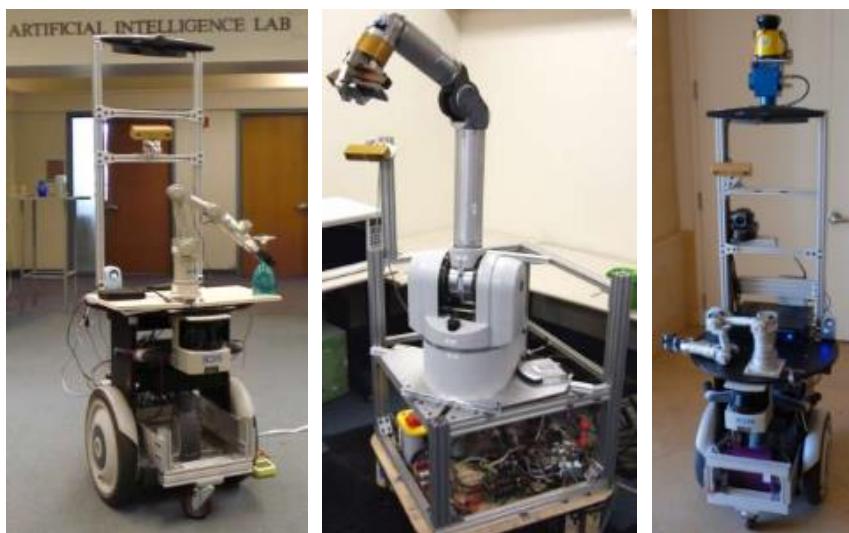


图 5.3 从左到右：美国斯坦福大学的人工智能实验室的 STAIR 机器人不同版本。

---

<sup>5</sup> STAIR: STanford Artificial Intelligence Robot

2007年，摩根·奎格利和吴恩达将 STAIR 的成果发表在 IEEE 国际机器人与自动化会议上，文章的题目是《STAIR: Hardware and Software Architecture》，软件系统的名称是 Switchyard<sup>6</sup>。这个 Switchyard 就是 ROS 前身。

后来，吴恩达与柳树车库机器人公司合作共同开发 ROS，摩根·奎格利将前期在 STAIR 项目积累的经验发挥的淋漓尽致，成为 ROS 开发框架的核心人物。

2009 年摩根·奎格利、吴恩达和柳树车库机器人的工程师们，在当年的 IEEE 国际机器人与自动化会议上发表了《ROS: An Open-Source Robot Operating System》，正式向外界介绍 ROS。

正如文章中说强调的：

*ROS is not an operating system in the traditional sense of process management and scheduling; rather, it provides a structured communications layer above the host operating systems of a heterogenous compute cluster.*

(译文：ROS 不是传统意义上的操作系统，不是用于进程管理和调度，而是构建在其它操作系统之上的一种结构化的通讯层。)

从 2008 年开始，柳树车库机器人开始主导 ROS 的开发，奎格利因为还没有毕业，但以学生兼职的形式指导着 ROS 的进展。

2010 年，随着 PR2 正式对外发布，柳树车库机器人也正式推出 ROS 正式开发版，这就是 ROS 1.0。

ROS 秉承“开源”的原则，与全球开发者一起推动机器人事业。

---

<sup>6</sup> Morgan Quigley, Eric Berger, Andrew Y. Ng. STAIR: Hardware and Software Architecture, IEEE ICRA 2007

---

## 6. ROS 之父

ROS 最早是由前面提到的摩根·奎格利（Morgan Quigley）设计的，因此在柳树车库机器人公司内部把奎格利称为 ROS 之父。

奎格利从小就喜欢编程。小学期间，就开始在苹果 2 型（APPLE II）电脑上，用 Logo 语言控制屏幕上的“小乌龟”运动。正是编程者们儿时的记忆，促成后来 ROS 的每个版本的吉祥物都是“小乌龟”的形象。

当然，那时候，很多美国小朋友都在“小乌龟”环境中学习编程的。那时个时代，“小乌龟”是很多程序员们的美好记忆。

后面会专门介绍这些“小乌龟”和 ROS 的“乌龟帮”。

1998 年，摩根·奎格利离开“小乌龟”，背上行囊，走进大学校园。他在犹他州的杨百翰大学（Brigham Young University）主修了两个专业。一个专业是计算机科学，另一个专业是音乐。他还辅修了数学专业。

在大学里，他第一次看到机器人，立马就被这些由机械、电子、计算机软件构成的小家伙们吸引了。他发现，计算机软件不再是“虚”的东西，其实软件可以通过机器人来体验真实的世界。他在机器智能实验室学习，制作了一些小型无人机，可以通过计算机程序控制这些无人机。

2005 年摩根·奎格利申请到斯坦福大学人工智能实验室读博士，吴恩达是他的导师。他跟着吴恩达做过不少机器人和机器学习的项目。这些项目包括机械臂、机械手、无人机、强化学习、视觉辅助物体的抓取等五花八门的项目。在吴恩达的带领下，摩根·奎格利参与到 STAIR 项目中，希望通过各种现有的硬件和软件，通过集成到一个机器人上的方式，打造一款“个人机器人”助手。原来的机器人大多是执行单一任务的专业机器人，吴恩达则希望摩根·奎格利利用软硬件的开发经验，负责软硬件的系统集成任务。最终，摩根·奎格利的毕业论文也是与之直接相关的，他的

论文题目是“Hardware and Software Systems for Personal Robots”（个人机器人的软硬件系统）。

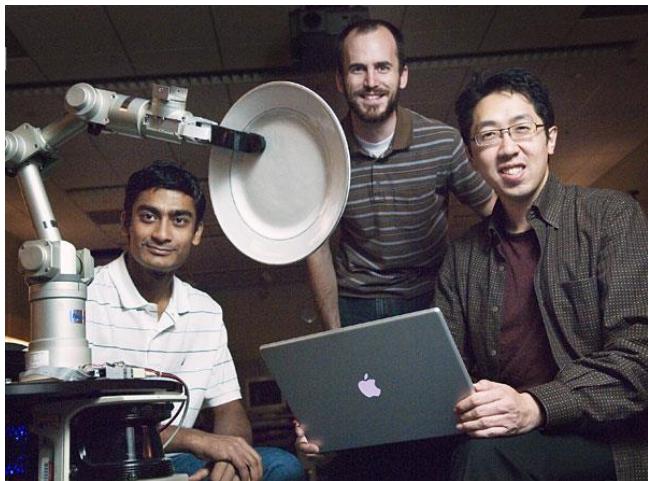


图 6.1：2006 年摩根·奎格利与他的同学艾舒托什·萨克塞纳 (Ashutosh Saxena) 和导师吴恩达。他们共同参与开发了 STAIR 项目。艾舒托什·萨克塞纳后来创建了智能家居公司 Caspar。

这样一个机器人助手的助手在当时是非常新的概念，不但可以帮人端茶倒水、还可以开门、关门、帮人取报纸、实现各种在家庭和办公室的任务。他希望这样的个人机器人系统，可以像个人电脑一样进入千家万户。后来，摩根·奎格利将 STAIR 项目软硬件系统的内容，整理出文章，发表在国际知名的机器人会议 ICRA 上。

Morgan Quigley, Eric Berger, Andrew Y. Ng. STAIR: Hardware and Software Architecture, IEEE ICRA 2007

那个时候，柳树车库机器人公司刚刚成立，吴恩达帮助其开发 PR2 机器人和软件系统（即 ROS），摩根·奎格利则利用在 STAIR 项目中积累的经验，成为 ROS 开发框架的主体责任。STAIR 项目的软件系统 Switchyard 则演变成后来 ROS，其主要思想发表在 2009 年的机器人会议 ICRA 上：

ROS: An Open-Source Robot Operating System, 2009 年在 IEEE 机器人与自动化大会发表 (IEEE ICRA 2009)

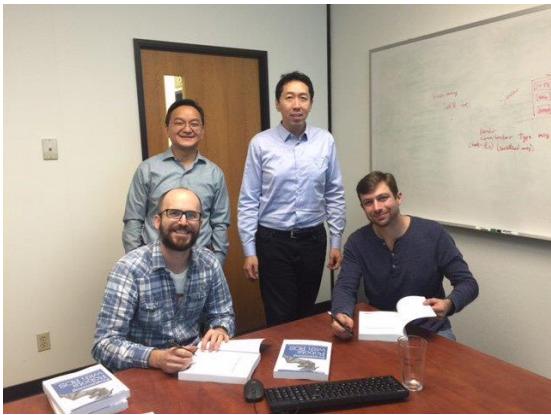


图 6.2: 2016 年吴恩达访问“开源机器人基金会”，看望自己的学生摩根·奎格利和布莱恩·格基（Brian Gerkey）。前排左为摩根·奎格利，右为布莱恩·格基。

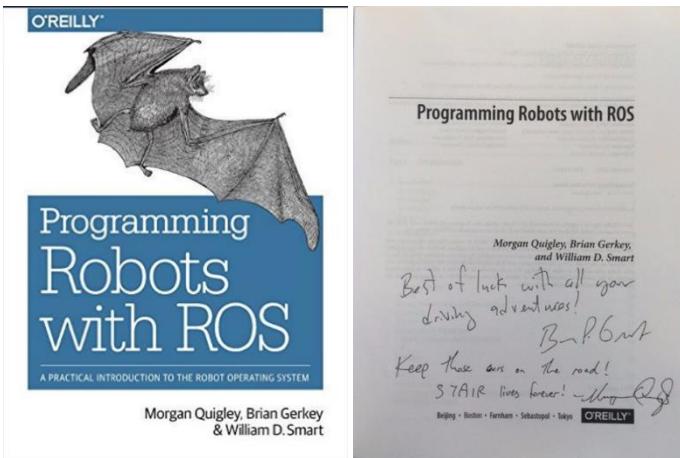


图 6.3: 学生们给老师们赠书《Programming Robots with ROS》<sup>7</sup>。莱恩·格基：祝无人驾驶探险，一切顺利。摩根·奎格利：让无人车上路吧！STAIR 万岁。

2012 年，摩根·奎格利终于博士毕业了，他选择作为首席架构师，与布莱恩·格基（Brian Gerkey，CEO）、罗伯特·弗里德曼（Roberta Friedman，CFO）、凯特·考尼（Nate Koenig，CTO）一起创建了“开源机器人基金会（Open Source Robot

<sup>7</sup> 本书已有中文译本

Foundation, OSRF)”。后来，柳树车库将 ROS 的开发和维护工作转移到新成立的 OSRF。

鉴于摩根·奎格利在开源软件 ROS 上的贡献，2013 年，他被《麻省理工学院科技评论》(MIT Technology Review) 杂志评选为 35 岁以下杰出青年创新人物<sup>8</sup>。



图 6.4：32 岁的摩根·奎格利评选为 35 岁以下杰出青年创新人物

随着 ROS 逐渐稳定，摩根·奎格利的精力专项各类机器人开发。工作如果走进摩根·奎格利的在开源机器人基金会位于办公室，会看到散乱在桌子上的机械手、机械臂、和大大小小的嵌入式芯片。摩根·奎格利一直致力于将 ROS，尤其是将新的 ROS2 应用在低成本、低功耗的嵌入式系统上。这样的嵌入式系统可以广泛应用到机器人手臂和各类柔性操控装置上。拿摩根·奎格利设计的四指机械手为例，四个指头的运动并不是由单个 CPU 来控制，而是由十几个独立的低成本、低功耗的嵌入式微处理器来控制，每个手指关节由一个单独的微处理器来控制。这样的分布式设计和控制方式可以极大的简化控制过程的通讯问题。

---

<sup>8</sup> 该杂志每年评选出一批优秀的科技人员，评价标准是看，他们的工作是否具有改变世界的巨大潜力。

---



图 6.5: 左: 摩根·奎格利设计开发的四指灵巧手, 采用分布式的低成本、低功耗的嵌入式微处理器来控制手指的运动。中: 四指灵巧手与机器臂配合抓取物体。右: 摩根·奎格利设计开发的一种低成本的机械臂。

## 7. ROS 被 OSRF 托管

2012 年，柳树车库机器人成立了一家新公司，“开源机器人基金会（Open Source Robotics Foundation，简称 OSRF）”，这是一家非盈利性的机构。成立的初衷是希望通过接受企业赞助的方式，让 OSRF 独立推动 ROS 的发展。这样在柳树车库的主页上，ROS 的开发版本也永远停留在 OSRF 接受时的 G 版本上了。



图 7.1：柳树车库的主页上，ROS 永远停留在 G 版本上。

在车库原有负责 ROS 的开源软件开发部门的原班人马，转移到了新成立的开源机器人基金会。在柳树车库一直无法找到合适的盈利点的时候，成立这样一个非营利性的组织，不失是一种明智的选择。这样的组织可以接受个人、政府和公司的捐助生存下去。新成立的“开源机器人基金会”的创始人兼 CEO 不是别人，正是在车库负责 ROS 的开源软件开发部门的布莱恩·格基（Brian Gerkey）。

格基毕业于南加州大学（South California University），大学期间就热衷于机器人开源软件，他负责开发 Player 机器人开发环境，影响力非常大。博士毕业后，他到斯坦福大学人工智能实验室做博士后，在那里认识了前面提到的在人工智能实验室的其他好友。在斯坦福工作了三年，格基在斯坦福研究院的人工智能中心找了一份工作，2008 年加入车库，从 2009 年起开始负责开源软件开发部门。

格基是 ROS 开发者和主要推动者之一。2011 年，由于格基在 ROS 和 Player 开源软件的贡献，他被《麻省理工学院科技评论》(MIT Technology Review) 杂志评选为 35 岁以下杰出青年创新人物。

2012 年，“开源机器人基金会”成立的时候，也正是摩根·奎格利 (Morgen Quigley) 博士毕业的时候。这样布莱恩·格基，罗伯特·弗里德曼 (Roberta Friedman)，凯特·考尼 (Nate Koenig) 和摩根·奎格利作为 4 位共同创始人，一起创建了“开源机器人基金会”。其中布莱恩·格基为首席执行官 (CEO)，负责基金会的全面工作，罗伯特·弗里德曼为首席财务官 (CFO)，凯特·考尼为首席技术官 (CTO)，摩根·奎格利为首席架构师。



图 7.2：布莱恩·格基 (CEO)，罗伯特·弗里德曼 (CFO)，凯特·考尼 (CTO) 和摩根·奎格利 (CSA)

在“开源机器人基金会”的推动下，ROS 先后发布了 Groovy, Hydro, Indigo, Jade, Kinetic Kame, Loggerhead, Melodic Morenia 等版本。

除了负责 ROS 的开发和维护，“开源机器人基金会”同时推动机器人仿真平台 Gazebo 的开发。

“开源机器人基金会”另外一位联合创始人是思特菲·派姬 (Steffi Paepcke)。派姬 2009 年以实习生的身份进入车库，参与人机交互组 (Human-Robot Interaction) 的工作，这时的部门经理是蕾拉·高山 (Leila Takayama)。

在车库，除了工程技术人员，还有有一些非工程性的科学家，如心理学家，认知学专业的研究人员，主要研究人与机器人交互问题，如：怎样的机器人外形，才不会

让人看着觉得害怕，更容易让人接近。在车库，蕾拉·高山带领的小组就是从事这样的研究。他们通过理论研究和用户体验，观察人们对机器人感觉，例如机器人身高、机器人外观，机器人眼睛应该安装在哪里等，来指导机器人的外观设计。当然蕾拉·高山后来创建了自己的公司，又去了 Google X 部门，最近又返回大学做了教授。蕾拉·高山也是硅谷的风云人物，2012 年，31 岁的蕾拉·高山评选为 35 岁以下杰出青年创新人物，这是题外话了。



图 7.3：派姬在车库时期的上司高山。2012 年，31 岁的高山评选为 35 岁以下杰出青年创新人物。

回来讲派姬。正是在车库实习期间，思特菲·派姬第一次见到了正真的机器人：PR2，觉得有趣极了。思特菲·派姬在斯坦福大学获得学士学位，专业是心理学。看到机器人，促使她考虑如何将自己的专业心理学和机器人做结合。实习结束，派姬马上去了卡内基·梅陇大学继续深造，选择了人机交互方向读研究生。毕业后，又回到车库，后来，又作为联合创始人创建了“开源机器人基金会”，在这个机构里领导 人机交互组，也就是她以前的上司蕾拉·高山负责的工作。2016 年，因为丰田投资了“开源机器人基金会”，公司结构做了调整，派姬去了“丰田研究院”。

OSRF 接手 ROS 的一切事宜后，柳树车库不再拥有对 ROS 任何管理和控制权。

## 8. ROS 开发者大会

在 ROS 的发展历程中，有两件非常重要的事件，其一就是成立了独立运营的“开源机器人基金会”，推动 ROS 的发展；其二就是每年举办的 ROS 开发者大会。

随着 ROS 社群不断的壮大，在 2012 年 5 月，“开源机器人基金会”组织了第一届 ROS 开发者大会（简称 ROSCon）。那一年的 ROS 开发者大会在美国明尼苏达州，圣保罗市举办。选择在这里举办，主要是因为当年 IEEE 机器人与自动化国际会议（简称 ICRA）也在圣保罗市举办，这是全球最大的机器人会议，每年有几千人参会，“开源机器人基金会”希望借助机器人与自动化国际会议的机会，扩大影响力。“影响力”是“开源机器人基金会”的首要目标。

从 2012 年的 ROS 开发者大会共有 200 多名参赛。被内部称为 ROS 之父的摩根·奎格利做了大会的主题报告《ROS 的昨天，今天，明天》，特别回顾了 ROS 的发展历程。那时的奎格利还是斯坦福大学的学生，他对系统软件系统的驾驭能力，已经得到广泛的认可。奎格利行事非常低调、性格也非常羞涩，大多数时间在研究他的机器人项目。奎格利通过大量的项目实践，深刻认识到机器人系统软件的重要性。市面上可以看到很多机器人硬件，我们也经常看到创业公司很快就宣称开发出一款机器人或关键硬件零部件，可是常常受困于软件的开发。这些困难可能是用户看得见的用户界面设计、也可能是系统软件集成、也可能是数据的可视化、甚至是系统的仿真，常常无法让人满意。机器人公司常常热衷于硬件开发带来的愉悦，而忽略这些软件的重要性。奎格利通过斯坦福的 STAIR 机器人项目，发现现有的机器人软件远远落后于硬件，这也促使他花了大量的精力做软件的开发，以及后来的 ROS 的设计。

奎格利毕业后，成为“开源机器人基金会”联合创始人。



图 8.1：2012 年第一届 ROSCon 上，奎格利做了大会唯一的主题报告《ROS 的昨天，今天，明天》

除了奎格利的主题报告，这一年的 ROSCon 还有一位大卫·鲁（David Lu）年轻人为大家分享的 URDF（统一的机器人描述格式）。URDF 是一种特殊的 XML 文件格式，用来定义和描述一个机器人关节间的相对关系和位姿。跟奎格利一样，那时大卫也还是一名学生，在圣路易斯华盛顿大学读博士学位。大卫利用空闲时间，为 ROS 编写了一些 URDF 的教程。大卫现在是圣路易斯华盛顿大学计算机系的教师。

来自柳树车库的两位科学家，一位是印度大叔萨钦·启德（Sachin Chitta），另一位是德国小伙伊万·苏坎（Ioan Sucan），介绍了 ROS 里的一个重要软件 MoveIt!。MoveIt! 目的是为机器人移动底盘、机械臂易于使用的开发平台，它融合了环境感知、运动规划、路径规划、机械臂操控、运动学、控制和导航等方面的最新成果，已经被广泛应用于工业，商业，科研领域。其中香港大学的潘佳老师开发的 FCL（Flexible Collision Library）就是在柳树车库实习期间与启德等人一起合作开发的，并用在了 MoveIt! 中，当时潘佳老师还是美国北卡大学教堂山分校（The University of North Carolina at Chapel Hill）的一位博士生。作者当时在美国北卡大学教堂山分校与潘佳在一个实验室工作。

当然，现在的 MoveIt! 已经成为工业机器人使用最广泛的开源操控软件，启德和苏坎正是 MoveIt! 的创始人。启德后来创建了 Kinema 系统公司，世界上第一个将深度学习和 3D 视觉解决方案用于工业机器人搬运。启德于宾夕法尼亚大学 GRASP 实验室获得博士学位。

本次开发者大会还包括其他非常多有趣的报告，比如，如果为机器人写 ROS 驱动、如何在 Windows 平台式用 ROS、如何用 JAVA 语言写 ROS 程序、ROS 里 tf 介绍、ROS 是实时性问题、如何用 ROS 维基提供的教程学习 ROS 等等。

从 2012 年第一届开始，ROSCon 每年都会举办一次，一般都是在 5 月份或 10 月举办。随后的几届分别在德国斯图加特（2013 年）、美国芝加哥（2014 年）、德国汉堡（2015 年）、韩国首尔（2016 年），加拿大温哥华（2017 年），西班牙马德里（2018 年）举行。2012 年与 2013 年 ROSCon 跟随 IEEE 机器人与自动化国际会议在每年的 5 月举办。从 2014 年起，ROSCon 跟智能机器人与系统国际学术会议（简称 IROS）同期举办，IROS 是机器人领域全球规模最大、最具影响力的学术会议之一，创办于 1988 年，每年举办一届。





图 8.2: ROSCon 的海报与举办地: 美国圣保罗 (2012) , 德国斯图加特 (2013) 、美国芝加哥 (2014) 、德国汉堡 (2015) 、韩国首尔 (2016) , 加拿大温哥华 (2017) , 西班牙马德里 (2018) 。作者乘着参加 iROS 的机会顺道参加了 2018ROSCon, 非常受启发。

ROSCon 的会期一般为两天, 来自全球的 ROS 开发者聚集在一起分享, 共同讨论 ROS 的新技术、新应用和未来的发展方向。一般来自“开源机器人基金会”的分享者比较多, 主要告诉大家 ROS 的一些最新变化和未来的计划。从 2016 年起陆续有来自中国的团队做简短的分享, 比如来自深圳的蓝胖子机器人、来自山东济南的汤尼机器人。来自上海的硅步机器人也时常出现在赞助商的行列中。

为了推广 ROS 的教育, 2012 年, 第一本讲解 ROS 图书《ROS by Example》(R · 帕特里克 · 戈贝尔 著), 该书的中译本为《ROS 入门实例》, 由上海硅步和中山大学机器人实验室助理教授胡安 · 罗哈斯翻译。胡安 · 罗哈现在广东工业大学工作。

自 2012 年以来, 随着 ROS 框架的逐步完善, ROSCon 的举办, 全球开始有越来越多的开发者学习并将其应用于自己的机器人开发项目中。2013 年, 越来越多的企业开始重视 ROS 开发框架的应用, 并招募相关人才。但 ROS 机器人开发框架的学习, 涉及非常广的知识面, 不仅要求开发者熟练掌握各种软件开发技术, 还要熟悉机器人硬件方面的知识, 针对具体的应用开发还需要对相关行业的背景知识有所了解。虽然从 2013 年开始, ROS 学习资源匮乏的状况有所改善, 学习 ROS 和利用 ROS 进行机器人开发对大多数人来说仍旧是一个痛苦的过程。在这样的背景下, 2015 年 7 月作者与国内同行一起在上海举办了国内第一届 ROS 暑期学校, 邀请了 ROS 资深科研人员和开发者为广大 ROS 学习者和 ROS 工程开发人员提供一次快速、深入学习 ROS 的

机会。同时也邀请了智能机器人相关企业，为广大创业者、行业工作者、爱好者提供了一次行业信息交流的平台。随后 2016、2017 年，在上海举办了第二届和第三届 ROS 暑期学校。2018 年 7 月在深圳举办了第四届 ROS 暑期学校，四年时间共吸引了全国 200 多所高校（包括台湾，香港，澳门）约 1000 多名硕士、博士研究生，以及全国各地共上百家机器人企业界人士参与。

ROS 开发者大会，以及在全球举办的各类 ROS 活动对推动 ROS 的普及和推广起了关键作用。

2018 年 ROSCon Japan 举办。



图：ROSCon Japan

## 9. ROS 乌龟的起源

每一个 ROS 版本的发布，都伴随着一个新的乌龟吉祥物和小图标。

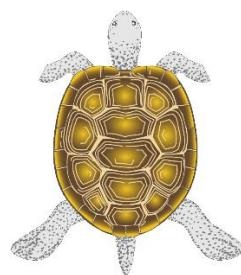
很多初学者，甚至有一定经验的人都不了解为什么 ROS 要用乌龟，ROS 的设计者是怎么想的？



Box Turtle



C Turtle



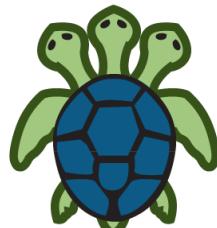
Diamondback



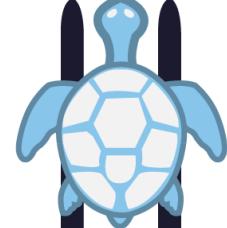
Electric Emys



Fuerte Turtle



Groovy Galapagos



Hydro Medusa

Indigo Igloo



Jade Turtle

Kinetic Kame

图 9.1: B-K 10 个 ROS 版本乌龟小图标

Turtlesim 里的乌龟图标则是由思特菲·派姬 (Steffi Paepcke) 设计的。每一个小图标都跟乔许·埃林森设计的乌龟吉祥物相关联，从颜色，风格，主题保持一致。

ROS 在英语中，表示“龟”有两个词，一是 Tortoise，二是 Turtle。容易搞混。

- Tortoise 指陆上生长的乌龟。
- Turtle 泛指各种乌龟，陆生的和海里的。海龟则称为“Sea Turtle”。

国人在英文课本学的是 Tortoise，比较少见 Turtle。

在美国，很多孩子从小就开始学习编程了。当然，也有不少中国学生在很小的时候学习编程。我有一位大学同学，在父母的支持下，初中阶段就能够接触电脑，开始学习编程了，那个时候大多数人连电脑是什么都没听说过。到了大学，在其他同学都在凑钱买电视的时候，我这位同学已经拥有了一台自己的个人电脑，而且开始为公司做一些软件开发项目了。也许是受他的启发，很多同学后来走上了软件开发的道路，赶上了互联网的大潮。现在从小学编程的人已经很多了，有各种培训班和网上课程。

为了让小孩子学编程容易上手，就会有人开发一些适用于孩子的编程语言和编程环境。这样的编程环境尽可能避免复杂的操作，至少没有让人眼花缭乱的界面。比如，

现在面向小朋友比较流行的编程有美国麻省理工学院开发的小猫（英文名 SCRATCH）简易编程，卡耐基梅隆大学开发的爱丽丝（ALICE）三维图形编程环境。通过简单的拖动图标就可以进行编程，这样的编程环境使得学习门槛大大降低了，可以让小孩子的注意力集中到程序设计上。

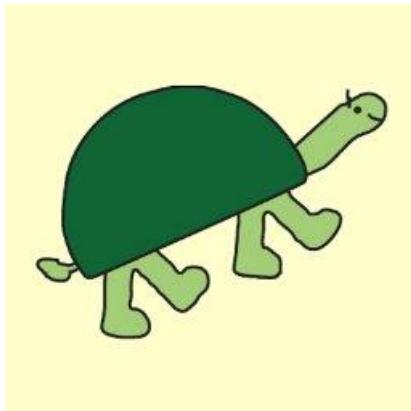


图 8.2：乌龟图标

车库的创始人和早期员工都是软件工程师，他们大多很小的时候就开始学习编程。那时他们用的是 LOGO 语言<sup>9</sup>，一种面向儿童的计算机编程语言。LOGO 语言的发明人是一个叫西摩尔·帕普特（Seymour Papert）南非人。帕普特年轻的时候也是热血青年，赶政治时髦，参与南非的反对种族隔离的运动。在 24 岁时，在自己的祖国南非金沙大学拿到了第一个数学博士学位，30 岁的时候又到英国剑桥大学拿到了第二个数学博士学位。随后，他奔赴瑞士日内瓦，追随著名教育家和心理学家让·皮亚杰（Jean Piaget）学习研究儿童发展的理论，后来他的所作所为正是受这段经历的影响，思考如何利用数学去理解和解释学习者，尤其是儿童的学习与思维。帕普特在一次学术会议上与人工智能研究的先驱马文·明斯基（Marvin Minsky）相识，明斯基邀请帕普特来到美国麻省理工学院（MIT），60 年代两人共同创办了大名鼎鼎的 MIT 人工智能实验室，帕普特后来又创建了 MIT 媒体实验室。

---

<sup>9</sup> Logo 一词源自希腊语逻各斯（logos），意为“思想”

---



图 8.3：马文·闵斯基 和 西摩尔·派普特在 MIT

在 MIT 媒体实验室，他发明了 LOGO 语言，希望用电脑来帮助儿童更好地学习，之后的很多时间帕普特都致力于理解儿童是怎么学习的，儿童到底在学习什么，怎样才能更好地帮助儿童学习。

帕普特有一句非常著名的话，他说，我们要关心怎么才能让孩子对电脑进行编程，而不是让电脑对孩子进行编程。早在 60 年代，在电脑还没有走进千家万户的年代，帕普特就在想，怎么才能让电脑成为孩子学习的好帮手，让孩子成为电脑的主宰，让孩子通过电脑这一媒介来表达自己，产生各种创造性的思想。帕普特关心的是怎么提供一种建构式的学习，而非灌输式的教育。帕普特早年从皮亚杰那里学到了关于儿童行为及心理的很多东西，而这些经验直接影响了他后来的研究和工作。

为了让孩子也能用使用电脑做点有意义的事情，帕普特发明的 LOGO 编程语言非常简单，任何一个小孩一天就能学会。在 LOGO 的图形系统的虚拟世界里有一只小乌龟，编程学习者可以通过输入指令，让海龟在画面上走动，可以向上下左右，或者是按照你指定的角度移动。还可以让小海龟以加速或减速移动，也可以让小海龟重复某一个动作。这些指令看似简单，但假如能将其进行合理的组合和排序，编程学习者就可以创造出各种东西，包括人、房子、汽车、动物、抽象图案，甚至有人还专门写了一本 600 多页的书（书名就是 *Turtle Geometry*，乌龟几何），发掘 LOGO 带给人们的无限可能。

LOGO 语言是针对儿童而制作的编程语言，因为对于儿童来说，“画画”比“文字处理”更有吸引力。LOGO 采用的“海龟绘图”方式，充分引起儿童的兴趣和学习

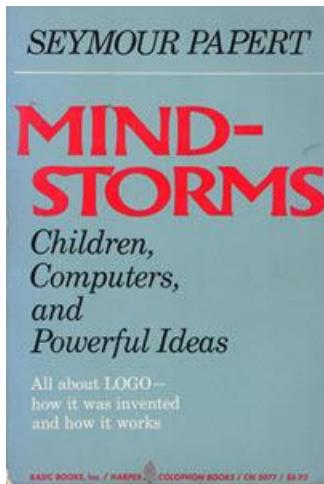
计算比编程的积极性。因此，那个动来动去的小海龟在所有编程学习者里，最深入人心。

ROS里面有一个 turtlesim 系统，就是受 Logo 的海龟绘图系统启发，帮助人们学习 ROS 而设计的。Turtlesim 的乌龟形象，甚至程序指令和 Logo 里面都是一模一样的。ROS 第一个版本的吉祥物 Box-Turtle 就是模仿 Logo 程序设计语言的吉祥物，一只小海龟。现在还有不少为孩子设计的 APP 采用乌龟的形象。比如下面这个 Move The Turtle 编程 APP。



帕普特的研究和实践给无数的教育工作者带来了启发，尤其是 Mindstorms 一书，虽然是诞生于个人电脑尚未普及的 70 年代末，但书中的思想即使是今天读起来依然让人感觉是超前的。

---



他曾与明斯基合著 Perceptrons 一书。Facebook 的人工智能研究主管伊恩·勒坤（Yann LeCun）在读大学的时候听说了「perceptron」的概念后，激发了对学习型机器的热情，虽然业界普遍认为这本书是让刚诞生的神经网络胎死腹中，但勒坤说，他一直都是帕普特的粉丝。

为了让电脑编程更有趣，帕普特还设想了一个用电脑控制的机器人。或许他并不知道，有一位叫威廉姆·格雷·瓦尔特（William Grey Walter）的神经科学家已经制作了一个类似的机器人。

## 10. 乌龟机器人

瓦尔特 1910 年出生于美国<sup>10</sup>，幼年由于父母的缘故，来到英语求学。后来成为一名神经科学家。一生多数时间在美国做研究。为了研究大脑和神经反应，1948 至 1949 年间，瓦尔特制作了一个被自己称为“机器冒险者（拉丁语为 *Machina Speculatrix*）”的机械装置。希望通过让机器装置来模仿人类，研究神经反应和人类的行为。“机器冒险者”采用了三轮结构，一个转向轮，两个驱动轮。前面的转向轮用于控制方向，两个后轮用来驱动整个机构。

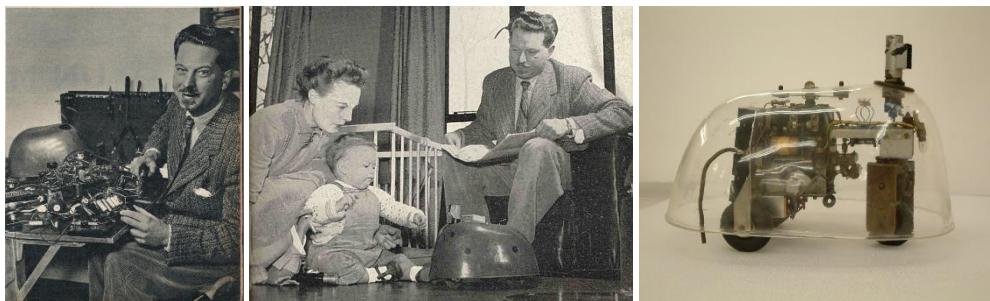


图 10.1：瓦尔特和他的“机器冒险者”。

瓦尔特在这个三轮“机器冒险者”的上面遮盖了一个外壳，看起来非常可爱，像一只大乌龟。人们称其为瓦尔特的“乌龟”，这只“乌龟”也是人类历史上第一个自主移动的机器人。

瓦尔特的“乌龟机器人”对机器人学、人工智能产生重大影响。很多人在瓦尔特的“乌龟机器人”影响中成长起来。

其中，1956 年有一位大学生伊万·苏泽兰（Ivan Sutherland）给瓦尔特写了一封信，信中苏泽兰虚心地向瓦尔特请教、征求意见。

谁是伊万·苏泽兰？

---

<sup>10</sup> 可参考 The robotics primer by Maja J Matarić, 2007. 2017 年出了中译本《机器人学-经典教程》

---

伊万·苏泽兰 1938 年出生于美国，ACM 图灵奖获得者，图形用户界面（Graphical User Interface，简称 GUI）的发明者，我们现在用的 Windows 界面就是一种图像界面，他还发明了 SketchPad，允许用户直接用笔在屏幕上画图，是手指交互的先驱（智能手机上用手机交互），当然那时候是用一支笔进行交互。他还是头戴式虚拟现实头盔的发明者，我们现在看到的 HTC VIVE，Play Station VR 就是这类设备，这位伊万·苏泽兰被后人称为“虚拟现实之父”。

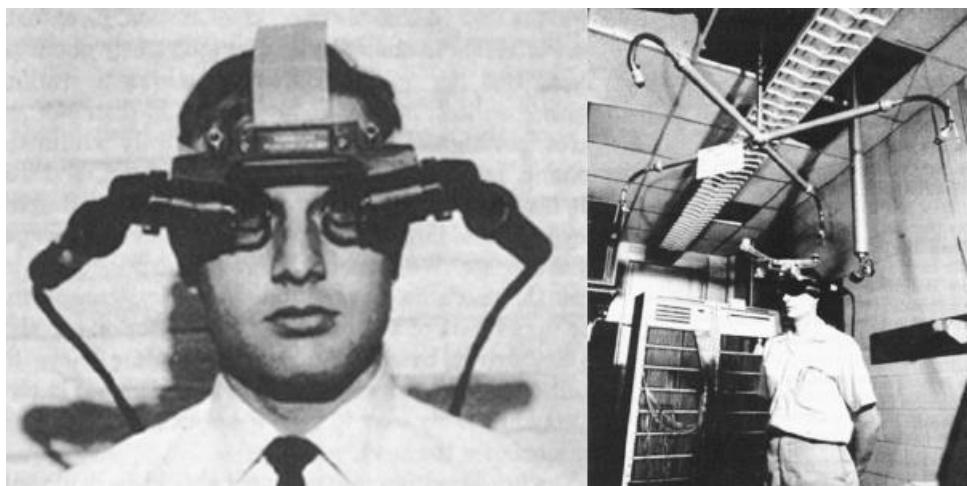


图 10.2：伊万·苏泽兰与虚拟现实。

2016 年苏泽兰还受邀来到上海，做了一场报告。

TO: Dr. G. Walter.

Box 299  
Carnegie Institute  
of Technology,  
Pittsburgh 13, Pa. USA  
10 November, 1957

Dear Sir:

Early last month I had sent to you two copies of a paper entitled "An Electro-mechanical Model of Simple Animals" which was submitted by my brother, Bert (William R. Sutherland), and his close friend, Mac (Malcolm G. Mugglin), to their department of Electrical Engineering. Perhaps a little of the history of that paper would be of interest to you.

I am now a Junior (3<sup>rd</sup> year) at Carnegie Tech, also studying electrical engineering - in this and many other things I have followed the lead of my brother. Bert is two years older than I, recently became married and is now on active duty as an officer of the U. S. Navy. Our interest in mechanical and electrical things probably comes from our father, a Civil Engineer from New Zealand: Ph. D. from London, but our first good luck and stimulation came when we met Edmund C. Berkeley in 1952.

Mr. Berkeley took an interest in the work that we had already done, namely a simple adding machine, and encouraged us to continue, both by suggesting problems and by providing funds for their solution. During the period October, 1952 to June, 1955 we worked under the guidance of Mr. Berkeley. We did a major portion of the work on a mechanical maze solving mouse similar to one constructed by Claude Shannon of Bell Labs. During the later part of this same period, Bert left home for College, and I continued our work alone.

During this contact with Berkeley's organization we often saw "squee", his mechanical squirrel; this was our first contact with the species of mechanical animals. Our next contact came when we read your The Living Brain. We were both interested in all the things you have done, but most familiar with the mechanical and electrical aspects, and most interested in your Machina speculatrix. Can you imagine the joy of two young people reading about important work accomplished far away in a field they were just becoming a part of?

It was no surprise to me when Bert suggested, about Christmas of 1955, that we build a mechanical animal also. On page 45 of Bert's thesis is a picture of the first crude result. When this

first model was finished, about May, 1956, Bert for some reason lost interest in the project for a time. During this period, May to December, 1956, I continued work on the second model, the one which finally became the subject of the paper sent you.

About Christmas 1956, Bert decided to write his thesis. By the end of January I had finished making the frames, motor mounts etc for the models shown in the various pictures; these Bert took over, assembled and used as a basis for his work. Mechanically these machines were good; electrically they were incomplete, as the thesis shows. They had two big drawbacks however: the wet battery needed constant care, and by the way cost us many pairs of pants through acid holes; the machines were cumbersome and heavy.

At the moment, Bert is busy with a new wife and the Navy, so I am in charge of our project. To get around the two drawbacks mentioned above I have constructed a third type of beast. This new model, commonly called "beastie" because of its smaller size, uses dry cells for power, is entirely operated by transistors and proves to be the best we have yet accomplished. However, although I have the mere construction problems fairly well met, I have not yet obtained any results from this latest model. The problems which were not yet solved in when Bert's paper was written are still not solved.

Perhaps by now you are wondering just why I should write this letter. It is ~~not~~ a sort of news report, an information carrier rather than a questionnaire. I examine what we have done: we have a rather nice looking machine which will respond to light and avoid obstacles in a rather crude sort of way. We have a great many possibilities for future work. I examine what I think we should do next: proceed with communication and learning as interesting behavior. Perhaps making the machines (I'd like to build more of the new "beastie" type) play tag might be a good start. We need a better obstacle strategy.

Building these machines has been, to say the least, an education in itself. I have found time and time again that to us the problems of actual design and construction were fairly straightforward; the decisions such as I face now of what to do next are more difficult. Perhaps you have some ideas. I am, of course, curious to know what you think.

Yours very truly,  
John E. Sutherland  
John E. Sutherland

1967年MIT人工智能实验室的教授们发明了PDP1计算机，但是没有显示器。为了让孩子能使用这样的计算机，他们用电话线将计算机与一个机器人连在一起，通过机器人的运动来观察计算机的计算结果。受威廉姆·格雷·瓦尔特的“乌龟机器人”的启发，他们的机器人也有一个“乌龟”的外形。



图 10.3: PDP 1 计算机



图 10.4: MIT 的乌龟机器人

为了能够有效地控制这样的“乌龟机器人”，他们发明的 Logo 语言，并开发了一个仿真环境，显示乌龟的小图标。

设计 Logo 的本意是为了以某种合适的方式，向儿童教授计算机编程。后来的仿真环境就是 Logo 的海龟绘图（Turtle Graphics）系统，通过向海龟发送命令，用户可以直观地学习程序的运行过程，因此它很适合于儿童学习。

海龟绘图使得 Logo 用户可以通过简单的编程创作出丰富多彩的视觉效果或图案。假想一只带着画笔的海龟可以接受简单的命令，例如向前走 50 步，右转 90 度，再向前走 50 步，再右转 90 度。通过对这只海龟发送命令，可以让它绘制出较为复杂的图形，例如正方形，三角形，圆等。海龟的移动相对于它本身所在的位置。例如，命令“右 90”意味着让海龟右转 90 度，学习者可以站在海龟的角度来思考它将如何执行命令，这使得程序设计更加形象化，也更易于理解。



向前 50 步 右转 90 度 向前 50 步 右转 90 度

图 10.5: Logo 中的小乌龟

为了让编程更有趣，当时在美国施乐公司帕克研究中心（Xerox PARC）参考威廉姆·格雷·瓦尔特的工作开发了一款机器人，背上也背了一个大壳，可以在地板上运动。通过编程，输入指令，可以让这个机器人前进，还可以让它原地转动。它的动作非常慢，大家称其为“乌龟”。

人们用 Logo 语言来控制这个海龟的机器人。下图就是这个海龟机器人。海龟机器人底部有一只画笔，在移动和转动的时候，可以在地板上留下画笔的痕迹。根据计算机输入的指令和海龟机器人的移动，就可以在地面上画出不同形状的图形。

下图就是这个“乌龟”机器人。

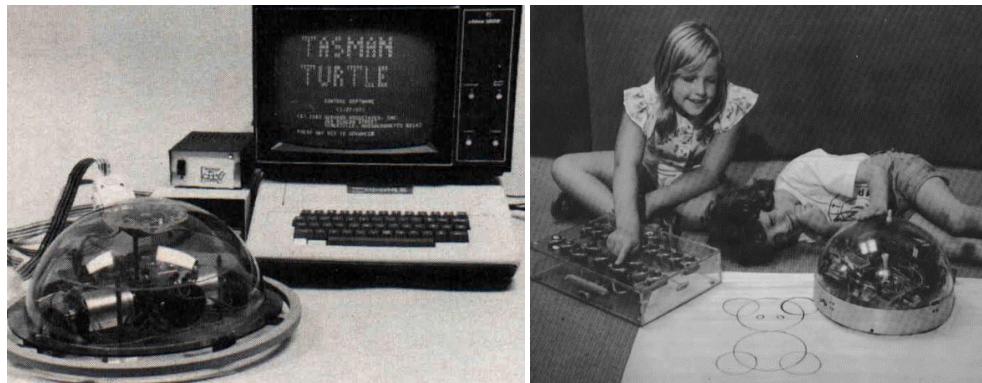


图 10.6：乌龟机器人与 Logo 编程语言

还有一些其他类型、现代版的乌龟机器人。

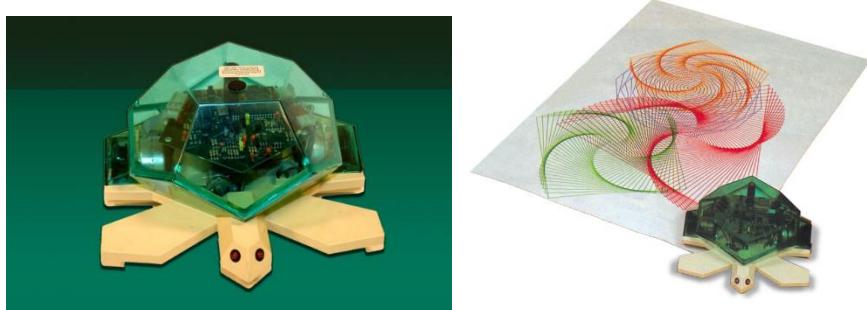


图 10.7：现代仿真的乌龟机器人

乌龟（Turtle）在机器人领域基本成了机器人的代名词了。有 TurtleBot 这样的名字，也就不足为奇了。

## 11. 乌龟设计师

每一个 ROS 版本的发布，都伴随着一个新的乌龟吉祥物，赏心悦目。

乔许·埃林森（Josh Ellingson）设计了几乎所有的 ROS 吉祥物，PR2 宣传形象，还有 ROSCon（ROS 开发者大会）的海报。

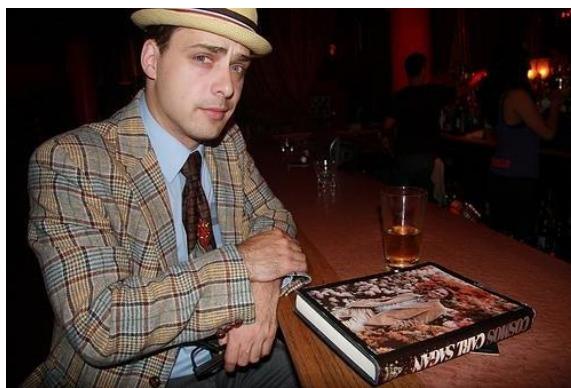


图 11.1：设计师：乔许·埃林森

2010 年，柳树车库带着 PR2 第一次参加了 RoboGames（俗称机器人奥运会），埃林森为车库设计了第一张海报。下图这张海报就是乔许·埃林森为车库设计的那张海报“ROBOT POWER”。



图 11.2：乔许·埃林森为车库设计的第一张海报。

在此之前，乔许·埃林森为 RoboGames 设计过海报，小有名气。风格也非常符合车库的口味，后来车库大大小小的海报，宣传美工就由乔许·埃林森负责了。乔许·埃林森是一位自由艺术家，为不同的商业活动设计宣传材料。



图 11.3：乔许·埃林森为 2008 年和 2015 年机器人奥运会设计的海报

我们不妨欣赏一下乔许·埃林森为车库设计的各种图案。如果经常看 ROS 或车库的博客，对其中的设计应该并不陌生。



第8章里有一些乔许·埃林森为ROSCON设计的海报。下图是乔许·埃林森为每个ROS版本设计的吉祥物。

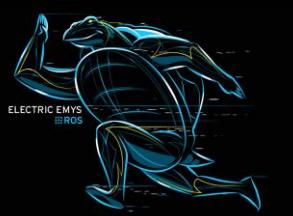
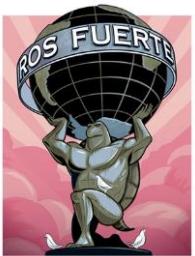
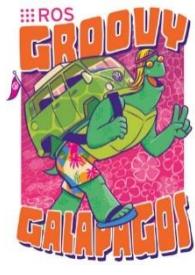
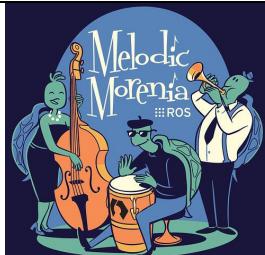
 :::Box Turtle		
2010年3月发布	2010年8月发布	2011年3月发布
		
2011年8月发布	2012年4月发布	2012年12月发布
		
2013年9月发布	2014年7月发布	2015年5月发布
		
2016年5月发布	2017年5月发布	2018年5月发布

图: ROS各版本发布的日期和吉祥物。



## 12. ROS 的名字和乌龟帮

ROS 英语称为 Robot Operating System，翻译成中文，就是机器人操作系统。这是一个具有误导性的名字，柳树车库内部并不是所有人都赞同使用这个名字。他们非常清楚这个软件系统并不是一个操作系统。这个名字太大了，太具有挑战性和侵略性。其实为了给这个软件起一个名字，大家确实费了不少心思，有一段时间，大家每天都要坐在一起，就像给自己的孩子起名一样，开开脑洞。比如曾经起过的名字有 PACKMOS，RMOS，PRP，ROSix，。。。。直到有一天，申请到了 ros.org 这个域名，命名的讨论才终于停止。这样，这个孩子有了一个后来响当当的名字 ROS。

在 2009 年初推出了 ROS 0.4 公众测试版（Mango Tango），这时的 ROS，以及后续的测试版本是用果汁的名字来命名的。ROS 0.4 发布在开源代码托管网站 SourceForge 上，供大家测试。为了能够让公众测试，柳树车库内部做了大量的测试工作。对于一个分布式系统，系统的稳定性是关键。这时候的 ROS 0.4 关注的仅仅是稳定性，尤其是机器人在连续工作几天后，整个软件系统是否依然能稳定运行，不会出现死机。ROS 0.4 发布之前的最后一项测试是让 PR2 机器人在 ROS 平台上稳定无误的运行 2 天，期间还要完成相当多的任务，比如在地面跑 3.14 公里，还要完成避障的任务。这个测试又称为“ $2\pi$ ”测试（2 天跑  $\pi$  公里）。成功通过这个测试后，ROS 0.4 才正式对外发布。

其实，大家可能注意到，即使是现在 ROS 版本，连续工作几天后，依然会出现系统崩溃的情况。ROS 的稳定性其实还没有很好的解决。

现在我们所用 ROS 的整体框架在 ROS 0.4 这个版本中已初具雏形了。在 2009，柳树车库连续推出了多个版本，5 月推出了 ROS 0.5 测试版（Mojito Mambo）。6 月推出了 ROS 0.6 公众测试版（Watermelon Chill）。7 月推出了 ROS 0.7 测试版（mo' beta）。9 月推出了 ROS 0.8 测试版（Tropical Energy）。10 月推出了 ROS 0.9 测试版（CMonster）。11 月推出了 ROS 0.10 测试版（Red Rhapsody）。2010 年 1 月推出了 ROS 0.11 测试版（berry blast）。



图 12.1: ROS 0.4 (Mango Tango) , ROS 0.5 (Mojito Mambo) , ROS 0.6 (Watermelon Chill) , ROS 0.7 (mo' beta) , ROS 0.8 (Tropical Energy) , ROS 0.9 (C Monster) , ROS 0.10 (Red Rhapsody) , ROS 0.11 (berry blast) ,

这样，经过近一年的测试后，终于在 2010 年初推出了 ROS 1.0 测试版。并在当年三月份推出了正式发行版本：ROS Box Turtle。ROS 的第一个版本为 B，就起名 Box Turtle，C 是 C Turtle，D 是 Diamondback。而且相应的单词还要跟乌龟有关。到现在（2018 年 5 月）已经发行了 12 个版本，最新版本是 ROS Melodic Morenia，上一个版本是 L 版，就用 ROS Lunar Loggerhead。



图 12.2 ROS 的乌龟情结

我现在看到 ROS 的每一个版本是按照英语字母顺序，取字母表中对应的字母依次命名。这也与我们常见的飓风命名方式一样：1947 年美国气象局和军方合作，首次给热带气旋命名，给当年第四号飓风起了个名字 George，但因为在当时这不能算是正式的名字，所以并没有公布于众。直到 1950 年，美国气象局才开始系统地给热带风

暴和飓风命名，方式是按照字母顺序，取拼写字母表中对应字母的代码。比如轮到 A，就起名 Able，B 是 Baker，C 是 Charlie。这套字母表是二战时期英美加部队使用的（参见 Joint Army/Navy Phonetic Alphabet）。

从 E 版本开始<sup>11</sup>，ROS 的命名就开始借鉴 Ubuntu 的命名方法，用一个形容词加一种乌龟名来命名。形容词和乌龟名的首字母要跟代表版本的字母一样。比如 E 版本是 Electric Emys（电动+泽龟）来表示。

前面几个版本的名字是车库自己内部取得。到后来，车库，及 OSRF 也不知道如何取名，就成立了一个 ROS 起名委员会，征求大家的意见。比如等 Lunar Loggerhead 名字确定后，2017 年 5 月就开始讨论 M 版本应该用哪个名字，最后命名委员定为 ROS Melodic Morenia。

---

<sup>11</sup> <http://www.chelonia.org/byspecies.htm#H>

## 13. ROS 第一只乌龟

车库在 2010 年初完成了 ROS 1.0 版，并在当年三月份推出，这个正式发行版本命名为 ROS Box Turtle（箱龟）。随着机器人毕业舞会的举办，PR2 挥舞着 ROS 大旗，标志着 ROS 的正式登上了历史舞台。

这时的柳树车库，已经 3 岁多了。哈森亲自招募的第一批员工，乔纳森·斯塔克（Jonathan Stark），麦罗尼·威瑟（Melonee Wise），科特·梅耶斯（Curt Meyers），约翰·苏（John Hsu），开始逐步把各自的工作重心转移到 PR2 机器人上。



图 13.1：麦罗尼·威瑟（Melonee Wise），科特·梅耶斯（Curt Meyers），and 约翰·苏（John Hsu）

如果按柳树车库最初的计划，5 月举办的那场机器人毕业舞会上的 PR2，一开始并不是整个实验室的主角。

柳树车库初期，哈森招募这些员工的目的是希望做无人车和无人艇。他认为这样的项目才有足够的影响力，有足够的市场，也有足够的难度。这样的项目才能够改变人类发展的轨迹，才算是大事情。哈森资助了伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校毕业的威瑟和德里克·金（Derek King），帮助他们的团队参加了“DARPA 城市无人车挑战赛”资格赛。这个挑战赛的目的是研发出典型城市环境下时速超过 48 公里的无人车。随后图利·弗特（Tully Foote）也加入团队。图利·弗特毕业于加州理工学院，参加过无人车挑战赛，具有丰富的经验。然而，万万没想到的是，谷歌也在开展一个称为 Chauffeur 的无人驾驶汽车项目。哈森是谷歌的股东，因此无意跟自己好

朋友的公司进行竞争，尤其是他知道无人车是谷歌的核心项目，这时候的谷歌已经强大到很难去挑战了。哈森意识到问题的严重性，马上就停止了无人驾驶汽车项目。后来委托另外一个公司开发的无人船项目也无疾而终。



图 13.2：柳树车库机器人最初开展的两个项目：无人车与无人船。

这时候的柳树车库处于初期的扩张期，哈森不停地寻觅人才，希望招募更多的人。哈森想到了史蒂夫·库辛斯（Steve Cousins）。哈森和库辛斯早就认识。库辛斯当年在圣路易斯华盛顿大学获得硕士学位后，就留在了这所华盛顿大学医学院工作，做一些医疗信息系统的研究工作。当时库辛斯招了一位圣路易斯华盛顿大学的学生做实习生，这位实习生就是哈森，就是我们这位柳树街的房东，后来的亿万富翁。

后来，库辛斯觉得工作无趣，申请到斯坦福大学读博士，不久斯哈森也来斯坦福大学读研究生（后来研究生并没读完），他俩还是同一间办公室的室友。再后来，库辛斯博士毕业去了施乐帕克研究中心，哈森辍学创立了 eGroups，还投资了谷歌。随着 eGroups 卖给 Yahoo，谷歌上市，哈森就成了亿万富翁。库辛斯在施乐工作一段时间，跳了几次槽，最后到了 IBM。

哈森和他的柳树车库机器人公司有钱，有场地，就是缺人陪他玩。哈森自然就想到了他的好朋友，他的老师，他的实验室伙伴库辛斯。这时的库辛斯在施乐和 IBM 积累了丰富的项目和团队领导经验。



图：史蒂夫·库辛斯（左）和斯科特·哈森（右）。

当斯哈森邀请库辛斯一起干一番大事业时候，机器人并没有什么市场，但是经过亿万富翁哈森的一番劝说，库辛斯还是同意离开 IBM 公司，加入柳树车库，并担任 CEO，领导整个公司。但是他们还是很清楚的意识到，短期内通过机器人赚钱还不是时候。因为不知道个人机器人的市场在哪里。这其实也是很多国内服务机器人面临的困境。

因此，先期柳树车库把自己定位于一个机器人实验室，致力于机器人相关技术的积累。他们为柳树车库定下的宗旨是：**影响力第一，商业回报第二**。也就是说，先不管市场，先把机器人造出来，在这过程中逐渐探索商业途径。在这两人的努力下，柳树车库得到了相关机构的赞助，赞助费每年可以聘用 60 个研究者。

找人是当前首要的任务。库辛斯在斯坦福认识不少人，有一天库辛斯告诉斯科特·哈森，带你去看看两个小孩做的东西，这两个小孩就是后来负责 PR2 项目的基南·威罗拜克（Keenan Wyrobek）和埃里克·博格（Eric Berger）。基南·威罗拜克和埃里克·博格当时正在斯坦福大学用木头打造 PR1 机器人原型（PR2 机器人的上一代）。有了柳树车库的支持，威罗拜克不再读博了，博格也刚好硕士毕业，两人一起加入柳树车库共同负责 PR2 项目开发。

后来，柳树街的狂欢散场后，斯科特·哈森和蒂夫·库辛斯分别带领人马，成立了 Suitable 替身机器人公司和 Savioke 机器人公司。Suitable 推出了 Beam 远程会议替身机器人。这种远程会议替身机器人可以让在远程工作的企业员工感觉对方就在自己身

边。有了这种机器人，无法到达会议现场的人就可以利用 Beam 在办公室与许多同事一起开会、交流。而 Savioke 主打酒店服务机器人，其开发的 Relay 机器人可以为酒店房间运送牙刷、毛巾和其他日用品。在“柳树车库”是虽死犹荣的伟大的硅谷公司，他为机器人发展和市场开拓奠定了基础，“柳树车库”没有人失败，“乌龟帮”们各举大旗，扛起了改变世界机器人产业的重任。



图：斯科特·哈森（左）创建了 Suitable 机器人公司，史蒂夫·库辛斯（右）创建了 Savioke 机器人公司。

柳树出库的重心在 PR2 上，这时候的 ROS 也是围绕 PR2 进行开发。第一版 ROS 对外发布的时候，车库设计了 ROS 的第一只乌龟吉祥物。当然这只乌龟实在没什么创意，那完全就是抄袭计算机 Logo 语言的那只乌龟。

最初的 ROS 的软件包，以软件包集（Stack）的形式组织在一起，每一个软件包集将主题相似，相互依赖的软件包封装在一起。在这个版本中，ROS 的软件包被封装在 60 多个软件包集中。ROS 一开始完全是为 PR2 机器人设计的，这些软件包大多是跟 PR2 机器人相关。这时的 ROS 又将所有的软件包和软件包集分成 3 大类，包括：base，pr2，pr2all。

- **base**: 机器人通用的软件包，初学者比较容易接触到的 navigation, visualization 就包含在这个大类中。

- pr2: 为 PR2 机器人设计的软件包，相对稳定的软件包放在这个大类中。。
- pr2all: 所有为测试 PR2 机器人设计的各类软件包，包含一些没有经过完整测试，性能尚不稳定的软件包。如果测试稳定后，有可能就会放到 pr2 软件包集里。在第一个 ROS 版本中，大多数与 pr2 相关的软件包集都处于不断开发中，稳定性较差。所以 pr2all 中的软件包比较多。

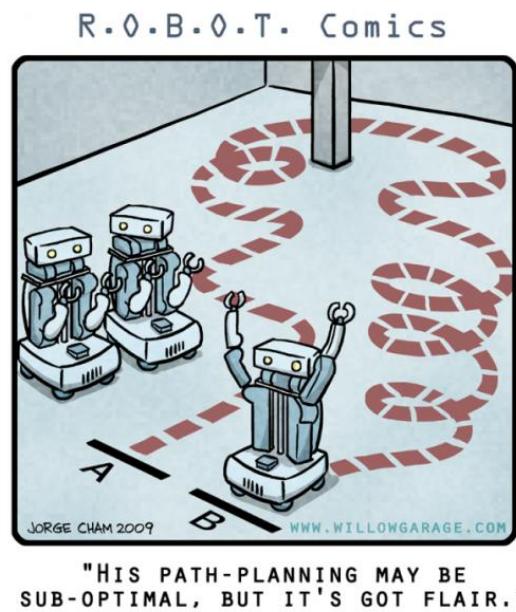
我们以这两个软件包 navigation 和 rviz 为例简单说明这些软件包的功能。navigation（导航）功软件包集，从里程计和其他传感器提取信息，并将计算得到的速度命令发送给移动机器人运动底盘。

## 14. ROS 导航与 hiDOF

ROS 里的导航（navigation）软件包集的作者是埃坦·马德-爱泼斯坦(Eitan Marder-Eppstein)。埃坦·马德-爱泼斯坦毕业于圣路易斯华盛顿大学 (Washington University in St. Louis)，一所位于密苏里州，圣路易斯市的著名大学。希望大家还记得，车库的创始人斯科特·哈森和车库的掌门人史蒂夫·库辛斯都是圣路易斯华盛顿大学的毕业生。

导航的主要目的是让机器人从一个给定的初始位置移动目标位置，在移动过程中不和周围环境发生碰撞。ROS 里的导航软件包集由若干个与导航相关的算法组成，这些开源算法可以帮助机器人开发者更快地实现移动机器人的自主导航。

我们用下图表示这个导航的过程。假设一个 PR2 机器人想从位置 A 开始，绕过前面的立柱，到达位置 B。这就需要，(1) 运动规划软件包，计算一条运动路径。很多运动规划算法假设环境地图是已知的，这就需要(2) 环境地图构建的软件包。为了构建地图，就需要感知外部环境的传感器，通常要求(3) 一个平面二维激光雷达，这个激光雷达用于构建地图和定位。



图：PR2 进行运动规划的示意图

使用这些 ROS 导航软件包集也很简单，只需要提供机器人的目标位置，从轮子编码器，IMU，GPS 等传感器获得的测量数据，或从激光雷达及 Kinect 深度相机获得的 3D 点云数据，导航软件包的输出是机器人的速度指令，这些命令驱动机器人移动到目标位置。ROS 导航软件包集包含了一些常见算法的实现，比如基本的 SLAM 算法，A\* 算法，Dijkstra 算法，amcl 算法等，这些算法可以直接在调用。

埃坦·马德-爱泼斯坦后来创建了 hiDOF，一家机器人自动化软件咨询公司，为一些创业公司，甚至大企业提供机器人技术咨询服务，尤其 ROS 相关的技术咨询服务。涉及的咨询项目包括室内定位与导航、SLAM、机器人控制技术等。2013 被 Google 收购，大多数成员加入谷歌。hiDOF 的联合创始人还包括：Vijay Pradeep，E. Gil Jones，Wim Meeussen



图：埃坦·马德-爱泼斯坦(Eitan Marder-Eppstein)，Vijay Pradeep（董事长），E. Gil Jones，Wim Meeussen（CTO）

柳树车库最早定下的宗旨：**影响力第一，商业回报第二**。到这个阶段，柳树车库的工程师们开始在机器人市场展现商业才能了。hiDOF 机器人咨询公司几位创始人利用在开发 PR2 和 ROS 中积累的经验，尤其是利用他们在柳树车库开发的一些开源软件和工具希望解决机器人和自动化领域的实际问题。尤其是工业自动化领域，未来的趋势将是更灵活、更稳定、更安全，这给机器人软硬件提出了非常高的要求。起步阶段，hiDOF 机器人咨询公司主要提供 ROS 相关的软件咨询服务。



2013年，hiDOF机器人咨询公司被Google收购后，马德-爱泼斯坦也随后加入Google Tango组。Tango一度在国内炒的火热，借助Tango，移动设备可以获得大量视野范围内物体有关的信息，从而可以测量距离、识别物体、创建物体的三维模型、绘制现场环境的地图。

## 15. ROS 之可视化 rviz

ROS 可视化（visualization）工具是一个可视化的仿真环境，通常指的是 rviz 环境。在仿真环境中可以观察机器人的姿态，传感器的数据。rviz 工具是 ROS 系统官方支持的 3D 可视化环境，下面是 rviz 的样子。

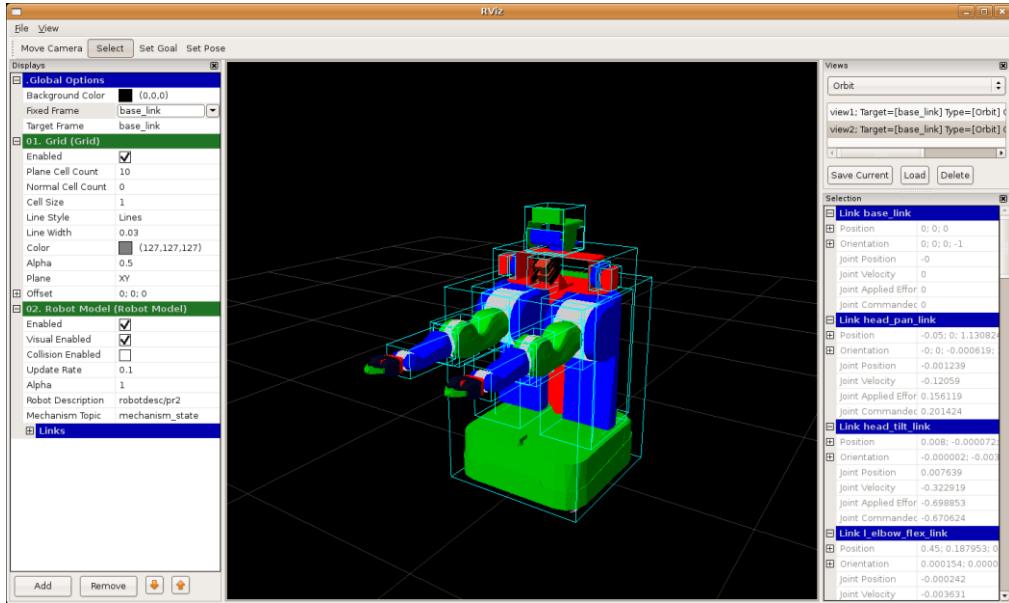


图 15.1：3D 可视化环境 rviz 的界面

rviz 界面的左侧的面板包含一系列的可视化插件及其属性。这些插件的主要用途是查看 ROS 消息，并以可视化的方式显示出来。可以是一些传感器数据，如摄像头的图像，3D 点云，激光雷达；也可以是机器人模型、变换 tf 等数据。

rviz 工具条中有一些工具可以用来操纵 3D 视角。比如可以展示机器人模型的关系、调整机器人视角、设置导航目标，设置机器人 2D 位置估计等。视图面板一般放置在 rviz 的右侧。通过使用视图面板，我们可以保存不同的 3D 视角，并通过加载保存的设置信息来切换不同的视角。如果在 rviz 中运行仿真的话，会使用时间面板。也可以通过这个面板初始化 rviz 设置。

rviz 的三位作者是车库的软件工程师：戴夫·赫什博格（Dave Hershberger），大卫·高索（David Gossow），乔西·浮士德（Josh Faust）。戴夫·赫什博格加入 Kinema 机器人公司，就是那家由 MoveIt! 的创始人，印度大叔萨钦·启德创建的基于视觉和机器学习的快速分拣机器人公司，号称世界上第一个将深度学习和 3D 视觉解决方案用于工业机器人搬运。

大卫·高索追随埃坦·马德-爱泼斯坦去了 hiDOF，然后随着 hiDOF 被收购，加入 Google Tango 团队。中途，2014 年大卫·高索还在 VR 最狂热的时候，创建了一家做 3D 视觉的公司 Lucid。

乔西·浮士德跟随车库的创始人斯科特·哈森去了 Suitable Robotics，然后加入了 Magic Leap，随后回波兰老家创业去了。这时候的哈森携谷歌等投资大鳄，又成了如日中天的增强现实创业公司 Magic Leap 的股东。



图 15.2: rviz 的作者：戴夫·赫什博格（Dave Hershberger），大卫·高索（David Gossow），乔西·浮士德（Josh Faust）

## 16. ROS 阿 C 龟-诺亚方龟

这是 ROS 的第二个版本 C Turtle，2010 年 8 月发布。

上一个版本是阿 B 龟，这次只阿 C 龟，如果延续这种命名方式，我们看到的后续的版本将会是 D Turtle, E Turtle, ...。

后来很长时间，还有人抱怨这个版本的名字太缺乏想象力了，总想给他换个名字。可是，ROS 的发展速度太快了，超乎车库的想象，这件事也自然是不了了之了。

前面提到，从这个版本开始，车库聘请了一位设计师，乔许·埃林森（Josh Ellingson），设计了乌龟吉祥物。这时的乔许·埃林森，跟大多数机器人爱好者一样，颇受好莱坞电影故事的影响，看到机器人后，对人类的未来充满着好莱坞式的悲情。



图 16.1：诺亚方舟与设计师乔许·埃林森（Josh Ellingson）为 C Turtle 设计的吉祥物诺亚方龟

在乔许·埃林森眼里，未来似乎并不美好。大海龟就像一只诺亚方舟，在大灾难来临之际，带领大家逃离灾难重重的大陆，寻找一片新世界。这只诺亚方舟上除了机器人还是机器人，唯独剩一只鹤[1]。这或许预示着人类或已灭绝；或许预示着人类容不下机器人这一新物种，这些机器人不得不被迫逃亡。

一只悲情的大海龟，背上驮着各类机器人，有 PR1, PR2, TurtleBot, Care-O-bot 机器人，STAIR 机器人，有无人驾驶汽车（一款由奥斯汀机器人技术公司与得克萨斯大学

奥斯汀分校打造的一款无人车），有替身机器人 Beam 的原型 Taxai，天空中飞翔着一台四旋翼，水中跟着柳树车库早期开发的无人驾驶小船。

在当时，这些机器人有一个共同的特点：支持 ROS。

从这个大乌龟，大家大致可以看出，车库当时对 ROS 的定位，海陆空通吃的雄心壮志。所以大家看车库几位创始人，个个温文尔雅。可千万不要小觑他们骨子里一统天下的野心。

在这个 ROS 版本中，还针对不同的平台和多语言支持做了相应的改动：

- 主要支持 Ubuntu 的 H/I/J/K 版本（8.04/8.10/9.04/9.10）。
- 支持 C++03, Boost 1.37, Lisp SBCL 1.0.38, Python 2.5
- 尝试将 catkin 编译系统引进 ROS，但因为不稳定，还不建议使用。

为了应对复杂的机器人任务，比如机器人从冰箱里取出一个一瓶饮料，机器人需要知道如何打开冰箱门、感知到饮料在哪里，并规划出抓取饮料的方式，这类复杂的机器人任务，包含多个状态，而这些状态之间在某些情况下会发生跳转。这个版本里集成了一个独立于 ROS 的软件包 SMACH（"State MACHine"），可以处理类似的复杂任务。SMACH 由乔纳森·波仁（Jonathan Bohren）开发的，当时乔纳森·波仁还是美国宾夕法尼亚大学 GRASP 实验室（University of Pennsylvania, GRASP Laboratory）的一名硕士生。在“机器人毕业舞会”现场，美国宾夕法尼亚大学 GRASP 实验室是 13 个获得 PR2 机器人实验室之一。从柳树车库实习结束，波仁就去了约翰·霍普金斯大学的（Johns Hopkins University）刘易斯·惠特科姆（Louis Whitcomb）的实验室读博士去了。



图 16.2：乔纳森·波仁与其在约翰·霍普金斯大学的博士导师刘易斯·惠特科姆

2016 波仁加入位于美国纽约的蜜蜂机器人公司（Honeybee Robotics）工作，从事机器人相关的软件开发。

蜜蜂机器人公司是非常资深的机器人公司，从 1983 年以来一直在提供先进的机器人解决方案，与美国航空航天局有长期的合作。帮助数百个政府机构和私营企业在太空探测航天器、航天器部件和子系统、医疗技术、柔性制造、采矿、石油和天然气等领域的机器人项目开发。尤其是，蜜蜂机器人公司为美国航空航天局建造机器人，并曾为三个火星着陆器提供系统。它正在开发一种可从小行星提取宝贵资源的采矿机器人。其开发的岩石钻探工具是第一台获取火星内部岩石的机器人。该机器人其实是一个研磨机，能够在岩石上磨出直径 2 英寸，深度 0.2 英寸的孔。这样的设备曾经安装在火星车“勇气号”和“机遇号”的机械臂上。



图 16.3: 蜜蜂机器人公司为美国航空航天局建造岩石钻探机器人

---

## 17. ROS 之物体操控 manipulation

ROS C-Turtle 版本增加了针对 PR2 机器人抓取的软件包：如检测桌面物体、用机械手对物体进行抓取和操控等。我们从下面的例子可以大致了解在很多情形下，对四周环境中的物体控制有多么重要。大家可能看过下面这个 TED 演讲，演讲人亨利·埃文斯（Henry Evans）通过视频向观众讲述他的故事。他的形象出现在 TED 现场的舞台中央站立的一个机器人屏幕里，这个机器人就是前面提到的 Beam 替身机器人（这不是重点）。亨利·埃文斯在 40 岁的时候，忽然从一名正常人，变成一名四肢瘫痪、口不能言的残疾人。亨利·埃文斯讲述了自己如何在机器人 PR2 的帮助下，照顾自己的生活：刮胡子、开冰箱、倒饮料…



图 17.1：（左）TED 演讲人亨利·埃文斯（Henry Evans）在 PR2 的帮助下刮胡子。  
(右) Beam 替身机器人代替亨利·埃文斯出现在 TED 演讲台。

对一个拥有双臂的机器人来讲，对环境的感知和对物体操控一定是优先级最高的。在阿 C 龟版本里，这些功能包含在 manipulation 软件包里。这个软件包是由车库的两位研究科学家凯仁·萧（Kaijen Hsiao）和马泰·乔卡列（Matei Ciocarlie）开发的。



图 17.2: 左: 凯仁·萧 (Kaijen Hsiao) ; 右: 马泰·乔卡列 (Matei Ciocarlie)

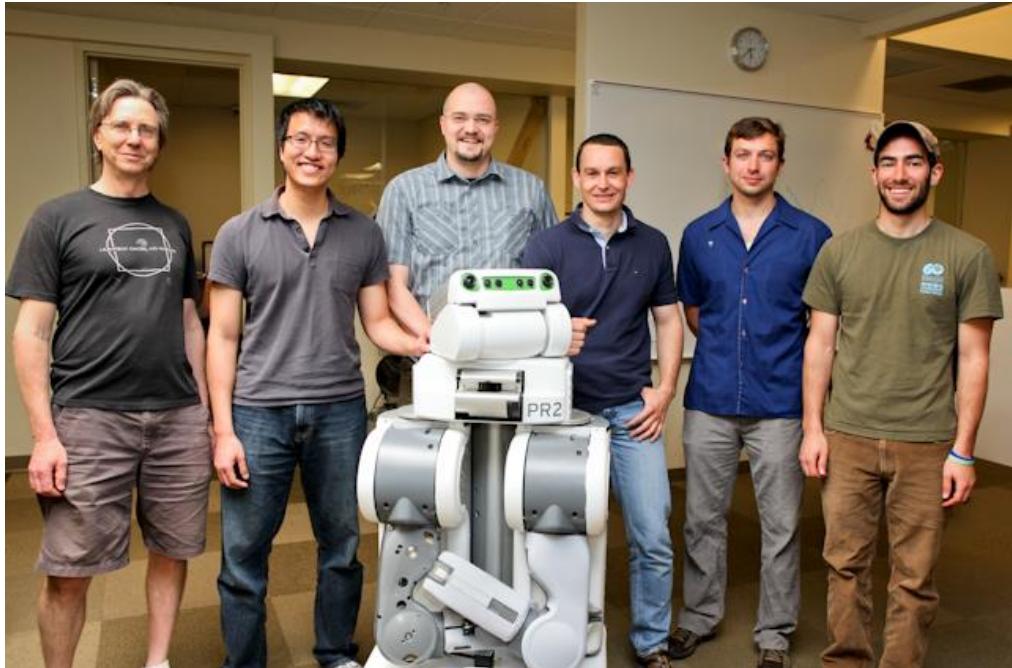
凯仁·萧毕业于麻省理工人工智能实验室，获博士学位，导师是托马斯·洛萨诺-佩雷斯 (Tomás Lozano-Pérez) 和莱斯利·凯尔博灵 (Leslie Kaelbling)。博士期间研究的内容就是“如何稳定地抓取物体”。



图 17.3: 凯仁·萧的博士导师。左: 托马斯·洛萨诺-佩雷斯 (Tomás Lozano-Pérez) ; 右: 莱斯利·凯尔博灵 (Leslie Kaelbling)

离开车库后，凯仁·萧去了博世 (Bosch) 机器人，后来在博世支持下，创办了 MayField 机器人公司，担任公司的首席技术官 (CTO)。产品为家庭陪伴机器人 Kuri。

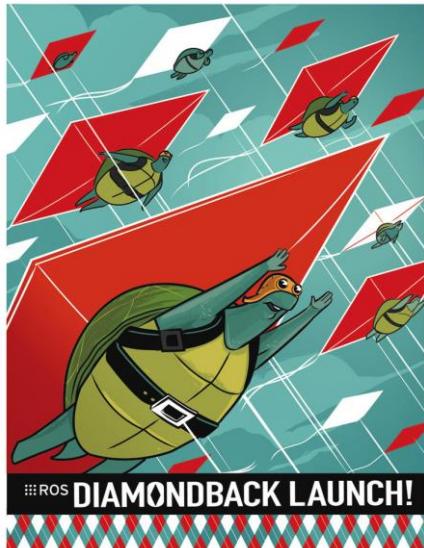
马泰·乔卡列毕业于哥伦比亚大学，获博士学位，研究方向是机器人对外部物体的抓取与操控。EigenGrasp 即为马泰·乔卡列的研究成果。离开车库后，马泰·乔卡列在 Google 短期工作了一段时间，然后回自己的母校哥伦比亚大学建立一个新实验室，做机器人相关的研究去了。



Karto SRI/Willow Garage Integration Team: Kurt Konolige, Benson Limketkai, Michael Eriksen, Regis Vincent, Brian Gerkey, Eitan Marder-Eppstein

## 18. ROS 飞天金刚龟与视觉传感器

ROS 的第三个版本 D 版本，于 2011 年 3 月发布，吉祥物是菱背龟（Diamondback），亦称为金刚龟，因背部有菱形图案而得此名。乔许·埃林森设计此版本的 ROS 海报中，无数只金刚龟在菱形风筝的助力下，在空中自由地飞翔。



这时，已经有很多大学和机器人公司加入到 ROS 开源社区，提供了对各自机器人的驱动，比如 Nao 人形机器人（法国）, Care-O-bot（德国）, 乐高 NXT 教育机器人（美国）, Erratic（美国亚利桑那大学）, miabotPro（英国）。到 D 版本的发布，已经有 50 种机器人支持 ROS。



图：从左至右：法国 Nao 人形机器人，美国亚利桑那大学 Erratic 机器人，德国 Care-O-bot，美国乐高 NXT 机器人，英国 miabotPro 机器人

这时的 ROS 还做了如下变化

- 模块化的粒度更小，有利于增量化更新。模块小型化也有助于减低内存的使用。
- 图形用户界面从 ROS 核心中分离出来，这样对于不需要图形用户界面的用户就不需要编译这一部分的代码。
- 修改版权和软件归属权的条例，有利于在乎所有权的开发者继续对 ROS 做出贡献。
- 创建了 ROS 问答社区，方便用户交流。

在这个版本里增加了对 Kinect 的支持。Kinect 在 2010 年随微软的 XBox 推向市场，2011 年 Kinect 已经很流行了，到这年三月份，已经累计销售了 1000 多万台。从外观上看，Kinect 配备三个摄像头，中间的摄像头为 RGB 彩色摄像头，左右两个分别为红外发射器和红外 CMOS 接收器，两个摄像头构成深度传感器。获取深度图像的技术原理是光编码技术，属于结构光的一种。光编码技术对激光散斑进行编码，将编码后的散斑发射出去，再由红外相机接受信号，通过分析信号模式变化，计算深度

信息。另一种方式采用飞行时间（TOF）技术，通过投射红外线，计算发射和返回的时间差来计算深度信息。TOF 对深度信息的获取更迅速，也更准确。

Kinect 是一款面向消费群体的娱乐设备，随微软的游戏机 Xbox 一起销售。科研人员发现他不仅仅是一款娱乐设备，还是一个性价比极高的科研设备，后来基于 Kinect 各类算法层出不穷。

因此，车库顺势而为，为这个 ROS 版本提供了 Kinect 深度相机的驱动。ROS 于是采用了 PrimeSense 的驱动 OpenNI Kinect。ROS 里的驱动主要由文森特 · 莱保德（Vincent Rabaud）和图利 · 弗特（Tully Foote）来维护。



图：微软的 Kinect RGB-D 传感器



图：文森特 · 莱保德（Vincent Rabaud）和图利 · 弗特（Tully Foote）

文森特·莱保德毕业于加州大学圣地亚哥分校（The University of California, San Diego），获博士学位。圣地亚哥在加州的最南端，与墨西哥接壤。在“此岸与彼岸”提到加州的这个城市。图利·弗特本科就读于加州理工学院（California Institute of Technology），硕士研究生毕业于宾夕法尼亚大学（University of Pennsylvania），一所位于美国宾夕法尼亚州费城的私立研究型大学，八所常春藤盟校之一<sup>12</sup>。后面，我们还会详细讲图利·弗特。

通过 Kinect 采集获得的是，可视范围内的深度数据，即可视范围内物体到相机的距离。从这些深度数据，可以计算出 3D 点云（Point Cloud）。这样，点云处理算法就要跟进，因此 ROS 加入了点云库（Point Cloud Library, PCL）的 0.1 版本，这是一个开源的软件库，包含大量与点云有关的算法，包括显示点云数据、滤波、分割、特征提取、配准、重建等，支持 Windows 和 Linux 等平台，也可以在一些嵌入式开发板上使用。PCL 在三维点云中的地位相当于 OpenCV 在图像处理和计算机视觉中的地位。

PCL 是由莱度·茹苏（Radu B. Rusu）在车库期间创建的开源点云处理软件。那时，点云数据和点云数据处理在逆向工程已经应用的很广泛了，只是很少有人把自己的算法和代码开源出来。莱度·茹苏毕业于德国慕尼黑工业大学（Technische Universität München），后来负责由车库孵化的 Open Perception 公司，致力于 2D/3D 数据的处理。

---

<sup>12</sup> 常春藤盟校（Ivy League）指的是美国东北部的 8 所高等学府：布朗大学、哥伦比亚大学、康乃尔大学、达特茅斯学院、哈佛大学、宾州大学、普林斯顿大学、耶鲁大学。它们都是美国最顶尖、最难考入的大学，也是美国历史最悠久的大学。这八所学府常跟美国两个世界一流的理工大学麻省理工学院与加州理工学院，相提并论，而这八所常春藤跟两所理工大学常常被称为“美国十大名校”。



图：开发 PCL 的莱度·茹苏 (Radu B. Rusu)

---

## 19. ROS 之 OpenCV

ROS 已经加入对视觉信息处理的支持，尤其是改进 OpenCV 在 ROS 中的易用性。

OpenCV 是盖里 · 布拉德斯基（Gary Bradski）在 Intel 工作期间开发的一个开源计算机视觉库。OpenCV（Open Source Computer Vision Library: <http://opencv.org>）是由一系列 C 函数/ C++ 类构成，实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法。很多人都在享受 OpenCV 带来的便利。



图 19.1：盖里 · 布拉德斯基（Gary Bradski）和 OpenCV 的 Logo。

跟所有的开源项目一样，OpenCV 致力于软件算法的共享，“不重复造轮子”。早期的主要目标是：

- 提供一套开源的标准算法，加速机器视觉的研究；
- 建立一套基本算法库，研究者和开发工程师能够快速进行视觉软件开发；
- 利用开源或免费的软件许可与授权，促进商业视觉应用的开发，通过共享，共同促进知识的传播。

我们不妨看看 OpenCV 的发展历程：

- 从 1999 年 1 月，CVL 项目在 Intel 内部启动。

- 2000年6月，第一个开源版本OpenCV alpha 3发布。
- 2000年12月，针对linux平台的OpenCV beta 1发布。
- 2006年，支持Mac OS的OpenCV 1.0发布。
- 2009年9月，OpenCV 1.2(beta2.0)发布。
- 2009年10月1日，Version 2.0发布。
- 2010年12月6日，OpenCV 2.2发布。
- 2011年8月，OpenCV 2.3发布。
- 2012年4月2日，发布OpenCV 2.4。
- 2014年8月21日，发布OpenCv 3.0 alpha。
- 2014年11月11日，发布OpenCV 3.0 beta。
- 2015年6月4日，发布OpenCV 3.0。
- 2016年12月，发布OpenCV 3.2版
- 2017年8月3日，发布OpenCV 3.3版

鉴于利用视觉获取环境信息非常便捷，因此OpenCV已经大量应用于各个热门领域：

- 人机交互、增强现实、手势识别、环境三维重建
- 物体检测与识别、人脸检测与识别、动作识别与运动跟踪
- 机器人SLAM、工业领域的机器视觉、抓取
- 材料结构分析
- 自动驾驶

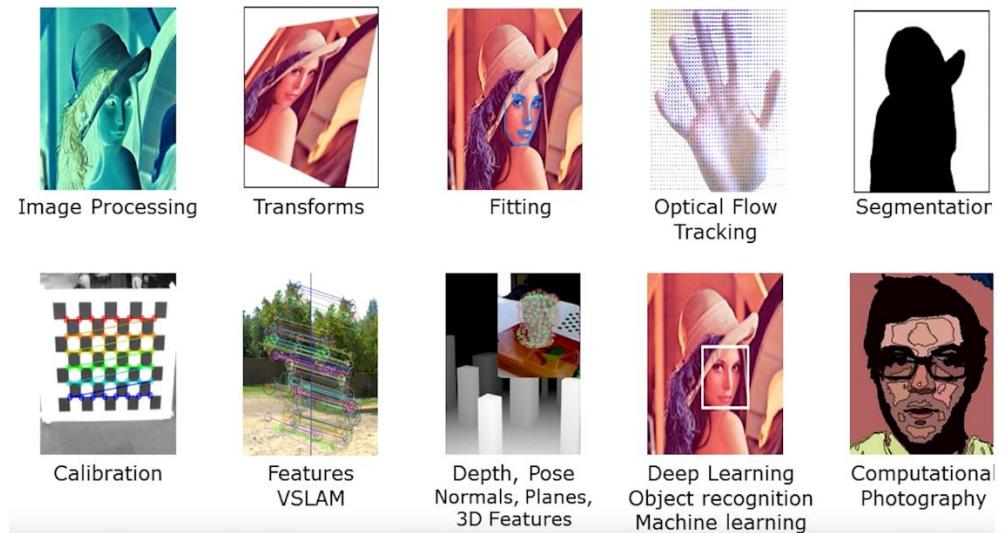


图 19.2: OpenCV 提供的各种算法

盖里·布拉德斯基本科毕业于加州大学伯克利分校，在波士顿大学获人工智能方向博士学位。在 Intel 研究院工作期间，跟大多数研究机构一样，Intel 看重论文的发表，这也是盖里·布拉德斯基的主要工作内容：为 Intel 设计新算法，并以论文的形式发表。盖里·布拉德斯基并不满足这样的模式，他深刻体会到，无论是学生、工程人员为了写一些视觉代码，就不得不自己编写处理图像/视频的底层数据结构、甚至要搭建一整套软件架构。而且几乎每个人都免不了这一套流程。盖里·布拉德斯基的想法也非常简单：是否可以做一些工作，避免大家“重复造轮子”。当然后来 OpenCV 受到的关注程度是盖里·布拉德斯基万万没有想到的。现在 OpenCV 已经有上百万行代码，上千万的下载量。几乎任何一位与视觉相关的人都不可能不知道 OpenCV。为了推动 OpenCV 的发展，盖里·布拉德斯基还写了不少相关图书，如《Learning OpenCV》，在业界影响巨大。

盖里·布拉德斯基（Gary Bradski）在车库初期就加入车库的管理团队。后来与前面提到的文森特·莱保德一起，在车库的支持下，将 OpenCV 公司化，创建了 OpenCV 基金会。后来又与车库的同事一起创建了另一家公司 Industrial Perception, Inc. (IPI)，希望能构建一个能够支持 3D 识别和导航技术的软件系统，并期待将这样的技术应用到自动化领域。该公司于 2013 年被 Google 收购。

随后盖里·布拉德斯基帮助 Magic Leap（一家增强现实眼镜公司）在硅谷建立研发中心，帮助 Magic Leap 取得巨大成功，可是后来与公司发生冲突。据称盖里·布拉德斯非法向第三方公司泄漏了 Magic Leap 的商业机密，2015-2016 年增强现实正处于风口，Open CV 的创始人与自己的就职的公司 Magic Leap 展开法律大战，这场战争指导 2017 年以双方签署协议而结束，具体细节没有对外公布。



图 19.3: OpenCV 创始人盖里·布拉德斯基加入的增强现实公司 Magic Leap。（左）增强现实眼镜 Magic Leap One；（右）Magic Leap 办公室

最近有消息称，盖里·布拉德斯基加盟中国一家物流机器人解决方案创业公司蓝胖子机器人（Dorabot），担任机器人视觉顾问（蓝胖子对外宣传是首席科学家）。他的任务是牵头计算机视觉前沿研究和技术创新，参与相关产品研发，并帮助招募机器人研发相关领域顶尖人才。盖里·布拉德斯基历过智能机器研发，尤其是视觉系统的研发。也许蓝胖子机器人看重的是正是这一点。

让我们回到 ROS。为了在 ROS 中使用 OpenCV，可以通过名为 `vision_opencv` 的软件包与 ROS 对接。`vision_opencv` 包含两个重要的软件包：`cv_bridge` 和 `image_geometry`。`cv_bridge` 负责将 OpenCV 下的图像类型转换为 ROS 图像消息。该软件包是 OpenCV 和 ROS 之间的桥梁，可以先用 OpenCV 的 API 做图像/视频处理，然后将其转换成 ROS 图像类型。`image_geometry` 软件包可用来校正图像，该软件包用 ROS 消息来接收校准参数，然后将其传送给 OpenCV 的图像校正函数进行处理。这些软件包由帕特里克（Patrick Mihelich）和詹姆斯（James Bowman）共同开发，Patrick Mihelich 随着车库孵化的公司被 Google 收购，加入了 Google 团队。James Bowman 则离开车库为一些极客实验室提供咨询服务。詹姆斯是一位非常资深的程序员，先后在微软，SGI，

3DFX（上世界 90 年代最风光的显卡公司，后来因决策错误被 NVidia 收购），NVidia，以及后来的柳树车库。



图 19.3：ROS 软件包 `vision_opencv` 的开发者：帕特里克（Patrick Mihelich）和詹姆斯（James Bowman）。

OpenCV 未来将为更多的嵌入式设备提供高效的算法，随着增强现实的广泛应用，OpenCV 也在将更多的算法应用到光场（Light Field）上。作为几个非盈利的机构 OpenCV 也在努力探索一条持续发展的道路，也不排除未来变成一个盈利机构，也许就像 OSRF 的转变那样。这些变化也都会对 ROS 的未来产生重要影响。

## 20. ROS 之 KDL

把 ROS 底层的库进一步分离成单独的模块，如 KDL、nodelet、filters、xacro、pluginlib。这样就不需要由车库的开发人员进行集中维护，每个 ROS 贡献者可以自行维护各自写的模块。

比如，KDL 分离出来后，就可以由 KDL 的原开发者维护。KDL 为 Kinematics-Dynamics Library 的缩写，意为“运动学-动力学库”，是由比利时荷语天主教鲁汶大学（Katholieke Universiteit Leuven）的鲁本·斯密斯（Ruben Smits）和艾文·艾尔特比列恩（Erwin Aertbelien）开发的，当然还有其他的其他开发人员参与了开发。

KDL 是 OROCOS 开源机器人控制项目<sup>13</sup>的一部分，OROCOS 是 Open RObot COntrol Software 的缩写，即机器人开源控制软件；OROCOS 另外一个名称为：Open Realtime Control Services（开源实时控制服务），这个名称可能更能表述该软件库的本意和目标。OROCOS 主要侧重于机器人底层控制器的设计，包括用于计算串联机械臂运动学数值解的 KDL、贝叶斯滤波、实时控制等功能，当然还包括其它一些工具。



图：（左）OROCOS 开源机器人控制项目的 LOGO，由两个机器人夹爪构成的字母 O，代表协同合作。（右）赫尔曼·布鲁宁克（Herman Bruyninckx）教授

OROCOS 是欧洲几个国家最早提议开发的，因此在欧洲用的比较普遍。是由比利时荷语天主教鲁汶大学的赫尔曼·布鲁宁克（Herman Bruyninckx）教授于 2000 年 12 月

---

<sup>13</sup> <http://www.orocos.org/>

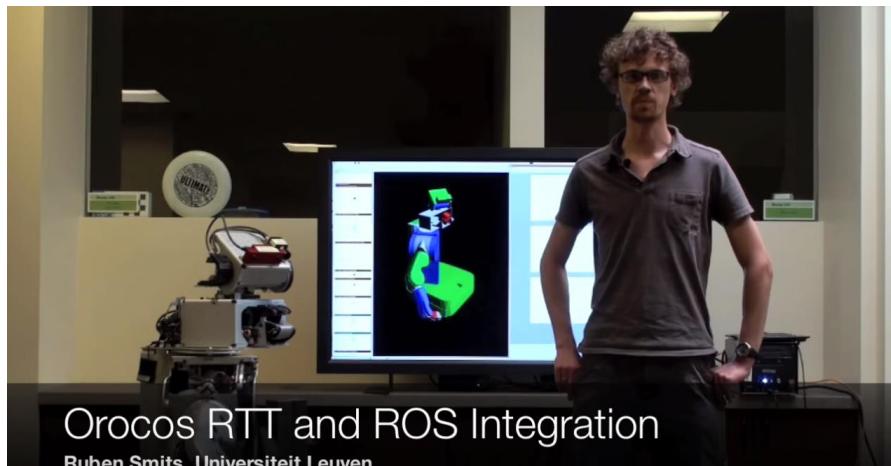
---

提议开发的。赫尔曼长期使用商业的机器人控制软件，最这些软件糟糕的性能非常失望，尤其是商业机器人对底层开放程度非常有限，因此如果想通过对底层传感器进行控制，基本不可能。因此 赫尔曼提起开发一个开放的机器人控制系统。这个想法已提出，就得到热烈的拥护。很快 2001 年 9 月，由欧盟出资，组织启动了 OROCOS 项目，由比利时荷语天主教鲁汶大学，法国图卢兹系统分析与架构实验室（LAAS Toulouse, France）和 瑞典皇家理工学院（KTH Stockholm, Sweden）三方合作进行开发。正式在这样的背景下，赫尔曼招了一位博士生彼得 · 舒滕斯（Peter Soetens），来实验室做研究，全力投入该项目的开发。OROCOS 最初的版本正是彼得 · 舒滕斯开发的。通过持续开发，OROCOS 不断完善。彼得博士毕业论文正式对 OROCOS 整个系统的总结：题目：A Software Framework for Real-Time and Distributed Robot and Machine Control（面向实时分布式机器人/机器控制的软件框架）。

OROCOS 兼容 Xenomai，实时性能非常好；Orococos 组件与组件之间的通信设计的也非常好，避免使用全局变量，这样就可以减小各个功能模块之间的耦合，方便每个开发人员开发自己的模块，最后模块之间的融合时也很方便；跟 ROS 一样，OROCOS 有自己的社区，开发人员会将自己设计好的算法组件发布到社区上，这样就减小了开发难度，缩短了开发周期；运动学和动力学涉及了比较多的物理和数学概念，OROCOS 设计了自己的运动学和动力学算法，方便大家对机器人进行开发。所以对多自由度机器人的运动学分析时，可以直接采用 OROCOS 的运动学组件。OROCOS 的设计包括了以下主要模块：

- RTT: Orococos 实时工具集，为软件开发人员构建机器人应用时提供了基础机能，在实时功能、在线交互以及基于组件式的应用中发挥极大作用。
- OCL: Orococos 组件库，某一特定的功能就是一个组件，Orococos 软件框架为 OCL 提供了通信、调试，方便开发人员对其 OCL 进行开发。
- KDL: 机器人运动与动力学库，为运动学提供了实时的动力学约束计算。
- BFL: 贝叶斯过滤库，是由动态贝叶斯网络理论所推导出的。这个理论可以做递归信息处理及基于贝叶斯规则的算法评估，例如卡尔曼滤波，粒子滤波算法等。

2009 年，在赫尔曼的博士生鲁本 · 斯密斯即将博士毕业的时候，从欧洲来到美国硅谷，在车库做了一段实习生。在“机器人毕业典礼”中提到，车库将 11 台 PR2，赠送给了 11 所大学进行合作研究，这所比利时鲁汶大学就是其中获得 PR2 的幸运者。



图：鲁本 · 斯密斯（Ruben Smits）在车库实习，将 OROCOS 于 ROS 集成



图：艾文 · 艾尔特比列恩（Erwin Aertbelien）与鲁本 · 斯密斯（Ruben Smits）

鲁本 · 斯密斯和赫尔曼的早期毕业的博士生艾文 · 艾尔特比列恩还改进了机械臂的操控模块。有了这个模块，就可以让机械臂自主地规避障碍物，完成运动规划任务。为了便于使用，还增加了可视化界面，用户可以看到机械臂的运动轨迹。鲁本 · 斯密斯博士毕业后，与 OROCOS 的最早的开发者彼得 · 舒滕斯（Peter Soetens）一起创建了 Intermodalics 机器人软件公司，鲁本 · 斯密斯是担任首席技术官（CEO），著名

的 Pick-it 3D 就是该公司的杰作。据说，国内有不少跟进的公司，做类似 Pick-it 3D 的方案。

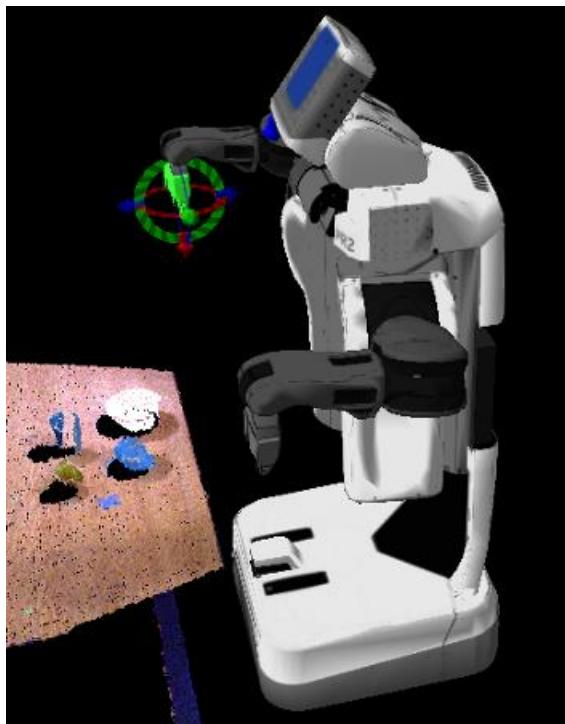


图：彼得·舒滕斯（Peter Soetens）



图：Pick-it 3D

针对 rviz，增加用户交互界面，可以让用户通过鼠标拖动 PR2 手臂的末端，或拖动机臂上某一个部位，让机械臂运动到一个指定的位置。



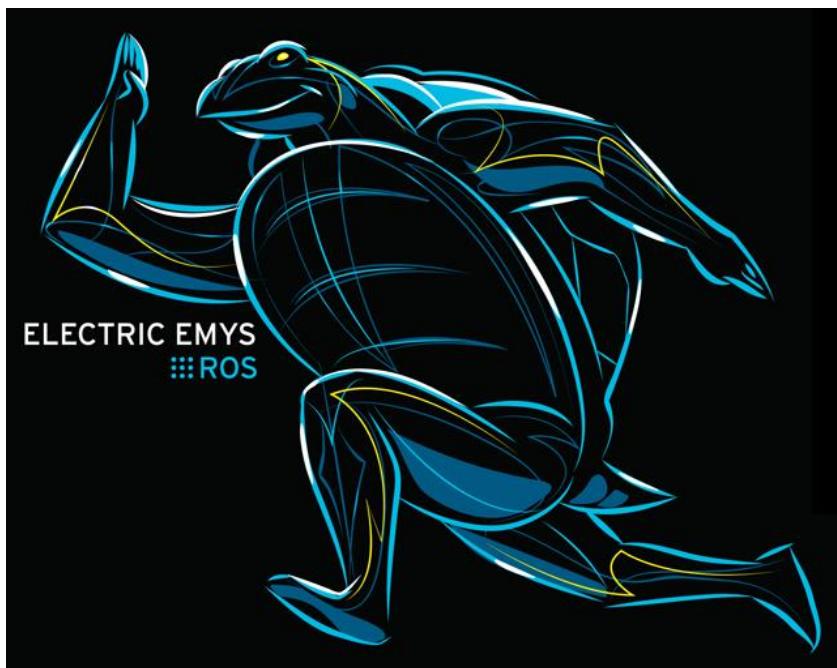
图：用户通过鼠标拖动 PR2 手臂的末端，让机械臂运动到一个指定的位置

## 21. ROS 乌龟帮

### 鸡血龟

E 版本 2011 年 8 月发布，的吉祥物是 Electric Emys（鸡血泽龟），一个风风火火、打了鸡血的泽龟。

“小模块，轻量化”是前面 D 版本的宗旨，E 版本依然为此努力。



这个版本的改动有

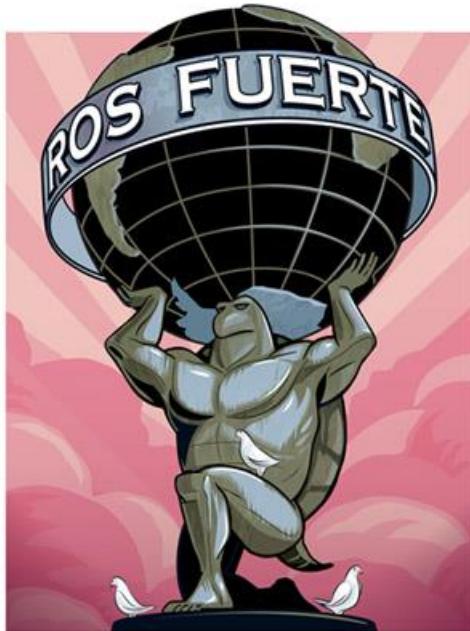
PCL 1.1 版本发布，OpenCV 2.3 版本发布。PCL 和 OpenCV 是 ROS 使用的两个非常重要的独立软件库。

增加了对其他平台的支持：Android（美国谷歌）、Arduino、ARM、Windows（韩国柳真机器人公司开发了一个 win\_ros）、Python3（德国 TUM）。括号中显示的是实现这些平台的公司或大学。

E 版本主要适用于 Ubuntu 的 L 版本-N 版本。

## 大力神龟

这是 ROS 的第 5 个版本，F 版本，2012 年 4 月发布。F 版本的吉祥物是 Fuerte Turtle（大力神龟），因为没有以 F 开头的乌龟物种，就只能用通用的乌龟（Turtle）这个词了<sup>14</sup>。Fuerte 为西班牙语，表示强壮之意。乔许·埃林森设计的是一只能将地球托起的大力士乌龟。



这个版本的改动有

- 主要适用于 Ubuntu 的 L/O/P 版本（10.04/11.10/12.04 LTS）。

---

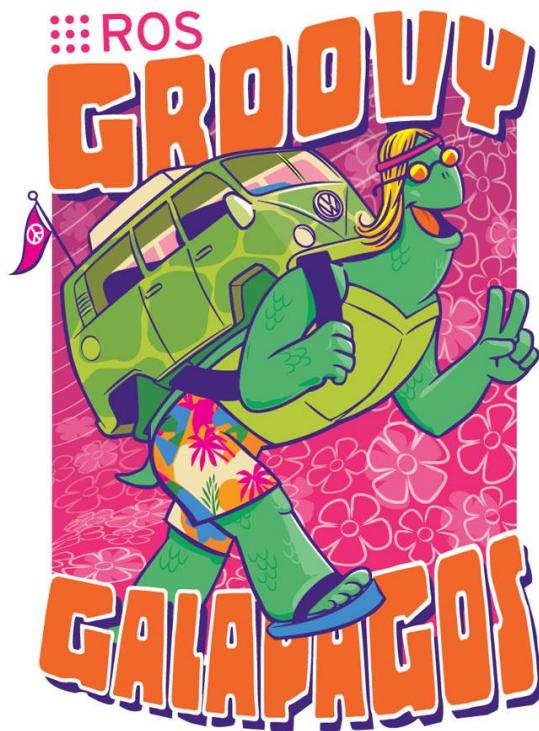
<sup>14</sup> 从 E 版本开始，ROS 的命名就试图借鉴 Ubuntu 的命名方法，一个形容词+一种乌龟名。形容词和乌龟名的首字母要跟代表版本的字母一样。比如 E 版本是 Electric Emys（电动+泽龟）来表示。

---

- 支持 C++03, Boost 1.40, Lisp SBCL 1.0.x, Python 2.6
- 尝试将 catkin 编译系统引进 ROS，但因为不稳定，还不建议使用。
- 用 Qt 重写了 rviz
- 发布 Gazebo 1.0。
- 发布 PCL 1.5，性能进一步提高。

## 拉风龟

这是 ROS 的第 6 个版本，G 版本，2012 年 12 月发布。G 版本的吉祥物是 Groovy Galapagos，一只非常拉风的加拉帕戈斯象龟。长发、墨镜、拖拉板、花裤衩、背着汽车流浪天涯的时尚加拉帕戈斯象龟，我们不妨称其为“拉风象龟”。



这个版本，正式将 catkin<sup>15</sup>编译系统引进 ROS，希望能替代原有的编译系统 rosbuild。

除了 catkin，G 版本的其他改动还有

- 主要适用于 Ubuntu 的 O/P/Q 版本（11.10/12.04 LTS/12.10）。
- 支持 C++03，Boost 1.46，Lisp SBCL 1.0.x，Python 2.7，CMake 2.8.3
- Stack 的概念被废弃。Stack 包含多个软件包，一个 Stack 要用到另一个 Stack 的软件包，必须将那一个 Stack 都包含进来。通过废弃 Stack 的概念，指保留软件包的概念，可以让模块的粒度更小。
- 将代码转移到 Github。
- 引入图形用户界面工具 rqt。
- 开发环境从 Wx 变为 Qt

## 南美蛇颈龟

这是 ROS 的第 7 个版本，H 版本，2013 年 9 月发布。H 版本的吉祥物是长脖子的 Hydromedusa（南美蛇颈龟）。Hydromedusa 这个单词写起来有点长，在 ROS 中被分成两个词 Hydro Medusa。

---

<sup>15</sup> catkin 意为“柳树上结的尾状花序”，源于公司的名称“柳树车库”。“The name catkin comes from the tail-shaped flower cluster found on willow trees -- a reference to Willow Garage where catkin was created.”

---



H 版本的主要工作是进一步让 ROS 支持 catkin 编译系统。这样就需要改进 ROS 的一些核心模块，升级不少 ROS 程序包。

H 版本的其他改动还有

- 主要适用于 Ubuntu 的 P/Q/R 版本（12.04 LTS~13.04）。
- 支持 C++03, Boost 1.48, Lisp SBCL 1.0.x, Python 2.7
- 对 ROS 里的一些工具也做了升级，如 rviz、rqt 等。
- 提高了 ROS 和 Gazebo 的集成度。

## 青色冰屋

这是 ROS 的第 8 个版本，I 版本，2014 年 7 月发布。I 版本的吉祥物是 Indigo Igloo（青色冰屋）。一开始，ROS 命名委员会很多人建议用 I, Turtle。主要源于大家都知道一本书叫《I, Robot》。还有人提议 iTurtle，遭到很多人反对，多半源于对苹果公司全封闭系统的不满。

凯特·考尼（Nate Koenig）负责最后的审核，他也认为以 I 打头的东西太多了。最后大家选了一个不是乌龟的名词 Igloo（冰屋），虽然不是乌龟，但外形像极似乌龟，大家都很喜欢。我们看到的是一个背着冰屋，正在滑雪的“青色冰屋龟”。



2013 年到 2014 年初，是车库机器研发的最后一个阶段。外界传闻很多，车库内部很多人心绪不定，对于 PR2 的未来背地里也是议论纷纷。车库的房东斯科特·哈森，决定停止继续投入资金，PR2 的研究也停下来。车库的各路人马，正式从“机器人研究的阵地”退下来，吹响“机器人商业化”的号角。经过 8 年努力，“柳树车库系”终于全力冲进了机器人市场。

正是这个时候，笔者回国创建“机器人运动与视觉实验室”。

也正是这个时候，由“柳树车库系”推动的全球机器人创业风吹到了国内，在各类资本的助力下，大江南北瞬间涌现了大大小小不同类型的机器人公司。尤其是在“双创”（大众创业、万众创新）的大背景下，这股风吹得相当猛烈。

这时的 ROS 的开发已经转交给一个独立的非盈利组织：“开源机器人基金会”（Open Source Robotics Foundation, OSRF）。布莱恩·格基，罗伯特·弗里德曼，凯特·考尼和摩根·奎格利作为 4 位共同创始人，一起创建了这个“开源机器人基金会”。其中布莱恩·格基为首席执行官（CEO），负责该基金会的全面工作，罗伯

特·弗里德曼为首席财务官（CFO），凯特·考尼为首席技术官（CTO），摩根·奎格利为首席架构师。



## Open Source Robotics Foundation

图：“开源机器人基金会”接手 ROS 的开发，这是基金会的标识。

车库继续负责全球的 PR2 机器人的售后维护，技术支持。后来，车库持续把非商业化的业务剥离出去，把 PR2 的维护工作交给 ClearPath 机器人公司。



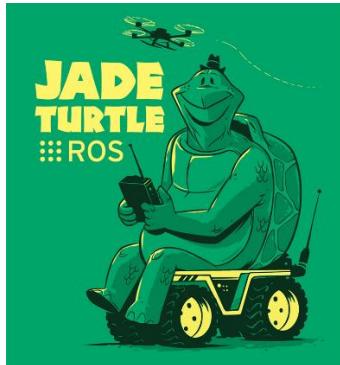
图：PR2 的维护工作交给 ClearPath 机器人公司

I 版本的其他改动还有

- 主要适用于 Ubuntu 的 S/T 版本（13.10/14.04 LTS）。
- 支持 C++03, Boost 1.53, Lisp SBCL 1.0.x, Python 2.7, CMake 2.8.11

## 翡翠龟

这是 ROS 的第 9 个版本，J 版本，2015 年 5 月发布。J 版本的吉祥物是 Jade Turtle（翡翠龟）。上个版本取了个非乌龟的名字，这次又取了个“翡翠”，这个与东方文化联系紧密的一种石材。



当然在东方文化里，经常把翡翠雕刻成乌龟的样子，寓意坚毅、持久。

## 动感神龟

这是 ROS 的第 10 个版本，K 版本，2016 年 5 月发布。K 版本的吉祥物是 Kinetic Kame（动感神龟）。这次用了一个日语 Kame（在日语中是乌龟的意思）。Kinetic 则表现出能量和速度。因此大家看到的一只动感十足的超级龟。

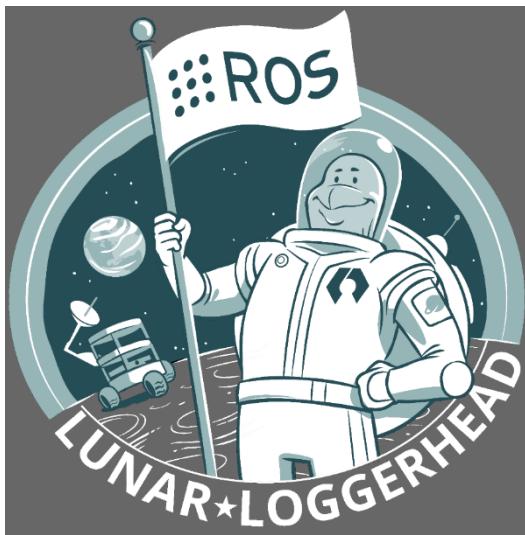
这个动感神龟身上加上“开源机器人基金会”的标志。



## 登月大头龟

L版本（2017年5月）L版本的吉祥物是Lunar Loggerhead（登月大头龟）。一个登上月球，并把ROS的旗帜插上去的大头海龟。这时的ROS已经成为机器人领域的标准了。

这个登月大头龟身上也加上“开源机器人基金会”的标志。



- 主要适用于 Ubuntu 的 X/Y/X 版本（16.04/16.10/17.04），增加了对其他 Linux 的支持，如 Debian 8 版本，Fedora 26 版。
- 支持的体系架构 amd64, arm32, arm64
- 支持 C++11，Boost 1.58/61/62，Lisp SBCL 1.2.4，Python 2.7，CMake 3.5.1/3.5.2/3.7.2
- Ogre3D 1.9，Gazebo 8，PCL 1.8，OpenCV 3.2。

## 优雅的孔雀龟

M 版本的吉祥物是 Melodic Morenia（优雅的孔雀龟）。三只孔雀龟，表演者优雅的乐曲，一只雌孔雀龟头顶上的羽翎。



## 22. ROS 与 Windows

ROS 和 Linux 中很多命令是通过命令行实现的，对 Windows 下长大的开发人员而言，这些命令行是陌生的。首先命令行的记忆确实没有图相化的菜单和按钮方便。大多数开发者早已习惯了 Windows 的图形开发界面，忽然倒退到命令行，真实很难适应。

其实安装 ROS 也是很头疼的。对于新手来说，要完美配置好一个 ROS 开发环境，更是难上加难了。对于熟悉 Windows 的开发人员，困难可不小。一般操作是在 Windows 下安装 Linux 虚拟机，然后再虚拟机下再安装 ROS 开发环境。完全版 ROS 有很多内容需要更新，如果网络状况不好，很可能需要一两天才能装成。

还有一些开发人员熟悉的程序只有 Windows 版本，如果在 Windows 环境中运行 ROS，并深入的开发，是摆在 Windows 开发人员的一个大问题。`win_ros` 是由韩国柳真机器人公司丹尼尔·斯托尼（Daniel Stonier）领导开发的。在 2012 年的 ROS 开发者大会（ROSCon）上，丹尼尔·斯托尼有个简单的报告，介绍了“ROS on Windows”，讲解如何在 Windows 下使用 ROS。另外我们后来看到的由扫地机器人演变来的 Kobuki，即 TurtleBot2 用的地盘，也是丹尼尔·斯托尼领导的团队开发的。



图：后排最右站立者为丹尼尔·斯托尼（Daniel Stonier），这位澳大利亚人在朝鲜半岛，领导一群韩国人做机器人开发，真是不可思议。

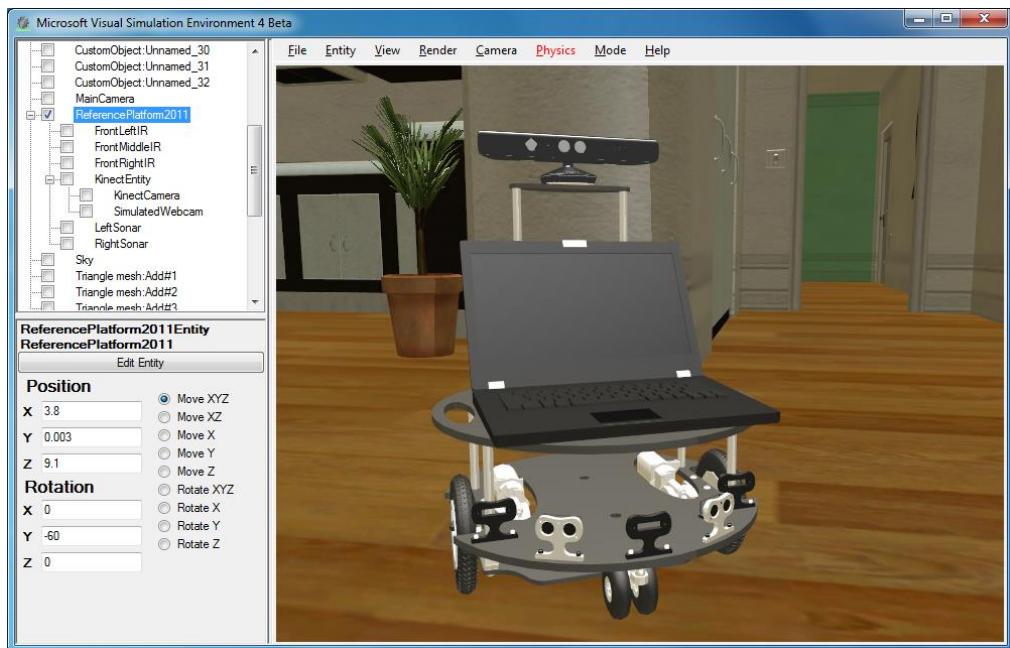
到了 Windows 10，微软在周年更新版（1607）后的 Windows 系统中，增加了一个非常特别的组件 WSL（Windows Subsystem for Linux）。顾名思义，WSL 就是 Windows 系统的 Linux 子系统，这个“子系统”是 Windows 10 系统的一部分，与 Windows 系统集成度非常高，比跑在应用层中的各种虚拟机更节省系统资源。当然，子系统的权限会受到很大的限制。虽然 WSL 不是完整的 Linux 系统，但依然可以做到绝大多数在完整 Linux 系统能做的事。目前，WSL 支持 Ubuntu 等很多 Linux 系统。另外，WSL 和 Windows 主系统之间的文件系统是可以互相访问的。也就是说，在 WSL 中可以访问 Windows 系统的文件；在 Windows 系统中也可以访问 WSL 的文件。当然，在 Windows 下对 WSL 文件修改可能会造成权限错误。

2017 年，有位博世（Bosch）无人驾驶团队的工程师让·本罗尔（Jan Bernlöhr）提供了一个在 WSL 安装 ROS 方案。这样就不需要像大多数在 Windows 下使用 ROS 的用户那样，安装一个笨重的 Linux 虚拟机，在虚拟机再跑 ROS。让·本罗尔在德国斯图加特大学读本科，在瑞士苏黎世大学获得博世学位，现就职于博世的无人驾驶团队。博士期间主要研究非线性系统的求解。在 WSL 下，可以运行 ROS 的核心，但是不能保证能有效的运行其他软件包，比如 rviz 就不一定能在 WSL 有效运行。



让·本罗尔 (Jan Bernlöhr)

微软与新成立的 Open Robotics 和 ROS Industrial Consortium 合作，将 ROS 引入 Windows。微软宣布推出适用于 Windows 的 ROS1 实验版（注：ROS2 也全面支持 Windows 系统）。微软对机器人的兴趣很早就表现出来，在比尔盖茨的领导下曾经推出机器人开发的软件系统，如 2006 年推出的 Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS)，这个软件比柳树车库的 ROS 还要早，可是并不成功。随着比尔盖茨退休，MRDS 的负责人离职，2014 年微软的机器人团队就解散了。



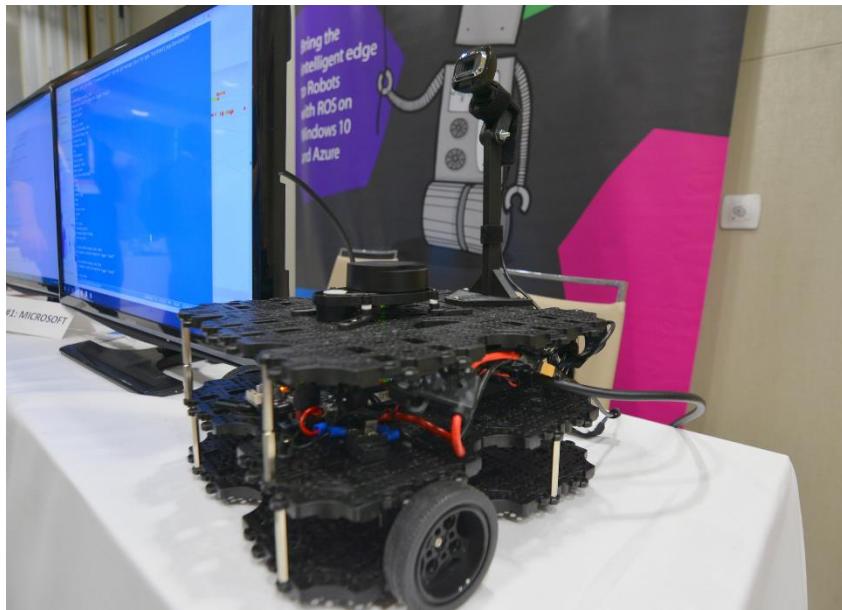
图：Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS)

这次，微软在其 Windows 10 IoT Enterprise 与 ROS 生态系统进行集成，再次进入机器人软件领域。微软已加入 ROS 工业联盟，借助 Windows 将 ROS 的先进功能扩展到制造业，并提高工业机器人推广和使用。

微软在 ROSCon2018 展示了一款 ROBOTIS Turtlebot 3 机器人，运行于 ROS Melodic Morenia 版本上，可以识别靠近的人。该机器人运行新版的 Windows 10 IoT Enterprise，

利用 ROS 节点进行通讯，在 Windows 环境中利用硬件加速机器学习。微软还展示了在 Azure 中运行的 ROS 仿真环境。

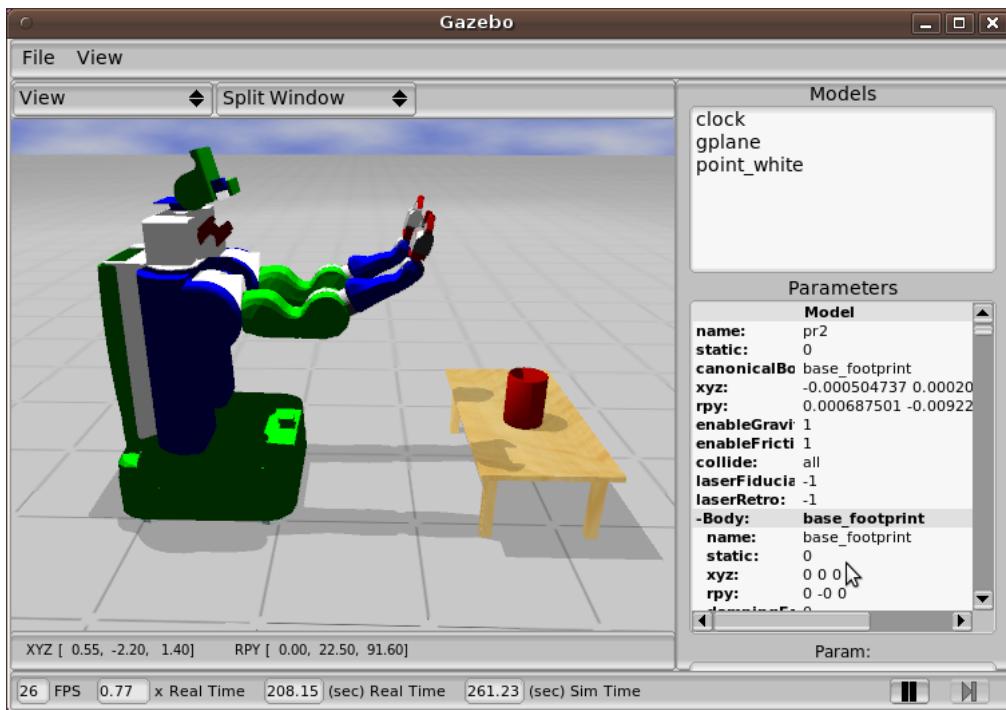
微软的介入，预示着 ROS 生态系统的大变动。



图：微软在 ROSCon2018 上展示的 ROBOTIS Turtlebot 3 机器人。

## 23. ROS 之 Gazebo

有必要谈一谈 Gazebo。Gazebo 是一个机器人三维仿真环境，这里面增加了称为“基于物理的仿真”这样的元素。学物理的时候，我们学习了，位移，速度，加速度，重力，摩擦力等概念，在这样的仿真环境里，可以模拟这样一些物理概念。在真实世界中遇到的一些物理现象，在这个仿真环境中尽可能把他们表现出来。它可以与 ROS 配套，用于完整的机器人仿真，也可以单独使用。



图：Gazebo 仿真环境

Gazebo 是安德鲁·霍华德（Andrew Howard）和凯特·考尼（Nate Koenig）在南加州大学<sup>16</sup>，开发的一个开源的机器人仿真环境。Gazebo 从 2001 年开始开发，到 2004 年，两位在当年的 IROS 国际机器人会议上发表了一片论文，《一个开源机器人仿真器》

---

<sup>16</sup> University of Southern California，缩写为 USC，世界著名大学，地处洛杉矶。

---

Gazebo》“Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator”<sup>17</sup>, 向学术界介绍了 Gazebo 的设计结构和使用方法。当时安德鲁·霍华德是南加州大学机器人实验室的教授，凯特·考尼是机器人实验室的一名博士生。



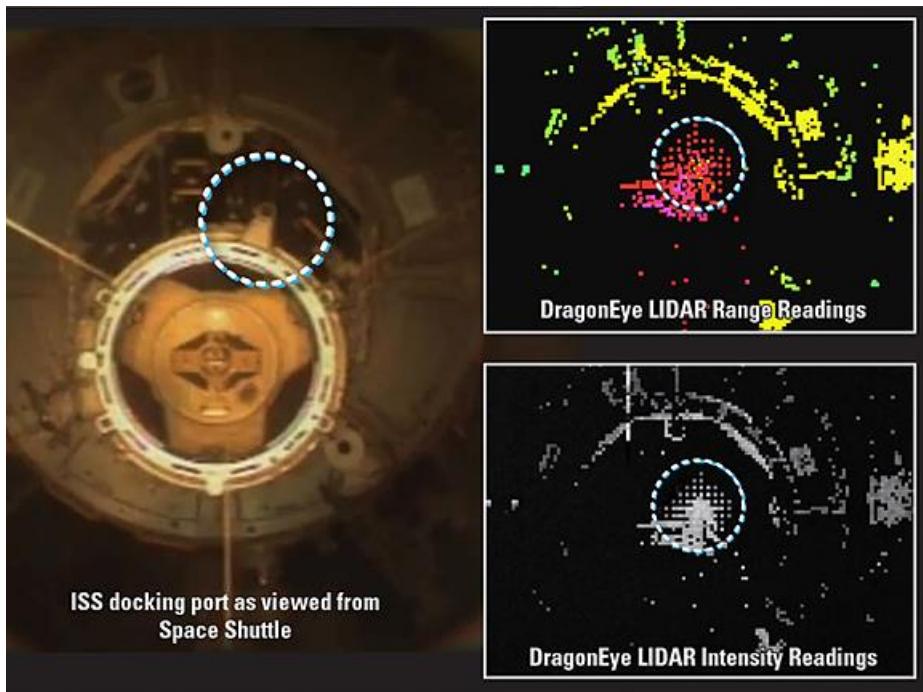
图：左：安德鲁·霍华德（Andrew Howard），右：凯特·考尼（Nate Koenig）

博士毕业后，凯特·考尼，与其他 3 位联合创始人，一起成立了“开源机器人基金会（OSRF）”。其中，布莱恩·格基（Brian Gerkey）为首席执行官（CEO），负责基金会的全面工作，罗伯特·弗里德曼（Roberta Friedman）为首席财务官（CFO），凯特·考尼为首席技术官（CTO），摩根·奎格利（Morgen Quigley）为首席架构师。

大家可能对安德鲁·霍华德不太了解。如果列出安德鲁·霍华德的经历和参与过的项目，大家一定会大吃一惊了。安德鲁·霍华德出生于澳大利亚，博士毕业于澳大利亚墨尔本大学。后到美国南加州大学机器人实验室工作，后加入美国航空航天局喷气推进实验室（NASA Jet Propulsion Laboratory），然后被伊隆·马斯克招入 Xspace 旗下。安德鲁·霍华德在美国航空航天局负责“龙眼”系统的开发，“龙眼”利用视觉（激光雷达）技术，引导飞船与国际空间站的对接。后来在 SpaceX 也采用龙眼系统进行空间站对接。

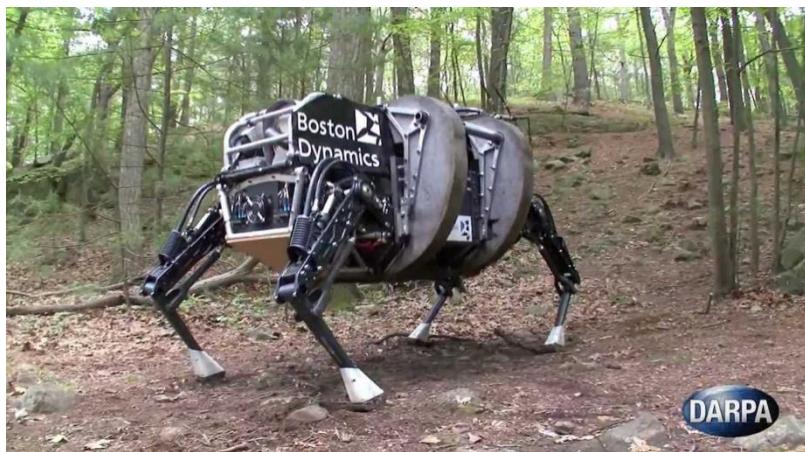
---

<sup>17</sup> Nate Koenig and Andrew Howard. Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2004, Sendai, Japan



图：龙眼系统帮助空间站对接

安德鲁·霍华德还在加州理工大学参加无人车挑战赛，参加大狗机器人（Big-Dog）的研发，为大狗机器人提供视觉系统。Big-Dog 就是那只大家在视频里看到的，在冰面上踉踉跄跄，但还保持稳定机器狗。



图：波士顿动力公司的大狗机器人



## 24. ROS 之编译系统

编译系统将各种软件包组织在一起，生产一个可执行程序或被其他可执行程序调用的库文件。如果我们记得 ROS 的设计原则之一是：跨平台和多语言支持，做到这一点非常不易，编译系统起到关键作用。

大家试想一下，你下载了他人的代码，这个代码是 C/C++写的，你希望让代码能在 Windows 下跑起来，这时候，你又发现了一个算法，这个算法是 Python 写的，你怎么把他们集成在一起。一般情况下，你可能还要下载一些第三方的软件包，放在合适的目录表，还要考虑是各个软件包是 32 位的，还是 64 位的。任何一步，遇到问题，都要费不少功夫，也有可能最终不成功，不得不放弃。

ROS 将世界各地，不同人写的代码组织起来，还要支持不同的操作系统，有些代码是 C/C++写的，有的是 Python 写的，有些是 Java 写的。每个人写的代码又可能用到五花八门的软件包，想想把这些源代码，软件包，各类库文件，生产一个可执行的程序，可真不易啊。

这样的跨平台编译工具不是没有，大家常用的 CMake 就是常用的一种跨平台的编译工具。

rosbuild 的核心也还是 CMake。rosbuild 的是由布莱恩·格基（Brian Gerkey）、特洛伊·斯特拉斯海姆（Troy Straszheim）、摩根·奎格利（Morgen Quigley）负责开发的。



图：从左到右，布莱恩·格基（Brian Gerkey）、特洛伊·斯特拉斯海姆（Troy Straszheim）、摩根·奎格利（Morgen Quigley）

布莱恩·格基毕业于南加州大学（University of Southern California）。前面说过，Gazebo 的两位开发者安德鲁·霍华德（Andrew Howard）和凯特·考尼（Nate Koenig）也在南加州大学工作或学习过。布莱恩·格基，大学期间就热衷于机器人开源软件，他负责开发 Player 机器人开发环境，在机器人学界的影响力非常大。后来加入车库，并领导 ROS 的开发，关于布莱恩·格基、Player 和 ROS 团队我们以后再说。



图：特洛伊·斯特拉斯海姆

后来，特洛伊·斯特拉斯海姆与车库的两位资深科学家科特·康诺利格（Kurt Konolige, CTO）和盖里·布拉德斯基（Gary Bradski），还有伊森·鲁布利（Ethan Rublee），史蒂芬·英特托瑟（Stefan Hinterstoesser）一起创建了 Industrial Perception, Inc. (IPI)。后 IPI 被 Google 收购，随公司一起加入 Google。

rosbuild 的初衷还是为车库自己的机器人开发而设计的。对硬件的兼容性，对各种操作系统的兼容性，都考虑的不周全。当时几乎没有特别考虑对 MS Windows 的兼容性。虽然，丹尼尔·斯托尼（Daniel Stonier），这位澳大利亚人领导一个韩国团队开发了 win\_ros，随着 ros 版本的演进，并没有人进一步的维护。rosbuild 用了很多 Linux 特有的脚本命令，Windows 下没有相应的命令。随着 ROS 社群的扩大，各种硬件都希望利用 ROS，各种软件包越来越多，编译效率（速度）变得越来越低。在这样一个大背景下，大家期待一个新的编译系统，这样 catkin 应运而生。

从 G 版本（拉风龟）开始，正式将 catkin<sup>18</sup>编译系统引进 ROS，希望能替代原有的编译系统 rosbuild。

catkin 的是由特洛伊·斯特拉斯海姆（Troy Straszheim）、莫腾·谢尔高（Morten Kjaergaard）、布莱恩·格基（Brian Gerkey）、德克·托马斯（Dirk Thomas）负责开发的。特洛伊·斯特拉斯海姆和布莱恩·格基，这两位前面说过，他们参与过 rosbuild 的开发。

另外两位莫腾·谢尔高和德克·托马斯。莫腾·谢尔高毕业于丹麦技术大学（Technical University of Denmark），获机器人方向博士学位，后加入一家人工智能+医疗的创业公司，任 CTO。德克·托马斯毕业于德国达姆施塔特工业大学（Technische Universität Darmstadt），加入车库后不久，就随 ROS 团队，一起加入布莱恩·格基领导的机器人开源基金会（OSRF）。

---

<sup>18</sup> catkin 意为“柳树上结的尾状花序”，源于公司的名称“柳树车库”。“The name catkin comes from the tail-shaped flower cluster found on willow trees -- a reference to Willow Garage where catkin was created.”



图：左：莫腾·谢尔高（Morten Kjaergaard），右：德克·托马斯（Dirk Thomas）

到了 ROS2，则推出了替代 catkin 的新的编译系统 ament<sup>19</sup>。ROS 的编译系统不停进行调整，说明这个问题一直没有很好的解决。用户编写的软件包都是相互独立，耦合性较弱，这一方面方便了用户独立开发，不用管其它软件的存在形式。另一方面，这样一个低耦合、模块化、分布式的框架，对于编译系统来讲有相当的挑战，编译系统需要正确、快速地、自动编译生成一个可运行软件包，需要解决软件包之间的依赖关系。相比 ROS 最初使用的 rosbuild，catkin 在做了一些改进，如支持 CMake 配置文件的自动生成。ament 的引入还主要是为 ROS2 考量的，所以原有的 ROS1 还是用 catkin 作为编译系统，ROS2 则用 ament。这样的考虑是极明智，不是左右人都愿意或有能力将现有的系统从 ROS1 迁移到 ROS2。

---

<sup>19</sup> ament 跟 catkin 意思相近意为“柳树上的花序”

## 25. ROS 之皆大欢喜 (Player 与 Stage)

以前有专门为 ROS 定制的软件库如 PCL、Stage、Gazebo。H 版本里这一部分做了较大的变动，将依赖于这些专用的软件库，修改成了依赖于其相应标准软件库。比如，一个软件包需要依赖 ROS 版的 PCL，现在则改为依赖标准的 PCL 即可。这样就不需要单独更新 ROS 版本的 PCL。Stage 和 Gazebo 情形也类似。

Player 项目由布莱恩·格基、理查德·沃恩 (Richard Vaughan) 和安德鲁·霍华德一起发起的。布莱恩·格基和安德鲁·霍华德都有提及。关于理查德·沃恩，如果大家关注今年在加拿大温哥华举办的 IROS 机器人大会，2017 年程序委员会主席就是这位英国大人理查德·沃恩。理查德·沃恩毕业于英国剑桥大学，获博士学位，后来到美国宜人的洛杉矶，南加州大学做博士后研究。理查德·沃恩后来一直在加拿大西门菲莎大学 (Simon Fraser University, SFU) 做研究。

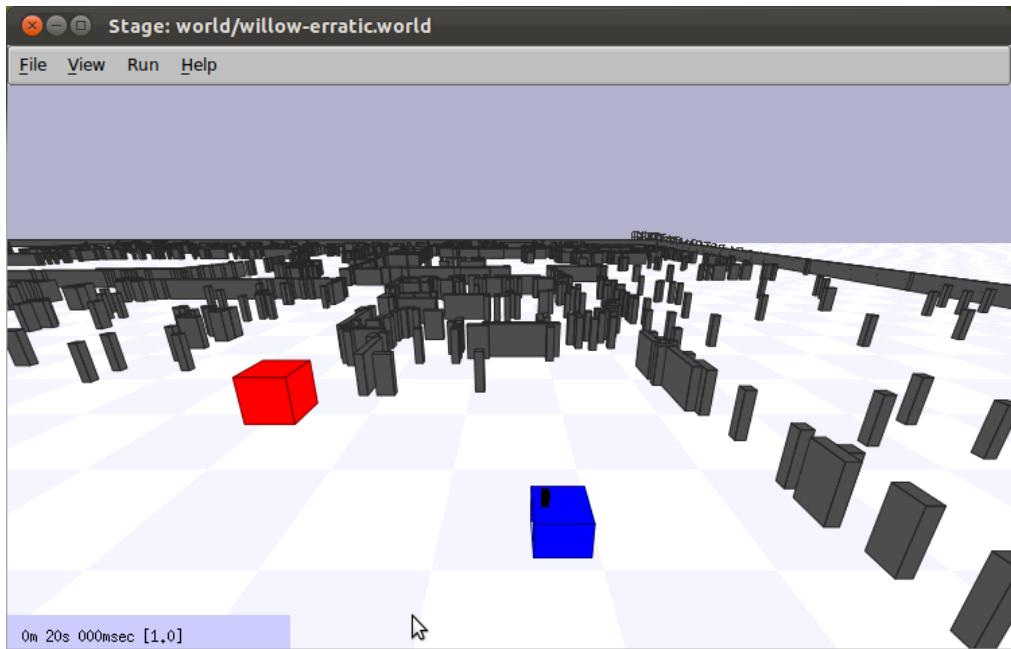


图：布莱恩·格基、理查德·沃恩和安德鲁·霍华德，Player 项目的发起人。

最早可以追溯到 1999 年南加州大学机器人实验室。在南加州大学，这几位一起开发了 Player 项目<sup>20</sup>，其中包括 2 个子项目：一个是 Player，一个是 Stage。

---

<sup>20</sup> Brian Gerkey, Richard Vaughan, Andrew Howard. The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems, ICRA 2013



图：Stage 仿真环境

Player 是一个各种机器人设备的服务器，客户端可以利用计算机网络，通过 Player 控制机器人设备和传感器。

Stage 是一个二维的机器人仿真环境。

2004 年左右，Gazebo，这样一个三维的基于物理的机器人仿真环境，加入到了 Player 项目中。后来车库资助 Gazebo 的开发，Gazebo 独立成一个单独的项目。

Player 和 Stage 的名称来源于莎士比亚戏剧“皆大欢喜”舞台剧中的独白。Gazebo 意思为舞台中带圆顶的露台。



图：Gazebo 意思为舞台中带圆顶的露台

“All the world's a stage, and all the men and women merely players. They have their exits and their entrances; and one man in his time plays many parts...” ——William Shakespeare, "As You Like It"

“世界是一个舞台，所有的男男女女不过是演员，他们都有下场的时候，也都有上场的时候。一个人的一生中扮演着好几个角色。” ——莎士比亚《皆大欢喜》

All the world's a stage, and all the  
men and women merely players:  
they have their exits and their  
entrances; and one man in his  
time plays many parts, his acts  
being seven ages.

*William Shakespeare*



附：The Seven Ages of Man (from As You Like It, II, vii)

by William Shakespeare (朱生豪 译)

All the world's a stage,

全世界是一个舞台，

And all the men and women merely players;

所有的男男女女不过是一些演员；

They have their exits and their entrances;

他们都有下场的时候，也都有上场的时候。

And one man in his time plays many parts,

一个人的一生中扮演着好几个角色，

His acts being seven ages. At first the infant,

他的表演可以分为七个时期。最初是婴孩，

Mewling and puking in the nurse's arms;

在保姆的怀中啼哭呕吐。

Then the whining school-boy, with his satchel

然后是背着书包、满脸红光的学童，

And shining morning face, creeping like snail

像蜗牛一样慢腾腾地拖着脚步，

Unwillingly to school. And then the lover,

不情愿地呜咽着上学堂。然后是情人，

Sighing like furnace, with a woeful ballad

像炉灶一样叹着气，写了一首悲哀的诗歌咏着

Made to his mistress' eyebrow. Then a soldier,

他恋人的眉毛。然后是一个军人，

Full of strange oaths, and bearded like the pard,

满口发着古怪的誓，胡须长得像豹子一样，

Jealous in honour, sudden and quick in quarrel,

爱惜着名誉，动不动就要打架，

Seeking the bubble reputation. Even in the cannon's mouth. And then the justice,

在炮口上寻求着泡沫一样的荣名。然后是法官，

In fair round belly with good capon lin'd,

胖胖圆圆的肚子塞满了阉鸡，

With eyes severe and beard of formal cut,

凛然的眼光，整洁的胡须，

Full of wise saws and modern instances;

满嘴都是格言和老生常谈；

And so he plays his part.

---

他这样扮了他的一个角色。

The sixth age shifts. Into the lean and slipper'd pantaloon,

第六个时期变成了精瘦的趿着拖鞋的龙钟老叟，

With spectacles on nose and pouch on side;

鼻子上架着眼镜，腰边悬着钱袋；

His youthful hose, well sav'd, a world too wide

他那年轻时候节省下来的长袜子，

For his shrunk shank; and his big manly voice,

套在他皱瘪的小腿上显得宽大异常；他那朗朗的男子的口音

Turning again toward childish treble, pipes

又变成了孩子似的尖声，

And whistles in his sound. Last scene of all,

像是吹着风笛和哨子。

That ends this strange eventful history,

终结着这段古怪的多事的历史的最后一场，

Is second childishness and mere oblivion;

是孩提时代的再现，全然的遗忘，

Sans teeth, sans eyes, sans taste, sans everything.

没有牙齿，没有眼睛，没有口味，没有一切。

这首诗，非常准确的诠释了 Player 和 Stage 软件。



## 26. ROS 驱动 DARPA 挑战赛

在 2015 年，DARPA 举办了一届机器人挑战赛（DARPA Robotics Challenge）。

23 只进入决赛的队伍中，有 18 支队伍使用 ROS，有 14 支队伍利用 Gazebo 进行仿真，ROS 取得非凡的成绩。



图：开源机器人基金会 ROS 开发团队在 DARPA 机器人挑战赛

里面的人物，我介绍了很多了，看看大家认识几位？

DARPA 万万没想到机器人挑战赛是：一只来自东方的力量，压倒西方强队，以媒体的说法是“横空出世的一匹黑马”。来自韩国高等科学技术学院 KAIST<sup>21</sup>团队，夺得了这项堪称有史以来最引人注目的机器人大赛的冠军，夺走高达两百万美金的大奖。

---

<sup>21</sup> Korea Advanced Institute of Science & Technology，简称 KAIST，位于韩国大田，一座科技新城。KAIST 创建于 1971 年，现科研排在韩国首位。



DARPA 受到刺激，“我们投的钱去哪了”？

DARPA 机器人挑战赛，至今没有再举办的计划。

这次比赛集结了全球最顶尖的机器人，Atlas、HRP。可以大多数机器人会出现摔倒现象，而且无法爬起。这是组委会没有充分预料到的。



如果从官方的资料看，有资格参加 DARPA 机器人挑战赛的总共 25 支队伍，12 支美国团队，其他参赛队伍包括 2 支德国队、1 支意大利队、3 支韩国队、5 支日本队和 2 支中国队。2 支中国队中有一个是来自香港大学的队伍，另外就是“中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所”一支队伍。



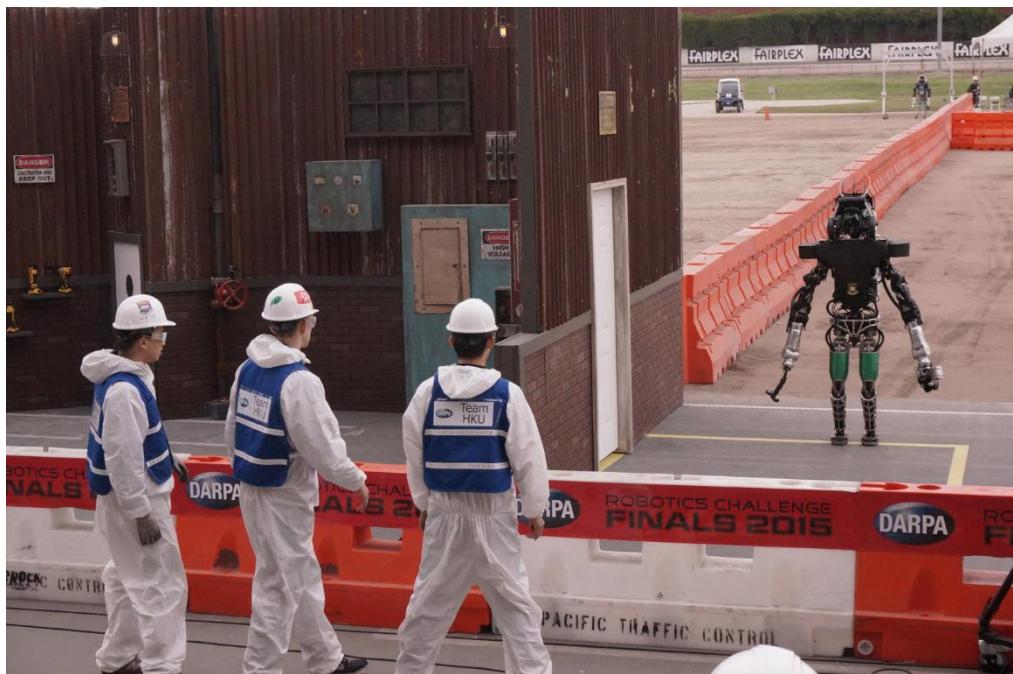
图：“中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所”双足机器人

在“中国科学院合肥物质科学研究院先进制造技术研究所”官方主页上我们看到如下描述：

仿人双足机器人项目来源于中科院合肥物质科学研究院“十二五”重点培育方向项目。该机器人是一种以实施危险环境救援为目标的类人型机器人，本项研究以人类功能和结构为基本仿生对象，通过研究人类高度的运动灵活性、环境自适应性和负重作业能力，研制出能够在复杂环境条件下执行作业的机器人系统。2013年研发的“智能先锋号”仿人双足机器人在全世界100多个队中，获得参加美国国防部DARPA举办的国际机器人挑战赛（DRC）资格，实现了整个机器人系统有机集成，突破环境识别、自主行走、任意抓取等多项关键技术。这些为开展本课题的相关研究工作奠定了深厚的理论与技术基础，保证了课题实施的可行性。

在决赛现场，并没有看到这支队伍的身影，也就是说，他们并没有真正参加这次比赛。

中国另外一支队伍来自香港大学，香港大学耗资1500万元港币购买的Atlas机器人，获得“DARPA机器人挑战赛”的资格。结果没有完成比赛的任何一项，在比赛中垫底。



关于香港团队的新闻，读者可以自行查找。应该说“遭受了无法承受的非议”。

## THE ROBOTS OF THE DARPA ROBOTICS CHALLENGE FINALS 2015



**TARTAN RESCUE**  
Robot: CHIMP  
Country: USA  
DOB: 2012  
Height: 150 cm  
Weight: 201 kg



**TEAM AERO**  
Robot: Aero DRC  
Country: Japan  
DOB: 2015  
Height: 160 cm  
Weight: 50 kg



**TEAM AIST-NEDO**  
Robot: HRP-2+  
Country: Japan  
DOB: 2002  
Height: 170 cm  
Weight: 65 kg



**TEAM DRC-HUBO@UNLV**  
Robot: Metal Rebel  
Country: USA  
DOB: 2013  
Height: 175 cm  
Weight: 80 kg



**TEAM GRIT**  
Robot: Cog-Burn  
Country: USA  
DOB: 2013  
Height: 122 cm  
Weight: 27 kg



**TEAM HECTOR**  
Robot: Johnny 05  
Country: Germany  
DOB: 2014  
Height: 147 cm  
Weight: 55 kg



**TEAM HKU**  
Robot: Atlas  
Country: Hong Kong & USA  
DOB: 2015  
Height: 187 cm  
Weight: 175 kg



**TEAM HRP2-TOKYO**  
Robot: HRP-2  
Country: Japan  
DOB: 2003  
Height: 154 cm  
Weight: 60 kg



**TEAM IHMC ROBOTICS**  
Robot: Running Man (Atlas)  
Country: USA  
DOB: 2015  
Height: 190 cm  
Weight: 175 kg



**TEAM INTELLIGENT PIONEER**  
Robot: Xing Tian  
Country: China  
DOB: 2014  
Height: 160 cm  
Weight: 70 kg

(withdrew from DRC Finals)



**TEAM KAIST**  
Robot: DRC-HUBO  
Country: South Korea  
DOB: 2014  
Height: 180 cm  
Weight: 80 kg



**TEAM MIT**  
Robot: Helios (Atlas)  
Country: USA  
DOB: 2013  
Height: 195 cm  
Weight: 182 kg



**TEAM NEDO-HYDRA**  
Robot: Hydra  
Country: Japan  
DOB: 2015  
Height: 180 cm  
Weight: 110 kg



**TEAM NEDO-JSK**  
Robot: JAXON  
Country: Japan  
DOB: 2015  
Height: 188 cm  
Weight: 110 kg



**TEAM NIMBRO RESCUE**  
Robot: Momaro  
Country: Germany  
DOB: 2015  
Height: 150 cm  
Weight: 60 kg

				
<b>TEAM ROBOSIMIAN</b> Robot: RoboSimian Country: USA DOB: 2012 Height: 70 cm Weight: 125 kg	<b>TEAM ROBOTIS</b> Robot: THORMANG Country: South Korea DOB: 2013 Height: 160 cm Weight: 60 kg	<b>TEAM SNU</b> Robot: THORMANG Country: South Korea DOB: 2014 Height: 140 cm Weight: 60 kg	<b>TEAM THOR</b> Robot: THOR-RD Country: USA DOB: 2014 Height: 150 cm Weight: 54 kg	<b>TEAM TRAC LABS</b> Robot: Hercules (Atlas) Country: USA DOB: 2013 Height: 190 cm Weight: 180 kg
				
<b>TEAM TROOPER</b> Robot: LEO (Atlas) Country: USA DOB: 2015 Height: 190 cm Weight: 180 kg	<b>TEAM VALOR</b> Robot: ESCHER Country: USA DOB: 2015 Height: 182 cm Weight: 80 kg	<b>TEAM VIGIR</b> Robot: Florian Country: USA & Germany DOB: 2013 Height: 193 cm Weight: 160 kg	<b>TEAM WALK-MAN</b> Robot: WALK-MAN Country: Italy DOB: 2015 Height: 185 cm Weight: 120 kg	<b>TEAM WPI-CMU</b> Robot: WARNER (Atlas) Country: USA DOB: 2013 Height: 190 cm Weight: 180 kg

Images and data: DARPA Robotics Challenge  
[www.theroboticschallenge.org](http://www.theroboticschallenge.org) • @DARPA

Illustration: IEEE Spectrum  
[spectrum.ieee.org](http://spectrum.ieee.org) • @IEEESpectrum



一只日本队伍 NEDO-Hydra，因技术原因退出决赛。

所以大家看到有 25 只队伍进入决赛，到达现场参加比赛的是 23 只队伍。

<b>Position</b>	<b>Team</b>	<b>Final Score</b>	<b>Time (min)</b>
1	TEAM KAIST	8	44:28
2	TEAM IHMC ROBOTICS	8	50:26
3	TARTAN RESCUE	8	55:15
4	TEAM NIMBRO RESCUE	7	34:00
5	TEAM ROBOSIMIAN	7	47:59
6	TEAM MIT	7	50:25
7	TEAM WPI-CMU	7	56:06
8	TEAM DRC-HUBO AT UNLV	6	57:41
9	TEAM TRACLABS	5	49:00
10	TEAM AIST-NEDO	5	52:30
11	TEAM NEDO-JSK	4	58:39
12	TEAM SNU	4	59:33
13	TEAM THOR	3	27:47
14	TEAM HRP2-TOKYO	3	30:06
15	TEAM ROBOTIS	3	30:23
16	TEAM VIGIR	3	48:49
17	TEAM IIT WALK-MAN	2	36:35
18	TEAM TROOPER	2	42:32
19	TEAM HECTOR	1	02:44
20	TEAM VALOR	0	0
21	TEAM AERO	0	0
22	TEAM GRIT	0	0
23	TEAM HKU	0	0

引用邓小平南巡讲话：

---

在经济上呢？则是近三十年来亚洲四小龙的崛起<sup>22</sup>。这两年，除了四小龙外，泰国、印尼、马来西亚也迎头赶上。四小龙和东南亚诸国的人有中国人聪明勤劳吗？我看未必。……”

“……我刚才提到二十世纪一个重大的经济现象就是四小龙的崛起。中国怎么办？我看先别赶英超美，连日本我们也别去比。中国当前的任务和出路就是向四小龙学习，经过二三十年的奋斗实现小康。”

机器人这条路还有很多要学习的地方。

---

<sup>22</sup> 说法源于英语：Four Asian Tigers，是指自 1970 年代起经济迅速发展的四个亚洲经济体：韩国、中国台湾、中国香港、新加坡。

## 27. ROS 之 MoveIt!

MoveIt! 第一次看到这个名字可能会觉得很奇怪，名字是怎么来的，怎么还有一个感叹号？如果大家了解一个专门负责抓取的软件叫 GraspIt!，就不会觉得特别奇怪了。MoveIt! 源于 ROS 的机械臂导航（arm\_navigation）软件包，但是 MoveIt! 的创始团队希望等做更多的东西，不仅仅是用于机械臂。他们期待能将一个物体从一个地方移动到另一个地方，看到 GraspIt! 这样一个大家熟知的软件，就参考这种命名方法，称为 MoveIt!。

MoveIt! 最早是用于柳树车库的内容项目 PR2 上，可以让 PR2 在一份复杂环境中运动，比如可以从冰箱里取出物体，从一个地方拿到另外一个地方。随着功能的完善，MoveIt! 一跃成为在工业机器人（主要是机械臂）上最广泛使用的开源操作软件，截止 2018 年，已经有超过 65 种机器人使用 MoveIt! 进行仿真。国内，大家熟知的胡春旭（网名，古月）所在的公司就是使用 MoveIt! 来仿真，并且控制机械臂来“泡功夫茶”。



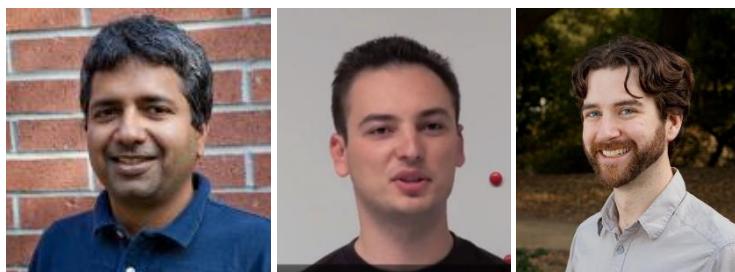
图 30.1：德国 FRANKA EMIKA 协作机器人，机器人深圳星河智能科技有限公司的展示的“泡功夫茶”机器人

传统的工业机器人是预先编程好的，并不能感知周围环境的变化，自然也不能随着环境的变化进行智能的调整运动。现在一个大趋势是，越来越多机器人需要跟工人协同工作，他们跟工人离得非常近，共享同一个工作空间，共同完成一项任务。自动驾驶可能是机器人与人类协同工作最好的例子。在拥挤的街道和高速公路上，行

驶中的自动驾驶汽车（如果把他也归类为机器人话）除了与其他车辆共享空间，还必须与行人、自行车共享空间，相当于协同工作。家庭服务机器人面临的环境更为复杂，凌乱的家居，椅子横七竖八，走到哪里都有障碍物，家庭成员进进出出，不断闯入机器人的领地，动态改变机器人的工作空间。在这样复杂环境中运动的机器人，必须清楚其周围环境，必须避免周围的任何障碍物，必须避免家庭成员发生碰撞。

从最早的 arm\_navigation 到后来的 MoveIt!都是构建在 ROS 整个框架下的软件包，专门负责处理上面描述那些问题。MoveIt!的前身 arm\_navigation 软件包专为 PR2 设计的，负责 PR2 手臂的运动规划，生成运动轨迹。利用 MoveIt!提供的功能，机器人还可以使用三维视觉系统，结合其他传感器，理解周围的环境，并对其进行建模，即用计算机能理解的一种方式进行表达。MoveIt!可以生成一套算法，让机器人在这样复杂的环境中进行运动规划，从一个地点安全的到达另外一个地点。MoveIt!可以实时的监控机器人周围的环境，反馈给运动规划系统。机器人再根据这些变化，进行动态的调整。

MoveIt!将 arm\_navigation 软件包的核心算法从 ROS 中分离出来，重新封装。MoveIt!降低了对 ROS 的依赖，代码的复用效率更高。MoveIt!还提供了配置文件和配置界面，让初学者可以快速的上手使用。资深开发人员，还可以将自己的算法直接集成到 MoveIt!里，不需要依赖庞大的 ROS 系统。比如，当时还是美国北卡大学教堂山分校博士生的潘佳，就将自己开发 FCL（Flexible Collision Library）集成到 MoveIt!里，为运动规划提供快速、高效的碰撞检测算法。





图：MoveIt!的创始团队萨钦·启德（Sachin Chitta），伊万·苏坎（Ioan Sucan），吉尔·琼斯（Gil E. Jones），内森·普利（Thathan Pooley，昵称坚果），苏阿特·戈迪克里（Suat Gedikli），戴夫·赫什博格（Dave Hershberger）

启德领导MoveIt!开发，后来创建了Kinema系统公司，世界上第一个将深度学习和3D视觉解决方案用于工业机器人搬运，致力于为物流和制造业构建基于深度学习和三维视觉的机器人解决方案。2018年，Kinema系统公司还获得NVIDIA初创加速计划挑战赛的资助。



苏坎来自德国，毕业于不莱梅的雅克布大学，后来到美国，在莱斯大学获得博士学位。他的导师是莉迪娅·卡娃凯（Lydia Kavraki），就是高维PRM算法（Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces, 1996）的第一作者。卡娃凯出生于希腊，后来在美国求学，卡娃凯导师是斯坦福大学人工智能实验室的让-克劳德·拉脱姆比（Jean-Claude Latombe）。在机器人领域，女性科学家比较少，能

取得相当成就的就更少。卡娃凯在机器人运动规划领域的贡献，2002年，她被《麻省理工学院科技评论》杂志评选为35岁以下杰出青年创新人物。这篇运动规划的经典文章也成为机器人领域的最重要的文献之一。其实，PRM最早是由荷兰科学家马克·奥维马斯（Mark Overmars）提出来的，很快被在斯坦福读书的卡娃凯关注。这样才有他们共同合作的这篇经典文章。卡娃凯后来在莱斯大学任教，将自己的实验室命名为“卡娃凯实验”，这种命名方式在日本非常普遍，在美国则显得非常另类。苏坎就在“卡娃凯实验”做研究，参与开发一个非常重要的运动规划软件库，OMPL（Open Motion Planning Library）。这是一个基于概率的运动规划软件，由马克·摩尔（Mark Moll）领导开发。正是由于OMPL的工作，苏坎读书期间就到柳树车库参加PR2机器人的开发，后来成为MoveIt！重要成员。



图：莉迪娅·卡娃凯，基恩-克劳德·拉脱姆比（卡娃凯的导师），马克·奥维马斯（PRM最早提出者），马克·摩尔（OMPL开发者）。

苏坎博士毕业后加入柳树车库。2012年，困境中柳树车库失去哈森的资金支持后，苏坎跟大多数人一样，加入了谷歌，参与了谷歌自动驾驶团队。2016年，随着谷歌自动驾驶团队从母公司独立出来，成立了Waymo，谷歌整体也做了很大的结构调整，成立Alphabet公司，Waymo成为Alphabet旗下的子公司。

吉尔·琼斯毕业于卡耐基梅隆大学，获机器人方向博士学位，毕业后加入柳树车库。在柳树车库企业孵化项目中，琼斯作为联合创始人与埃坦·马德·爱泼斯坦一起创建了hiDOF。hiDOF是一家从事机器人和自动化软件的咨询公司，2013被Google收购。被Google收购后，琼斯和爱泼斯坦一起加入谷歌，组建了谷歌Tango组。借助Tango相

机，移动设备可以获得大量视野范围内物体有关的信息，从而可以测量距离、识别物体、创建物体的三维模型、绘制现场环境的地图。琼斯一直在谷歌工作。

普利现在谷歌工作。

苏阿特·戈迪克里来自德国，受到柳树车库伟大愿景的召唤，加入该组织。后加入车库孵化的公司 Open Perception。最近又创建了数据分析公司，Cape Analytics，从事数据分析工作。

赫什博格加入了启德创建的 Kinema 系统公司，负责机器视觉相关的软件开发。

## 28. TurtleBot 的故事

TurtleBot 是一款移动机器人，特点是便宜。TurtleBot 带有摄像头和移动底盘，可以用于研究机器人的导航问题：即机器人决定往哪个方向走，怎么走，怎么绕过障碍物，最终到达目的地。不少 ROS 的初学者是在 TurtleBot 的陪伴下学习的机器人编程的。以至于一些人想方设法能获得一台 TurtleBot，好像没有 TurtleBot，就没法学习 ROS，没法学机器人编程了。

随着 ROS 的普及，也让一些人看到商机，一些代理就通过销售 TurtleBot 发了点小财。也有一些机器人爱好者，通过打造与 TurtleBot 功能类似的机器人，在经济上小有收货。ROS 的官方说法，TurtleBot 总共卖出了上千台。让我们跟随 TurtleBot 的故事，探究其中的奥秘。

### 第一台 TurtleBot

一开始，人们一直有种错觉：为了能使用 ROS，就必须有一台 PR2 机器人。因为 PR2 非常昂贵，人们自然也会推理，认为 ROS 是一个很难用的系统。

当时 ROS 刚刚推出，车库的两位工程师，图利·弗特（Tully Foote）<sup>23</sup> 和麦罗尼·威瑟（Melonee Wise）<sup>24</sup> 认为，这也太不现实了。怎么能期待一般的开发者拥有这么昂贵的机器人才能用 ROS 进行机器人开发呢？

开发者的这种错觉非常不利于 ROS 的普及。

“如何让大学的老师、学生、机器人爱好者拥有一个价格上能够接受的硬件平台，方便学习 ROS”，这样的问题开始在图利·弗特和麦罗尼·威瑟脑海中不停盘旋。

---

<sup>23</sup> 图利·弗特现就职于“开源机器人基金会”，负责 ROS 的开发和推广工作。

<sup>24</sup> 麦罗尼·威瑟加入车库非常早，是车库的第 2 号员工。在车库解散后，带了几位工程师，创建了 Unbounded Robotics 公司，开发与 PR2 类似的通用机器人平台上，但是由于与 PR2 版权关系，很快公司就解散了。这几位车库的员工又创建了 Fetch 机器人公司，将重点转移到仓储物流领域的机器人应用上。

车库做了非常多的尝试，希望 ROS 能在其他一些机器人上跑起来。图利·弗特办公室有一台乐高玩具机器人，他们曾经尝试在这样的玩具上跑 ROS，但是不是非常成功。能做的似乎只能让电机转动，无法实现机器人常见的导航，毕竟这样的玩具机器人运算能力不足。



图：图利·弗特（左），TurtleBot（中），麦罗尼·威瑟（右）

2010年年底，墙角的一台扫地机器人引起麦罗尼·威瑟的注意。这是一款 iRobot 机器人<sup>25</sup>，他们马上了解到，当时 iRobot 机器人公司还有一款专门为开发者设计的机器人，iRobot Create。利用机器人本身提供的 API，可以对 iRobot Create 进行编程。

当时微软的 Kinect 相机刚推出，很火。Kinect 可以获得场景的深度信息，这与我们常见的获取颜色信息的相机不同，这款相机的图像是深度，也就是拍摄到信息是物体到相机的距离。这款设备本来是为家庭游戏打造的体感设备，可以一经推出，马上就吸引了机器人和计算机视觉研究者的注意，把它作为一个经济实惠的图像获取设备来利用。

---

<sup>25</sup> iRobot 机器人公司创建于 1990 年，三位创始人是罗德尼·布鲁克斯（Rodney Brooks），科林·安格尔（Colin Angle）、海伦·格雷纳（Helen Greiner）。罗德尼·布鲁克斯当时是 MIT 的教授和另两位是 MIT 的学生。MIT 位于美国的东海岸，可以看出那是东海岸的创业热情也是非常高。

---

图利·弗特和麦罗尼·威瑟把 Kinect 固定在 iRobot Create 上，这样就有了深度相机 Kinect，有了移动平台 iRobot Create，一款可移动、可用视觉进行导航的机器人就有了，而且还非常便宜。“便宜”正式图利·弗特和麦罗尼·威瑟是想要的，只有便宜才能让更多的人用得起。世界上第一台 TurtleBot 见图 3.1。



图：世界上第一台 TurtleBot

可这仅仅是硬件，用市场上可以买到的设备，拼装在一起。最让图利·弗特和麦罗尼·威瑟头痛的是设备驱动部分。如何打开硬件提供的端口，建立连接；如何将相机获取的数据，并进行特定的数据格式进行解析；如何把这些封装在一起，给最终提供给 ROS 的开发者的是一个简单的接口。

有了移动平台，有了摄像头，还需要一个计算机来运行 ROS 的相关算法。自助导航是 ROS 的精髓，为了把这个精髓表现的淋漓精致，这个平台必须能实现自主导航。要便宜，还要功能强大。图利·弗特和麦罗尼·威瑟测试了不同的电脑，希望找到一款性价比最高的计算平台。当然，后面的故事大家都知道了，他们选择了华硕的一款上网本，性价比极高。

虽然他们又解决了 iRobot Create 的内置里程计准确度不高的问题，解决了 Kinect 的供电问题。

Google 一次购买了 8 台这样的原型机，用于内部研究项目。

两人又花了点时间，做产品的设计。TurtleBot 的图标就是一个海龟背上有 ROS 图标中的 9 个圆点。很快对外发布了。

就这样，Turtlebot 火了。

笔者所在的实验室最开始也是利用 Turtlebot 做研究的。考虑到成本，笔者从美国采购了 iRobot Create，学生们自己 DIY 了其他支持部件。深度相机用的是华硕的 Xtion Pro Live。

Turtle 是海龟的意思，Bot 是机器人的缩写。TurtleBot 字面上讲，就是“海龟机器人”的意思。为什么叫乌龟机器人，而不是螃蟹机器人，蟑螂机器人，金鱼机器人？

让我们慢慢解释。

有这么一位，叫威廉姆·格雷·瓦尔特（William Grey Walter），1910 年出生于美国<sup>26</sup>，幼年由于父母的缘故，来到英语求学。后来成为一名神经科学家。一生多数时间在美国做研究。



---

<sup>26</sup> 可参考 The robotics primer by Maja J Matarić, 2007. 2017 年出了中译本《机器学-经典教程》

图：威廉姆·格雷·瓦尔特在组装“机器冒险者”

为了研究大脑和神经反应，1948 至 1949 年间，威廉姆·格雷·瓦尔特制作了一个被自己称为“机器冒险者（拉丁语为 *Machina Speculatrix*）”的机械装置。希望通过让机器装置来模仿，研究神经反应和人类的行为。“机器冒险者”采用了三轮结构，一个转向轮，两个驱动轮。前面的转向轮用于控制方向，两个后轮用来驱动整个机构。

威廉姆·格雷·瓦尔特在这个三轮“机器冒险者”的上面遮盖了一个外壳，看起来非常可爱，像一只大乌龟。人们称其为威廉姆·格雷·瓦尔特的“乌龟”，这只“乌龟”是人类历史上第一个自主移动的机器人。



威廉姆·格雷·瓦尔特的“乌龟机器人”对机器人学、人工智能产生重大影响。很多人在威廉姆·格雷·瓦尔特的“乌龟机器人”影响中成长起来。

其中，1956年有一位大学生伊万·苏泽兰（Ivan Sutherland）给威廉姆·格雷·瓦尔特写了一封信，信中伊万·苏泽兰虚心地向威廉姆·格雷·瓦尔特请教、征求意见。

这位伊万·苏泽兰就是后来的 ACM 图灵奖获得者，图形用户界面（Graphical User Interface，简称 GUI）的发明者，SketchPad 的发明者，以及“虚拟现实之父”。

乌龟（Turtle）在机器人领域基本成了机器人的代名词了。有 TurtleBot 这样的名字，也就不足为奇了。

## 29. TurtleBot 背后的女人

说到 TurtleBot，就要说背后的男男女女。

前文说过，TurtleBot 是图利·弗特（Tully Foote）和麦罗尼·威瑟（Melonee Wise）发明的，而且软硬件开源，最早的使用者是 Google。

说说麦罗尼·威瑟。

麦罗尼·威瑟加入车库非常早。麦罗尼·威瑟毕业于伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校<sup>27</sup>，本科学的是物理工程，硕士研究生学的是机械工程。博士读了 1 年，就辍学了，开着车，拉着全部家当，直奔硅谷，先在一家无人驾驶汽车公司干了 2 个星期。马上被斯科特·哈森创立的“柳树车库”机器人公司吸引，成为车库的第 2 号员工。



---

<sup>27</sup> 伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校（University of Illinois at Urbana-Champaign，缩写为 UIUC），理工科方面有极高的威望。当年在中国留学生在“庚子赔款”奖学金的资助下，得以留美深造，伊利诺大学收留和培养了大量的留美中国学生。

图：学生时代的麦罗尼·威瑟

麦罗尼·威瑟几乎参与了车库所有机器人项目，从 PR2 机器人开发，到 ROS 各种驱动，甚至 ROS 百科的维护，再到如何将 ROS 移植到乐高教育机器人上，开发玩具机器人 Sphero 等等。

麦罗尼·威瑟在车库可谓功勋卓越，战功显赫。在车库逐渐从资深软件工程师成长为能领导整个团队的机器人开发部门的经理。麦罗尼·威瑟还负责的车库实习生计划，一个非常宏伟的扩大柳树车库和 ROS 影响力的计划。



图：麦罗尼·威瑟负责的车库实习生计划

尤其是与图利·弗特还在闲暇时间发明了 TurtleBot，对 ROS 的普及功不可没。



最让人汗颜的是：麦罗尼·威瑟还是为女生，是女生，是女生。

这在跟机械，软件打交道的机器人行业是非常罕见的。

2013 年，当车库解散的时候，麦罗尼 · 威瑟离开了车库，并与其他三个车库的前同事创立了机器人公司 Unbounded Robotics，主打开源个人机器人平台。

该公司的第一款产品 UBR-1 出世时备受好评，被业界称作是 PR2 的简约版，颠覆者，而 PR2 则是车库从 2006 年开始研发的一款开源个人机器人，比 UBR-1 贵了近 20 倍。



图：前排从左往右：CEO 麦罗尼·威瑟（Melonee Wise），UBR-1 机器人，机械工程师，艾瑞克·迪尔（Eric Diehr）。后排从左往右：CTO 迈克尔·弗格森（Michael Ferguson），系统工程师，德里克·金（Derek King）。

可是结局并不如人意，这款产品没有对外销售，他们的新公司面临版权和融资问题。麦罗尼·威瑟在给员工的邮件中写道：

“与车库的分拆协议阻止了我们募集 A 轮的融资。Unbounded 机器人公司，将不再出售 UBR-1。”

Unbounded 的倒闭是因受到了车库版权方面的影响。这源于在车库期间，麦罗尼·威瑟领导开发过一款 PlatformBot 的机器人平台，这是一个保密项目，车库从未对外发布。这个 PlatformBot 与 UBR-1 确实很像。



图：车库的 PlatformBot 机器人和 PlatformBot 团队

与车库谈不拢，Unbounded 很快倒闭。

有了此前多年机器人相关的研究经验，2014 年，麦罗尼·威瑟东山再起，成立了一家新公司，Fetch Robotics。



图：从左往右：机械工程师，艾瑞克·迪尔（Eric Diehr），CEO 麦罗尼·威瑟（Melonee Wise），CTO 迈克尔·弗格森（Michael Ferguson），系统工程师，德里克·金（Derek King）。前排是 Fetch 机器人。

关于 Fetch 机器人的故事，我们可以专门讲解。

2015 年，由于麦罗尼·威瑟在机器人创业上的贡献，被《麻省理工学院科技评论》杂志评选为 35 岁以下杰出青年创新人物。

永不屈服的女人麦罗尼·威瑟。

## 30. TurtleBot 背后的男人

TurtleBot 的另外一位发明人、创始人是图利·弗特（Tully Foote）。

图利·弗特本科就读于加州理工学院（California Institute of Technology），硕士研究生毕业于宾夕法尼亚大学（University of Pennsylvania）<sup>28</sup>。专业是机械工程。



2005 年，本科生图利·弗特加入加州理工的 DARPA 无人车团队<sup>29</sup>，他们开发的无人车 ALICE 参加了当年的 DARPA 野外无人驾驶汽车大奖赛（DARPA Grand Challenge）。

---

<sup>28</sup> 宾夕法尼亚大学是八所常春藤名校之一，加州理工是美国两所著名理工大学之一，另外一所是麻省理工大学。

<sup>29</sup> Lars B. Cremean Tully B. Foote Jeremy H. Gillula George H. Hines Dmitriy Kogan Kristopher L. Kriegbaum Jeffrey C. Lamb Jeremy Leibs Laura Lindzey Christopher E. Rasmussen Alexander D. Stewart Joel W. Burdick Richard M. Murray. Alice: An Information-Rich Autonomous Vehicle for High-Speed Desert Navigation. The 2005 DARPA Grand Challenge.

---

## Alice: An Information-Rich Autonomous Vehicle for High-Speed Desert Navigation

Lars B. Cremean, Tully B. Foote, Jeremy H. Gillula, George H. Hines,  
Dmitriy Kogan, Kristopher L. Kriegbaum, Jeffrey C. Lamb, Jeremy Leibs,  
Laura Lindzey, Christopher E. Rasmussen, Alexander D. Stewart,  
Joel W. Burdick, and Richard M. Murray

California Institute of Technology, Control and Dynamical Systems,  
1200 East California Boulevard, Pasadena, California 91125

**Summary.** This paper describes the implementation and testing of *Alice*, the California Institute of Technology's entry in the 2005 DARPA Grand Challenge. *Alice* utilizes a highly networked control system architecture to provide high performance, autonomous driving in unknown environments. Innovations include a vehicle architecture designed for efficient testing in harsh environments, a highly sensory-driven approach to fuse sensor data into speed maps used by real-time trajectory optimization algorithms, health and contingency management algorithms to manage failures at the component and system level, and a software logging and display environment that enables rapid assessment of performance during testing. The system successfully completed several runs in the National Qualifying Event, but encountered a combination of sensing and control issues in the Grand Challenge Event that led to a critical failure after traversing approximately 8 miles.

无人驾驶汽车大奖赛是由美国 DARPA<sup>30</sup>部门出资赞助的无人驾驶技术大奖赛，这项赛事促进了无人驾驶车辆技术的研究和发展。Google 后来组建的团队很多是出生于这些比赛。2004 年是第一届比赛，那一年大家对比赛很不熟悉，对可能出现的状况估计不足，没有团队赢得比赛。

2005 年各团队卷土重来，比赛地点选在美国莫哈韦沙漠（Mojave），全长 200 公里多一点，赛道难度很大，包含了 3 条狭窄的隧道，100 多个急转弯，还有很多的陡坡和山路，路况很复杂。那一年的冠军是斯坦福大学，拿下了 200 万美元的奖金，车的名字叫做史丹利（Stanley）。对的，又是那个西海岸的斯坦福大学！

---

<sup>30</sup> 美国防部国防高级研究计划署（Defense Advanced Research Projects Agency，缩写为 DARPA）

加州理工的 ALICE 出发没多久就出现故障，其中一个激光雷达在高温下坏了，ALICE 冲向路基，退出比赛。出师不利。



图：2005年加州理工开发的无人车 ALICE，参加 DARPA 无人驾驶汽车大奖赛



图：2005年加州理工开发的无人车 ALICE 退出比赛

2006 年，图利·弗特到宾夕法尼亚大学读博士，他对 DARPA 的无人车比赛依然迷恋。很快加入了宾夕法尼亚大学的 Ben Franklin 无人车团队，并参加了 2007 年的城市无人车大奖赛，他们开发的无人车无人车“小笨”（Little Ben）<sup>31</sup>成功完成比赛。



图：2007年宾夕法尼亚大学开发的无人车“小笨”（Little Ben）

---

<sup>31</sup> Jonathan Bohren, Tully Foote, Jim Keller, Alex Kushleyev, Daniel Lee, Alex Stewart, Paul Vernaza, Jason Derenick, John Spletzer, Brian Satterfield. Little Ben: The Ben Franklin Racing Team's entry in the 2007 DARPA Urban Challenge, Journal of Field Robotics. 25 August 2008.

---



图：宾夕法尼亚大学 Ben Franklin 无人车团队

2008 年图利·弗特硕士毕业，加入车库。算是车库的老员工了，参与和车库非常多的项目，主要集中在 ROS 相关的开发方面。

- ROS 的核心开发人员
- 与文森特·莱保德（Vincent Rabaud）一起在 OpenNI 基础上，开发维护 Kinect 驱动。
- 与麦罗尼·威瑟（Melonee Wise）发明了 TurtleBot 1
- 开发了 ROS 里的几个软件包 sensor\_msgs、geometry\_msgs
- 还设计和开发了 ROS 里的坐标变换 tf。
- 负责维护 ROS wiki，论坛
- 负责对外联络

这就是图利·弗特，现在是开源机器人基金会 ROS 开发部门的负责人。

## 31. TurtleBot 的演变

TurtleBot 非常受欢迎，全球卖出了上千台 TurtleBot。这是两位创始人始料未及的。

究其原因是，所有好一点的机器人都太贵了，自己设计开发一款机器人也太贵了，太费时了。

TurtleBot 的目的是给机器人开发者提供一个价格适中的开发平台，让他们直接使用 TurtleBot 自带的软硬件，专注于 ROS 和基于 ROS 的机器人应用开发。TurtleBot 采用了市面上能买到的最便宜的设备，加以拼装。性能也能满足大多数人的要求。驱动、软件完整，说明文档简单明了。软硬件开源。

TurtleBot 的硬件包括扫地机扩展的运动底盘 iRobot Create、RGB-D 相机 Kinect、一个笔记本、电池和支撑架。在笔记本上安装 ROS 后，就可以实现 3D 导航、跟随等功能。

一切都符合市场需求，极客们的口味。



这是 Turtlebo-1 的故事。

Turtlebot-2 的出现由完全不同。韩国有家公司叫柳真机器人（Yujin Robotics）希望与车库合作，打造一款与 Turtlebot-1 功能类似的机器人研究平台。车库当然乐见其成。车库这是把希望实现的功能发给了柳真机器人公司，很快一个全新的 Turtlebot 就制造出来了。这就是 Turtlebot-2。



Turtlebot-2 比 Turtlebot-1 易用性更好，更安静，还能自己充电。别忘了，iRobot Create 就是基于 iRobot Roomba 的扫地机器人。柳真机器人公司也生产扫地机器人，打造一款类似的机器人平台并不算难事。

比较遗憾的是，有一个对机器人至关重要的传感器，“激光雷达”，在 Turtlebot-2 没有配备。

还有一个美中不足的地方，Kinect 是固定的，安装在支架上，只能朝向一个方向，视野有限。所以你们会看到有的机器人安装了好几个 Kinect，面向不同的方向。也有把 Kinect 安装在一个舵机上，从而可以改变 Kinect 的朝向。

Turtlebot-2 变种还有 Turtlebot-2e（单片机替换了笔记本电脑）、Turtlebot-2i（配备了一个 3 自由度的机械臂）、Turtlebot-Euclid（用了英特尔的相机、预装了英特尔的 Euclid 开发套件）。



图：Turtlebot-2e、Turtlebot-2i、Turtlebot-Euclid<sup>32</sup>

韩国另外一家公司 ROBOTIS 在多年后，开发了拼装版的 TurtleBot-3，还增加激光雷达，这是 Turtlebot-3 最重要的改进。

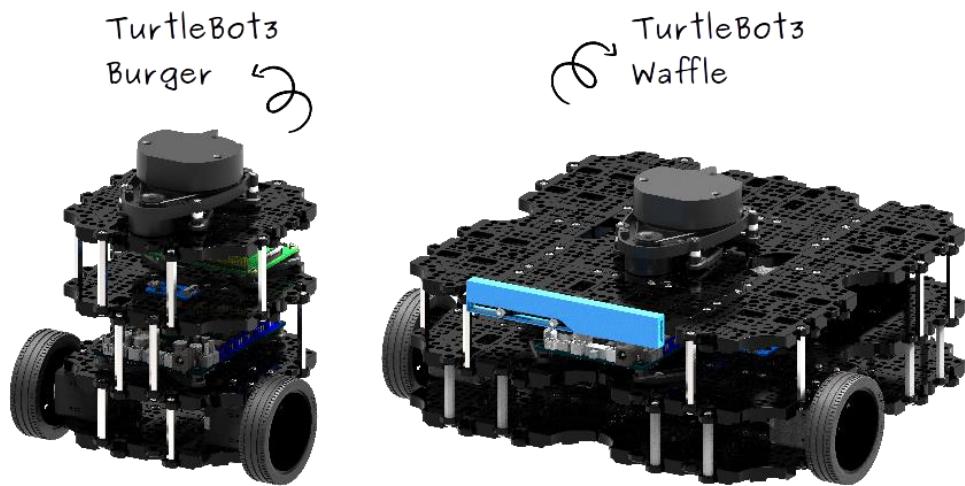
当然，Turtlebot-3 的价格也非常便宜

便宜才符合 TurtleBot 的初衷——让更多的人能利用 TurtleBot 学习 ROS。

---

<sup>32</sup> <http://www.turtlebot.com>

---



图： Turtlebot-3

## Original TurtleBot (Discontinued)



## TurtleBot 2 Family

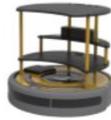
TurtleBot 2



TurtleBot 2i



TurtleBot Euclid



TurtleBot 2e

## TurtleBot 3 Family

Burger



Waffle



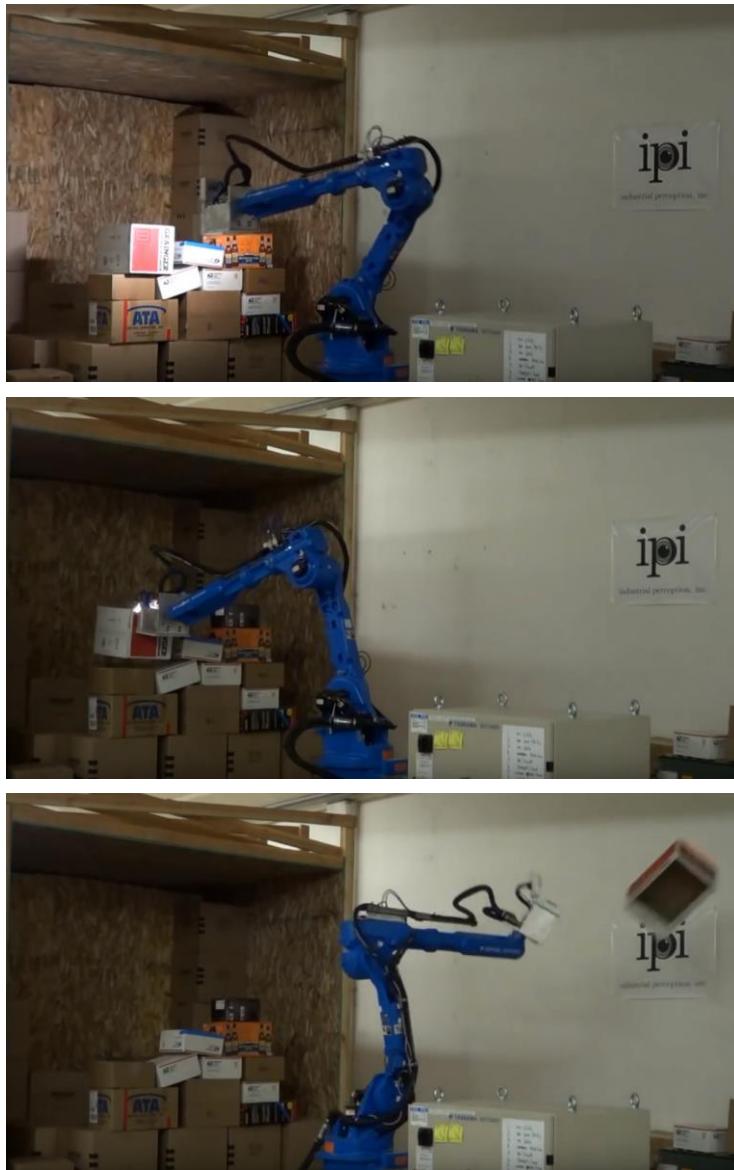
图： Turtlebot 进化图

## 32. ROS 之 IPI

工业感知公司（Industrial Perception, Inc., 简称 IPI），是柳树车库孵化的另一家公司，从 2012 年起从柳树车库独立出来。面向未来电子商务物流，利用视觉技术辅助货物的装卸，物品分拣，上下物料。

传统的机器视觉具备识别二维图像的能力，IPI 希望构建是一套具备三维识别能力的技术，这无疑会是下一代机器人所需具备的感知能力。在那段时间微软推出的 Kinect 让机器人拥有了低成本的三维识别能力。几位创始人利用各自的优势，并建立了一套新标准，针对工业环境对速度、稳定性和安全性的高要求，在软件层面上针对工业使用场景进行了大量的优化，从而可以将三维视觉技术真正应用到工业制造领域。

有了三维识别能力之后，IPI 就等于为传统的工业机器人（机械臂）装上了眼睛和大脑，拥有智能和视觉感知，这样他们能够识别前后相互遮挡的货物，即使货物的颜色看上去很相似。这样的技术可以用于卡车装卸货物，抓取物件，通过实时调整机器人抓手的姿态，将机械手调整到正确的姿态，把物体抓取起来，并放到指定的位置上，同时要避免相互物件之间的发生碰撞。



图：IPI 视觉辅助货物分拣（上）：对货物进行识别；（中）：真空抓手拾取货物；  
(下) 将货物扔向它处。

几位创始是机器人视觉技术方面的专家，在柳树车库合作搭建了一个能够支持 3D 识别和导航技术的软件系统，期待将这样的技术应用到自动化领域。尤其是科特·康诺利格（Kurt Konolige, CTO）和盖里·布拉德斯基作为柳树车库的高层管理人员，认识有很多年了，两位都是机器人视觉技术方面权威人士。



图：科特·康诺利格（Kurt Konolige, CTO），盖里·布拉德斯基（Gary Bradski）伊森·鲁布利（Ethan Rublee），史蒂芬·英特托瑟（Stefan Hinterstoesser）

科特·康诺利格毕业于斯坦福大学，获人工智能方向博士学位。

盖里·布拉德斯基本科毕业于加州大学伯克利分校，在波士顿大学获人工智能方向博士学位。

伊森·鲁布利毕业于天普大学（Temple University），获计算机视觉方向博士学位。

史蒂芬·英特托瑟毕业于德国慕尼黑工业大学（TUM），获计算机视觉方向博士学位。

后来 IPI 被 Google 收购，特洛伊·斯特拉斯海姆、科特·康诺利格、伊森·鲁布利、史蒂芬·英特托瑟以及随公司的收购，加入 Google。

伊森·鲁布利、文森特·莱保德、科特·康诺利格、盖里·布拉德斯基开发了著名的 ORB 算法“ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF”<sup>33</sup>。

---

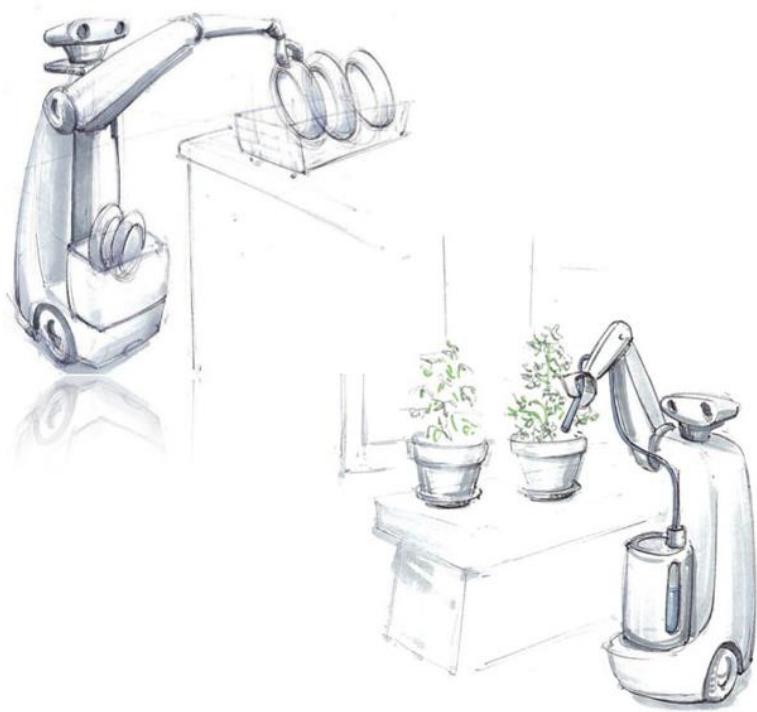
<sup>33</sup> Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary Bradski. ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF, IEEE International Conference on Computer Vision, 2011

### 33. 秘密项目 PlatformBot 爱与恨

2012年开始，车库启动了一个秘密项目 PlatformBot，麦罗尼·威瑟领导 PlatformBot 团队。时至今日，也没有多少人听说过车库的这个 PlatformBot 项目。PlatformBot 最初目标是建造售价 10000 美元的服务机器人，



图：PlatformBot 外观图，与 PR2 非常相似



图：PlatformBot 设想的工作场景



2013 年，麦罗尼·威瑟离开了车库，并与其他三个车库的前同事创立了机器人公司 Unbounded Robotics，主打开源机器人，该公司的第一款产品 UBR-1 出世时备受好评，被业界称作是 PR2 的廉价版，而 PR2 则是车库在 2006 年研发的一款开源机器人，比 UBR-1 贵了 20 倍。

但这款产品并没有让他们的新公司获得成功，据当时的媒体报道称，麦罗尼·威瑟在给员工的邮件中写道：

“与车库的分拆协议阻止了我们募集 A 轮的融资。Unbounded 机器人将不再出售 UBR-1。”

由此可以看出，Unbounded 的倒闭是因受到了车库版权方面的影响。



图：Unbounded Robotics，一个低成本移动机器人平台.

后衍生出 Fetch Robotics，仓储物流，地面移动机器人.

有了此前多年机器人相关的研究经验，2014 年，麦罗尼·威瑟又东山再起，成立了 Fetch Robotics。

这一年，正值 Kiva 大热，各个初创企业都开始研究相关的仓储机器人，然而这些初创公司多数都是 Kiva 的追随者，他们都开始从 AGV 智能车做起，有的甚至只专注做这类的产品。

Fetch Robotics 成立之初，就没有想着光做“能运货的小车”，而是想做一整套的智能仓储机器人。

Fetch Robotics 在成立的第二年，也就是 2015 年 4 月，就推出了两款仓储机器人，跟 Kiva 不同的是，这两款仓储机器人是成套出现的。

其中一款叫 Fetch，该机器人有一个机械臂，可以利用机器视觉、图像处理和导航等技术，按照订单内容，把商品从货架上拿下来，并放入另一款机器人上。另一款机器人叫 Freight，该机器人负责货物的运输。

这个套装的“强调结合两者在物流上「灵巧取物」与「快速运送」的优势”，迅速打破了业界对仓储机器人“就应该是 Kiva 那样的”的固有印象。

这两款机器人不仅仅引起了业内人士的关注，还迎来了资本抛来的橄榄枝。同年 6 月，Fetch Robotics 拿到了 2300 万美元的 A 轮融资，SoftBank（软银）领投、Shasta Ventures 和 O'Reilly AlphaTech Ventures 跟投。

这个时候公司仅有 18 名员工，几乎都是研发人员，而据当时麦罗尼·威瑟表示，这 2300 万美元将会用来组建销售团队。

随后 Fetch Robotics 团队不断壮大，至今，已经有员工 43 人，除高管和后勤员工外，工程师团队有 28 人，营销团队 7 人，公司渐渐有了起色。

在过去一年之中，虽然 Fetch Robotics 的两款抓取机器人在媒体和业界口中一致叫好，但实际应用和销售却没有想象中那么理想，2015 年，Fetch Robotics 就与著名代理商 Innovation Matrix 缔结了销售合作关系，Innovation Matrix 将在日本、台湾、新加坡和澳大利亚销售 Fetch Robotics 的商品，不过销售成绩却不尽人意，至少离作 Kiva 的挑战者还有一段距离。

在公司内部 Fetch Robotics 把销售不好的原因归结为市场远未成熟，所以决定，在整个仓储机器人市场爆发来临之前完善产品线。

今年 4 月，IEEE 的官网上出现了一条消息，Fetch Robotics 在美国 ProMat 大会上推出了两款全新的大型物流载货搬运机器人。

其中一款 Freight 500 能够搬运 500 公斤的有效载荷，而且能够处理“箱子”大小的货物——可能也是物料搬运、供应链及物流解决方案领域里的标准箱尺寸。另一款机

器人 Freight 1500 则设计用于搬运托盘类的标准货箱，尺寸也更大，能够搬运 1500 公斤的有效载荷。

两款机器的前端和后端都装配了激光雷达传感器，以及一个前置 RGBD 摄像头。只需要充电一个小时，机器人就能获得 90% 的电量，并且支持连续工作九个小时。

另外，为了防止意外落物砸人事故出现，这款机器人身上还安装了大量 LED 提示灯。

随着两款大型机器人的出世，Fetch Robotics 在仓储领域的產品线又圆满了一些。但是许多的竞争对手机也追赶上来了，加拿大机器人公司 Clearpath Robotics 和 OTTO Motors 早就各自推出了千公斤级载重的仓储机器人，而小型仓储分拣机器人公司也愈发多了起来。

面对这些竞争者，麦罗尼·威瑟表示，确实做机器人硬件的越来越多了，但是她对他们的技术更有信心。

“机器人开发中真正棘手的问题其实都集中在软件，而不是硬件上，而软件恰恰是 Fetch Robotics 的核心。”

从海外媒体的评测来看，Fetch Robotics 新出的两款大型机器确实要比 OTTO 的软件性能好一些。

虽然其之前机器人销售不佳，但 Fetch Robotics 后来的大型机器人对整个产品线进行弥补，是目前位数不多的“全产线”的仓储机器人公司之一。

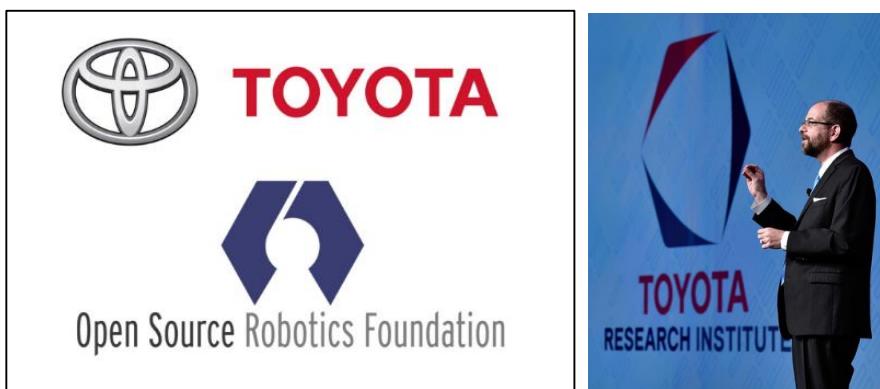
从此前的报道可以看出，国内外仓储机器人已经有了井喷的趋势，初创公司、电商巨头、机器人大亨都开始涉猎这个领域，Fetch Robotics 未来遭遇的竞争会更加激烈。

不过，背靠软银这颗大树，未来会有更多的资源支持，Fetch Robotics 的潜力未来还值得观望一番。



## 34. 从非盈利组织 OSRF 到企业化的 OSRC

维护 ROS 成立的开源机器人基金会，一直以来都遭受着来自资本市场的诱惑。2016 年，开源机器人基金会（OSRF）接受了丰田研究院（TRI）一百万美金善款，这是一笔非常大的捐助。然而，这笔捐款在 ROS 圈引起了非常大的担忧，因为 OSRF 与丰田研究院建立了一个以盈利为目的开源机器人公司（OSRC）。



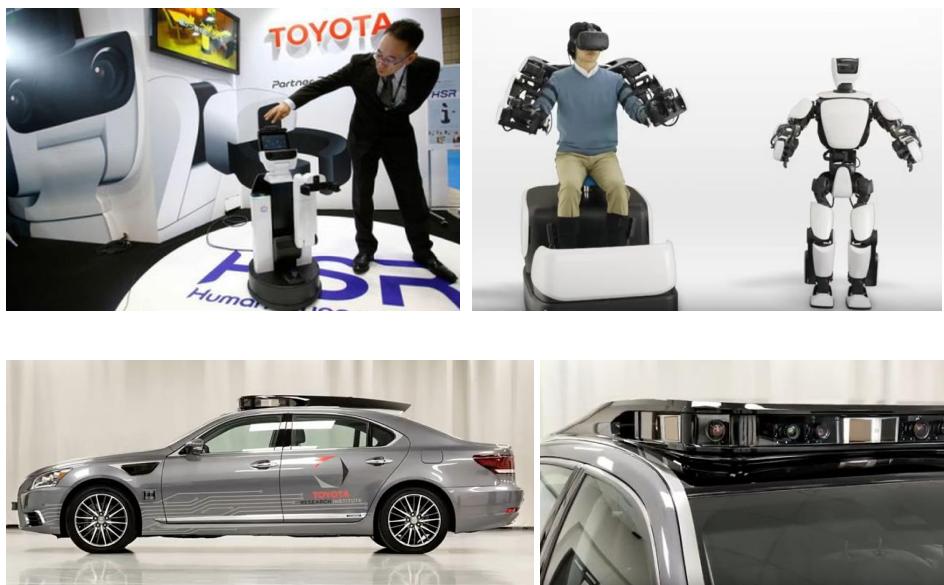
图：丰田研究院与开源机器人基金会合作

开源机器人基金会本身是一个非盈利组织，主要依靠来自政府、个人、大公司的捐款维护整个机构的运作。非盈利性组织的一个基本原则是不能为某个特定的公司服务，并从中直接盈利。否则，相关的利益冲突会让非盈利组织的声誉受损，其他公司将很难共同参与，并推动非盈利性组织的工作。如果抛开非盈利性这一宗旨，开源机器人基金会本身的对 ROS 维护的工作效率也可能大打折扣，到底是为个别公司的短期盈利？还是为 ROS 长远研发目标，造福所有的机器人公司？

虽然新成立的开源机器人公司是 OSRF 下设的盈利性机构，这种盈利和非盈利的混合体实在让人无法理解。虽然 OSRF 的解释是希望通过 OSRC 的盈利来补充 OSRF 资金发展不足的问题。在充足资金的条件下，OSRF 可以持续开放机器人相关的源码，持续推动 ROS 和 Gazebo 的开发，并为整个 ROS 社群提供开源的技术服务。其实这样的解释依然无法打消大家的顾虑。

如果从丰田公司的角度看这样的捐赠，也许可以预测未来开源机器人基金的走向。丰田公司的目的非常明确，就是利用开源机器人公司（或者说是来自于开源机器人基金会主要成员）的经验，加速丰田机器人和自动驾驶项目的进度。

丰田研究院的CEO吉尔·普拉特强调：“在丰田，我们正努力创造更好的出行方式，开源机器人公司团队将带来无与伦比的技术专长和行业领先的技术平台，我们打算将这些技术和平台嵌入我们核心研究计划中。丰田研究院认可，开源运动可以促进机器人行业的发展，我们很高兴能帮助OSRF扩大其影响力。”



图：丰田研究院的机器人与自动驾驶项目

开源机器人基金会的CEO，Brian Gerkey的一席话，可能更能描述那时的心境：“过去几年，产业和资本给我们非常大的支持，让我们发展的很好。大家认识到了ROS和Gazebo的商业价值。但是OSRF非盈利性质的性质，让我们很难从商业的角度跟外界打交道。现在，我们希望继续推进OSRF的开源代码的研发任务，同时，我们也希望与业界结盟，去解决他们中间存在的一些切实的问题。目前，我们更多的想站在业界的角度，在不影响非盈利性质原则下，获得更多的经济支援，甚至商业回报。”其实，开源机器人基金会应该一直有这样的计划，只是2016年资本比较火热，ROS的影响力也足够了，是时候而已。



图：开源机器人公司团队

我们当然不否认，像 ROS 和 Gazebo 这样的软件，随着规模的增加，为了提高易用性，让其接近商业软件的形式，需要大量软件专职的工程师进行开发和维护，这需要庞大的资金做后盾。开源机器人已经开始在亚太地区开展业务，已经在新加坡建立分公司，并支持在日本开展 RosCon 活动。开源机器人正逐步开展起全球战略。

## 35. 实习生计划

柳树车库非常重视在机器人领域的影响力，为了进一步提高这种影响力，柳树车库一开始就在全球大学里推进实习生计划，该计划前后共吸引了超过 130 名的实习生。

很多机器人领域的学生以能到柳树车库实习为荣。随着柳树车库的名气不断增加，那些在柳树车库工作过和实习过的人逐渐形成了“柳树系”。在日后“柳树系”对机器人产业产生了巨大的影响，这是后话。



图 35.1：参加 ROS 开发的实习生们

对于团队的管理方式，柳树车库设想了两种模式。一种是自上而下的，即由一个优秀的主管带领团队成员前进；另一个则是自下而上的，即团队中的每个人对项目都有自己的话语权，每个团队成员与项目都零距离接触项目的进展和目标。通过自下而上的管理模式，柳树车库的实习生计划取得非常大的成功。从 2007 年的第一位实习生，到 2008 年 15 位实习生，从 ROS 项目开始到 ROS 1.0 诞生的 18 个月中，有超过 100 名实习生在柳树车库实习，他们每个人都在这里“燃烧”了几个月的青春，帮助实现 ROS 的各种功能，帮 ROS 挑了许多毛病，也在 ROS 上做了许多创新。



图 35.2: (左) 柳树车库第一位实习生, 来自伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的大学生 Patrick Jakubowski (2007)。 (右) 来自佐治亚理工大学机器人专业的博士生 Maya Cakmak (2012), 现为华盛顿大学机器人实验室助理教授。

除了为 ROS 贡献自己的力量, 这些实习生离开后还将 ROS 的理念带到了他们的研究所和公司, 他们就像布道者一样, 将 ROS 从柳树车库带到自己的公司, 自己的大学, 促进 ROS 在本研究所, 本公司的使用, 增强了 ROS 品牌在全世界的影响力。

实质今日, 回头看, 这些实习生确实成为了布道者。多年后, 他们或在自己的大学做了教授, 成立了自己的实验室, 或创立了自己的机器人公司。比如来自佐治亚理工大学机器人专业的博士生玛雅·卡克马克 (Maya Cakmak), 2012 年在柳树车库实习, 当时人机交互组的工作, 部门经理就是前面提到的蕾拉·高山。玛雅现为华盛顿大学机器人实验室助理教授。玛雅将柳树车库看到的及从事的研究带到大学, 继续进行。她现在进行的一个研究是让机器人拾取物体, 这是机器人里非常难的课题。机器人常常不能实现抓取目标物体, 比如说机器人不能完全掌握自己的抓手到目标物体之间的准确位置。如果机器人理解的是目标物体位于一个错误的位置上, 就会导致抓手与发生碰撞, 故而拒绝。



图 35.4：玛雅·卡克马克（Maya Cakmak）将在柳树车库的研究延续到自己的实验室

为了提高抓取的成功率，玛雅给机器人的机械手（如 PR2）装备上简单的 3D 打印工具后，可以帮助它们更有效地抓取目标物。玛雅研发出了一种造型特殊的新型机械钳，可以让机器人调整距离以抓住目标物体，而不会让其脱落。

下面是部分由当年的实习生们创建的公司：

MUJIN（日本）：由 Rosen Diankov 创立。Rosen Diankov 是 CMU 的机器人博士，在柳树车库将自己在大学开发开源软件 OpenRave<sup>34</sup>集成到 ROS 里。毕业后，Rosen Diankov 到日本与 Issei Takino 创立了 MUJIN，专注于为工业机器人提供通用型一体化解决方案。他们见证了工业机器人的发展趋势，也看到了隐藏其中的问题。机器人听起来很不错，可以工厂采购工业机器人后，发现让他们运行起来相当困难。让工业机器人“干活”有两种方式：一种是编程输入型，一种是示教输入型。由于机器人结构复杂，使用工业机器人的一线工人经过严格和复杂的培训，操作非常繁琐，这为企业造成了巨大的成本。机器人与人类最大的区别就在于对环境的感知，即便近几年人工智能在不断发展，但机器人对于环境的感知能力依然很弱。工业机器人对动态变化的场景基本上是束手无措。正是针对这样的问题，MUJIN 的创始人，Rosen Diankov 利用其在 OpenRAVE 开发，及在柳树车库实习中积累的经验，让传统

<sup>34</sup><http://www.willowgarage.com/blog/2009/01/20/openrave-and-ros>。

机器人不再仅依赖于昂贵而笨重的手动教学，让这些笨重的机器能够更智能的自主运动。在 Rosen Diankov 的技术支持下，MUJIN 研发了 Mujin Controller，该控制器能够通过网络与机器人制造商的工业机器人连接，可以实现实时的机器人系统控制，并能进行实时碰撞检测和规避。更值得一提的是，Mujin Controller 不受限于机器人的模型、轴的数目或机械结构。

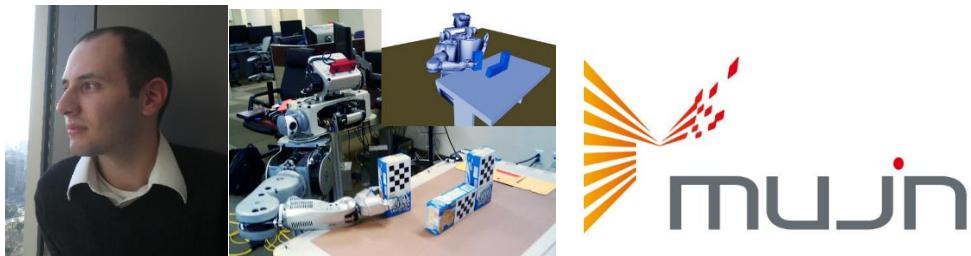


图 35.5：Rosen Diankov 与 OpenRAVE（2009）

Kinema（美国）：由萨钦·启德（Sachin Chitta）创立。所解决的问题跟 MUJIN 非常类似，跟 Rosen Diankov 非常强的学术背景一样，萨钦·启德毕业于宾夕法尼亚大学 GRASP 实验室，世界顶级的机器人实验室。他们都希望把学术界在机器人上的研究成果应用到工业机器人上，从而提高工业机器人易用性、智能化水平。Rosen Diankov 是 OpenRave 创始人，萨钦·启德是 Moveit! 的创始人。都要非常丰富的经验积累。

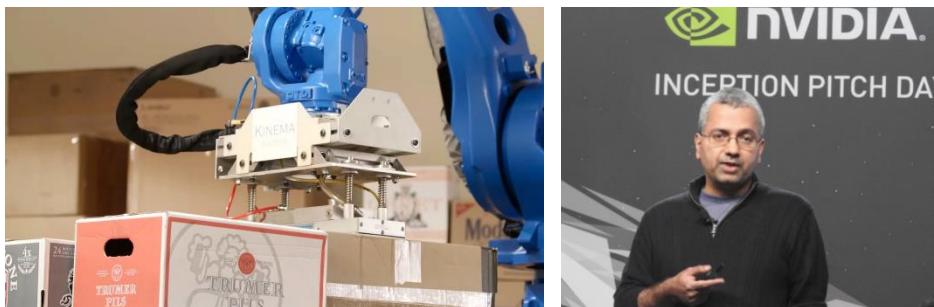


图 35.6：Kinema 系统与萨钦·启德（Sachin Chitta）（2009）

Kinema 现在专注与利用工业机器人进行码垛分拣。这种任务看起来非常简单，比如拿起纸箱并把它们放上传送带。对人来说，这种直观的工作非常简单，对机器人来说可并不容易。这些纸箱都堆摞在一起，如何识别一个个大小不同的纸箱，并

且识别纸箱与纸箱的间隙，将把封条、商标标签与纸箱的间隙做区分。Kinema 专门做了非常复杂的 3D 视觉系统和深度神经网络，这样机器人才能胜任这一工作。

**IQ Motion Control:** 由马修·皮寇利 (Matthew Piccoli) 创建。马修在宾夕法尼亚大学获得机器人学博士学位，马特开始研究为 IQ 公司奠定基础的电机控制器，并创造了世界上最小的自供电飞行器。IQ 公司只要为机器人提供速度和位置传感器，如无人机上使用的电机需要非常精确的速度输出，为运动控制提供准确的数据。



图 35.7: Matthew Piccoli IQ Motion Control

**Open Perception 基金会:** 该公司由柳树车库孵化，并由莱度·茹苏 (Radu B. Rusu) 负责，致力于 2D/3D 数据的处理。莱度毕业于德国慕尼黑工业大学 (Technische Universität München)，在车库期间，创建了的开源点云处理软件 PCL。那时，点云数据和点云数据处理在逆向工程已经应用的很广泛了，只是很少有人把自己的算法和代码开源出来。

Open Perception 基金会通过接受企业赞助、捐款、为第三方企业提供咨询和软件开发服务，获取资金，用于组织相关的活动。



图 35.8: 莱度 · 茹苏 (Radu B. Rusu) 和 PCL 的应用

**FabliTec:** 该公司 Jurgen Sturm 创立，其本人担任 CEO，利用经济型的扫描设备，快速获取人体三维数据，用于 3D 打印。在柳树车库期间，Jurgen 科特 · 康诺利格和盖里 · 布拉德斯基一起实习，开发基于学习的物体识别算法，从而可以运行机器人来开门，拉开抽屉。已经离开该公司，在 Google 任职。



图 35.9: (左) Jurgen Sturm (右): 曾经创立的 3D 重构与 3D 打印的创建公司

**Lighthouse AI 公司:** 由 Alex Teichman 创立。Alex Teichman 毕业于斯坦福大学，在 3D 传感和无人驾驶技术上有丰富的经验。Lighthouse 通过摄像头（机器人眼睛），Lighthouse 可以在你离开家里的时候帮你监控家中环境——包括出入的人和宠物。看起来与 Nest Cam 类似的 Lighthouse 可以前者高级多了。硬件上，Lighthouse 安装了 RGB 相机，3D 传感器，扬声器，麦克风和警笛。能够拍摄 1080p 的视频并配备夜视功能。在识别系统中，Lighthouse 采用的是 3D 感测技术，依靠深度学习提高识别效率。可以

利用内置扬声器与家中任何人交谈，比如说，在没有成人监控的情况下，宠物或者宝宝打碎了花瓶或遇到了突发情况，Lighthouse 可以即时提醒，以避免宝宝受到进一步伤害。同时，Lighthouse 可以通过实时监测去推断家中是否处在正常情况，以发出警告。



图 35.10：（左）Alex Teichman（右）：Lighthouse AI 公司产品

## 36. 柳树车库系繁花盛叶

从“柳树车库”直接衍生出的公司正在改变着世界。一些前期的公司包括：

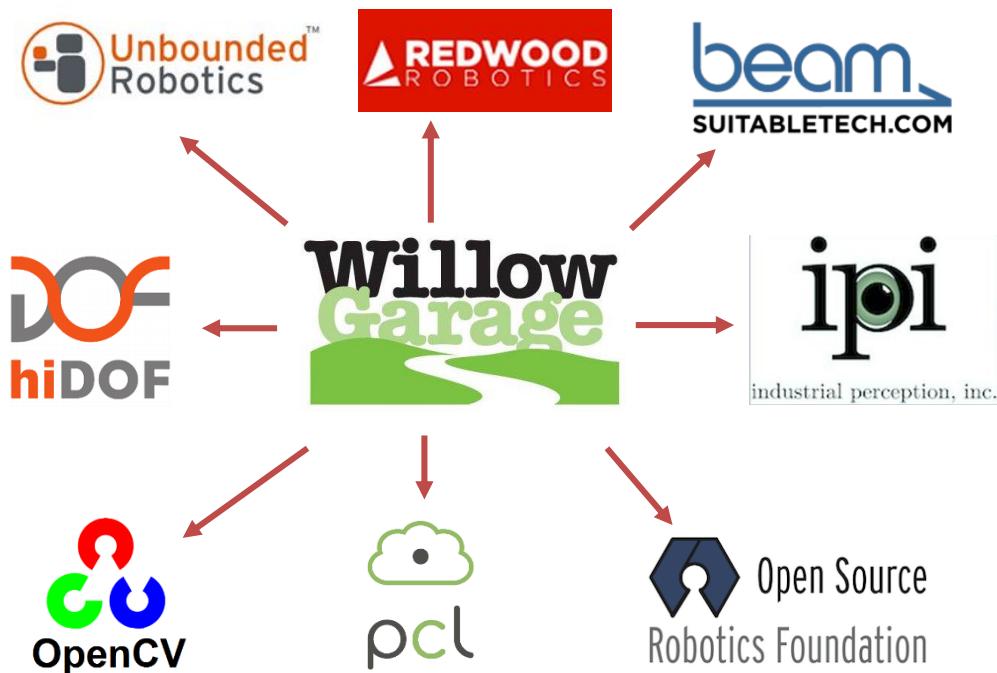
hiDOF：机器人与自动化软件咨询公司，2013 被 Google 收购。

IPI (Industrial Perception Inc.)：利用视觉辅助工业机械臂搬运货物，2013 被 Google 收购。

OpenCV：一家非盈利机构，开发开源视觉和机器学习算法。

PCL：一家非盈利机构，开发点云处理算法。

OPF (Open Perception Foundation)：一家非盈利机构，致力于 2D/3D 数据的处理，。



OSRF (Open Source Robotics Foundation)：一家非盈利机构，致力于机器人开源软件的研究、教育、产品开发。

Open Robotics：由 OSRF 创立的一家盈利机构，致力于机器人开源软件的对外服务、软件开发、机器人开发咨询服务。

Redwood Robotics：低成本协作机械臂，2013 年被 Google 收购。

Suitable Technologies：远程遥控机器人 beam。

Unbounded Robotics：开发低成本移动机器人平台。

Fetch Robotics：由 Unbounded Robotics 团队重新打造的一款面向仓储物流的移动机器人平台。

在衍生公司中，最让哈森兴奋是 Suitable Technologies 了，因为它开创了一个新的市场：远程通讯机器人。哈森带领柳树出库的 10 名员工，开始投身到移动机器人和远程控制系统的开发之中，并成功开发出了机器人 Beam。

柳树车库对 TurtleBot 的支持持续了一段时间，随后将其转交给 Clearpath Robotics 进行维护。至于 ROS，衍生成的非营利性组织 OSRF 继续社区领导开发者的发展。

通过 PR2 机器人项目，哈森意识到了家用机器人来支持日常生活的时代还很遥远，机器人最大的障碍不是软件，而是价格昂贵的硬件。他在 2013 年决定停止投资柳树车库，这时候他已经累计为柳树车库投入了 8 千万美金，后期每年的投入高达 2 千万美金。

没有了强大的资金支撑，“柳树车库系”精英们开始自谋生路，大家很快告别短暂的伤感，重整旗鼓，将在柳树车库积累的经验，走向独立自主之路。哈森将精力集中到 Suitable 机器人上。库辛斯创建了另外一家机器人公司 Savioke，做酒店服务机器人，基南·威罗拜克创立了一家用无人机送救命药的物流公司 Zipline，埃里克·博格离开机器人领域，加入了一家关注中小学教育软件公司 Desmos。柳树车库名义上还存在，斯科特·哈森接手担任 CEO。

世界上最庞大的机器人派系“柳树车库系”在硅谷形成了，这里有商业巨子、优秀的企业家、专业的机器人工程师，他们聚集强大的力量，融合各种资源和技术：计算机视觉、运动规划，努力打造完成各种复杂任务的机器人。

在机器人领域，无处不在的“柳树车库系”的影响。离开柳树车库的员工加入了各种机器人团队：如 Google 的机器人团队、Bosch 自动驾驶团队、Tango 智能手机 3D 扫描团队等。也有些人回到大学，成为了自动驾驶车辆开发者、无人机的研究者。

柳树车库和 ROS 的经历，正是我们看到的硅谷的真实故事，跌宕起伏。“柳树车库系”正以无法估量的力量影响整个机器人世界。柳树车库的人们坚信，他们已经开垦了荒芜的土地，培育了优质的土壤，播撒了繁多的种子，它们定会生根、发芽，最终开花、结果。





图：Savioke 酒店机器人，Suitable 替身机器人，Simbe 超市机器人，Fetch 仓储机器人，zipline 急救送药无人机

人类社会正在快速地向前发展，机器人行业会不会成为下一个焦点，每个人都有自己的答案。但是不管怎么样，机器人领域一直在不断的革新。ROS 作为一个开源的基础机器人软件系统，毫无疑问会成为这场变革中凶猛的助推剂。我们看到越来越多的初创公司转向 ROS，并利用 ROS 提供的完善的软件系统快速地搭建起机器人平台。越来越多的传统大公司也注意到这一新兴的变化，他们的产品也开始支持 ROS。若干年后，ROS 将毫无疑问成为机器人工程师的必备技能，机器人领域的从业人员没有人能回避 ROS。

所有的这一切，都昭示着 ROS 有着光明的前途。

## 后记

本文是笔者利用业余时间，多是清晨和半夜陆续而成的短文。所有信息来自于各种网上资料、媒体报道、人物访谈视频、个人网站。

本文的大多章节曾以短文形式在网络上发表过。

写作过程中，笔者观看了一部历史长剧《坂上之云》。因此，思绪时常在甲午、大清、华夏、日本、美国、日俄战争、机器人、智能时代，时空中不断切换。当把本文故事中的人物背景一个个整理出来的时候，一面羡慕着彼岸专业训练有素的西洋人，另一面的思绪却不断在此岸的北洋舰队的铁甲船与硝烟中飘荡。

笔者本意是希望告诉读者有梦想的一群人，如何去编制“个人机器人”梦想。期待这些关于机器人操作系统的历史故事片段，所涉及人物的背景和经历，能激励那些正在追寻自己想法的大学生、创业者。

## 参考文献

网站：

- [1] 柳树车库的官方网站 <http://www.willowgarage.com>  
该网站的博客记载了很多关于柳树车库和 ROS 的历史时刻
- [2] 柳树车库的 youtube 频道 <http://www.youtube.com/WillowGaragevideo>.  
该网站的保留了 PR2 机器人和 ROS 的不少珍贵视频
- [3] ROS 的官方网站 <http://www.ros.org>  
记载了 ROS 的相关历史信息和新闻
- [4] 开源机器人基金会 <https://www.osrfoundation.org/>  
关于开源机器人基金会的信息
- [5] 开源机器人公司 <https://www.openrobotics.org/>  
关于开源机器人的信息
- [6] 领英 (Linkedin) 网站 <https://www.linkedin.com>  
很多人的背景来源于此网站
- [7] 萨钦启德的个人网站 <https://www.sachinchitta.org/>  
记载了 MoveIt! 的相关历史和信息
- [8] How a billionaire who wrote Google's original code created a robot revolution  
<https://www.businessinsider.com/a-look-back-at-willow-garage-2016-2>  
哈森的故事
- [9] ROS Diamondback Launch! <http://www.willowgarage.com/blog/2011/03/02/ros-diamondback-launch>  
Diamondback 版本的信息
- [10] About Logo <http://www.logointerpreter.com/about/about-logo.php>
- [11] MIT Logo: [http://el.media.mit.edu/logo-foundation/what\\_is\\_logo/logo\\_primer.html](http://el.media.mit.edu/logo-foundation/what_is_logo/logo_primer.html)  
Logo 编程语言的历史
- [12] Josh Ellingson <http://ellingson.cc/ros/>  
乌龟设计师乔许·埃林森个人主页
- [13] TurtleBot Inventors Tell Us Everything About the Robot :  
<http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/diy/interview-turtlebot-inventors-tell-us-everything-about-the-robot>

## TurtleBot 的历史

[14] Melonee Wise, 33 Affordable robots for the warehouse and beyond.  
<https://www.technologyreview.com/lists/innovators-under-35/2015/entrepreneur/melonee-wise/>

[15] PlatformBot: Willow Garage's Secret Robot Prototype  
<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/platformbot-willow-garages-secret-robot-prototype>

### 麦罗尼·威瑟的故事

[16] Willow Garage Interns and Visiting Scholars  
<http://www.willowgarage.com/pages/community/interns-and-visiting-scholars/participating-interns>

### 柳树车库的实习生计划

[17] Running ROS on Windows 10 <https://janbernloehr.de/2017/06/10/ros-windows>  
 Windows 10 上安装 ROS

[18] OSRF Forms New Corporation, Partners With Toyota Research  
<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-software/osrf-forms-new-corporation-partners-with-toyota-research>

### 开源机器人公司成立

[19] Rosen Diankov 与 OpenRave  
<http://www.willowgarage.com/blog/2009/01/20/openrave-and-ros>

[20] OpenCV <http://www.opencv.org>  
 “The OpenCV Open Source Computer Vision Library: What’s New and What’s Coming?”

[21] 机器人开源控制软件 OROCOS <https://www.orocos.org/>  
 关于 OROCOS 开源项目的信息

[22] OpenRAVE <http://www.willowgarage.com/blog/2009/01/20/openrave-and-ros>  
 关于 OpenRAVE 和 Rosen Diankov