

# 机器人未来发展新趋势：可重构机器人

原创：演绎 inSiteDeepTech 深科技9月14日

演绎 inSite 第二十九期节目

## 可重构的机器人设计

白国超

英国帝国理工学院助理研究员



白国超 @ 演绎 inSite 演讲视频：

以下为白国超演讲文字稿：

<https://v.qq.com/x/page/r09237pkci9.html>

(根据演讲现场整理，基于原意有所删减，完整版请看视频)

大家好，我叫白国超，我是知行高科（北京）科技有限公司和知行机器人科技（苏州）有限公司的创始人兼 CEO，我今天演讲的题目是：可重构的机器人设计。

## **机器人未来发展趋势**

可重构机器人其实是一类新兴的机器人。机器人，我想大家都非常熟悉，主要可以分为工业机器人和服务机器人。

工业机器人就是应用于工业生产过程的机器人，比如在特斯拉新能源汽车生产中的装配型机器人、具有更高的安全性的协作型机器人；除了工业机器人之外的所有机器人，都叫服务机器人，比如非常可爱的 Pepper 机器人，它能够与人进行对话、沟通，并且也能伸伸懒腰等，做一些非常搞怪的动作，还有我们中国用在月球探索中的一个机器人，叫玉兔机器人。



图 | 装配机器人（来源：特斯拉）

如何设计和开发一个机器人呢？首先我们要知道，机器人其实是由五部分组成的，主要包括执行机构；传动机构，这是机器人的骨骼；驱动机构，是机器人的肌肉；控制系统，是机器人的大脑；感知系统，是机器人的神经。有了这五部分就可以开发出一款机器人。

刚才我们说的都是传统的机器人或者工业型机器人的主要组成部分，那未来机器人的主要的研究和发展趋势有哪些呢？经过大量的研究我们发现，机器人应用、研究、开发主要有八个方向。

**演绎 inSite** | **可重构的机器人设计**  
Reconfigurable Design of Robot

<p><b>1 仿生</b> 适应复杂环境</p> 	<p><b>2 灵活操作</b> 灵活可靠的抓取操作</p> 	<p><b>3 触觉感知</b> 精确感知反馈</p> 	<p><b>4 模块化</b> 根据环境自组织</p> 
<p><b>5 智能</b> AI+机器学习</p> 	<p><b>6 人机协作</b> 多机器人高效协作</p> 	<p><b>7 多机协同</b> 多机高效协作</p> 	<p><b>8 机器增强</b> 增强体能辅助残障</p> 

**机器人的8大研究趋势**

打造未来洞见者

第一个就是仿生技术，动画中显示的像蛇一样的机器人可以穿越非常狭窄的空间，并且能够做一些焊接工业场景下的工作，这样就能适合更加复杂的工业环境。

第二个机器人是英国的 shadow 公司开发的五指仿人手的机器人，配合人工智能领域的 OpenAI 开发的智能算法，实现像人手一样灵活地翻转木块，如果在机器人手的末端加上传感器，我们就可以开发出一个具有更高的灵活性，并且能精确感知的机器人，即使是草莓一样软的物体，也能够非常精确地抓取。

另一个发展趋势就是今天我们演讲的主题，模块化可重构的机器人，这种机器人可以根据周围环境的变化自组织，然后适应环境的变化，接下来重点介绍一下未来发展趋势中的可重构的机器人。



图 | 六足机器人（来源：Disney Research）

这是迪斯尼研究院开发的一款机器人，它是一个六足的机器人，这个六足机器人主要包含两部分，第一部分是它的控制器和控制芯片，包括它的动力源、电源、电池，这是它的控制决策核心；另一部分是六条相同的腿，每条腿有三种不同的运动模式，这三种不同的运动模式加上控制器，组成的机器人就会有各种各样的运动模式，总共可以实现七百多种不同模式的运动。



图 | 每条腿有三种不同的运动模式（来源: Disney Research）

一条腿也能自主运动，加上第二条腿可以匍匐前进，六足机器人可以像蜘蛛一样爬行，如果去掉其中的两个足也能实现四足机器人的运动，这就是一个非常典型的可重构机器人。

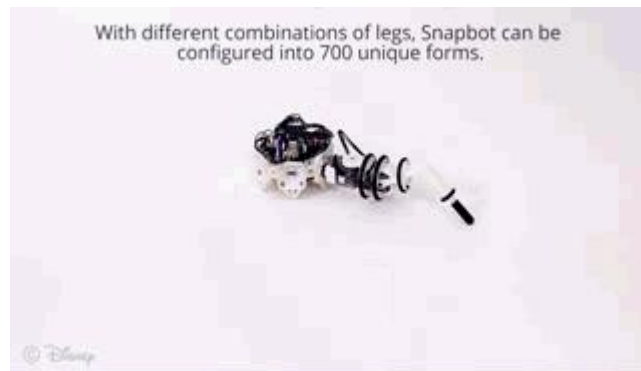


图 | 可以像蜘蛛一样爬行（来源：Disney Research）

## 可自适应周围环境

可重构机器人具有模块化、多模式、可重构、自适应这四个特点，用一句话来解释就是，通过模块化的设计，实现多种运动和功能模式的重构，从而实现自适应周围的环境。我近十年的研究工作经历，都是围绕可重构机器人进行的，比如这个是我在国内博士期间开发的雷达校准卫星。

首先介绍一下可重构机器人设计的第一个特点，模块化。这是两款模块化的设计机构，第一个是可展的多面体，第二个是模块化的帐篷。

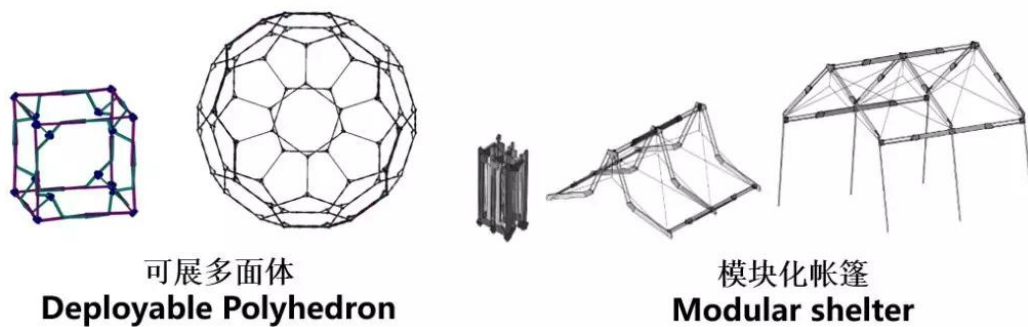


图 | 模块化机构 (来源:白国超, 陈萸. 一种通用大跨度可扩展快速展开折叠帐篷及展开折叠方法. 发明专利, CN 106812376 A)

可展多面体其实是我们用模块化的单元,再加上一套系统的可展多面体的设计方法,可以形成立方体、十二面体、二十面体甚至图中所示的三十二面体,足球形状的整体可展结构。这是我们开发的航空航天领域的一款雷达校准卫星,可以在发射之前折叠成一个五十厘米直径的球形结构,发射到轨道之后再打开,形成一个八倍的放缩比,打开之后直径能达到四米。

另一个是模块化折叠帐篷,大家都知道其实每年夏天都会面临各种各样的自然灾害,在地震、洪灾之后最重要的一件事就是给灾民一个像家一样温暖的住所,我们开发的模块化折叠帐篷就能实现这个功能,它能够在五分钟之内将迅速打开,形成房子一样的建筑,现在也已经列入民政部救灾行业标准里。

我们怎么样才能设计这样一个可折叠的折叠帐篷或者雷达校准卫星呢？我分为四步来介绍，第一步是拓扑结构分析，主要分析单元内部、连杆之间的连接关系和可能的演化过程，这里是用矩阵的方式来分析整个演化过程。

第二步是机构分析，主要分析这个单元从最小折叠状态到最大折叠状态的放缩比，怎么样能让它的放缩比达到最大，综合的过程其实是实现多种类型的可展多面体的方法，我们也可以通过软件对其进行仿真，迅速地搭建我们想要的多面体。

最后，因为我们设计的是一款卫星，所以需要把它发射到太空中进行发射之前的试验，也就是在地球环境下，进行一个无重力试验。

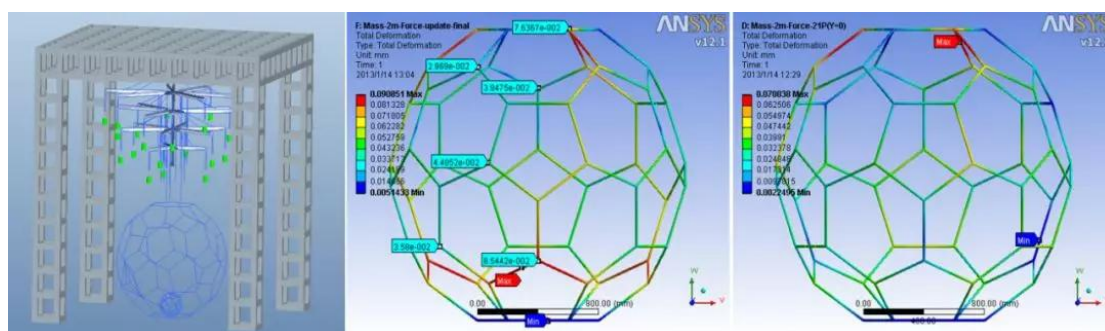


图 | 模块化机构的设计步骤

刚才讲的是模块化设计的技术以及设计方法，接下来讲一下多模式的开发及设计。这里主要介绍两款机器人，一款是我在蒙特利尔大学开发的微型单足机器人，这个机器人非常小，它的高度只有 75 毫米，不到 10 厘米，但其

实它有很多的运动模式，比如可以非常稳健地步行、做跳跃运动、翻滚，并且遇到障碍物之后还能自主地纠正自己的方向，然后继续之前的运动，这其实就是一种运动模式可变的机器人。

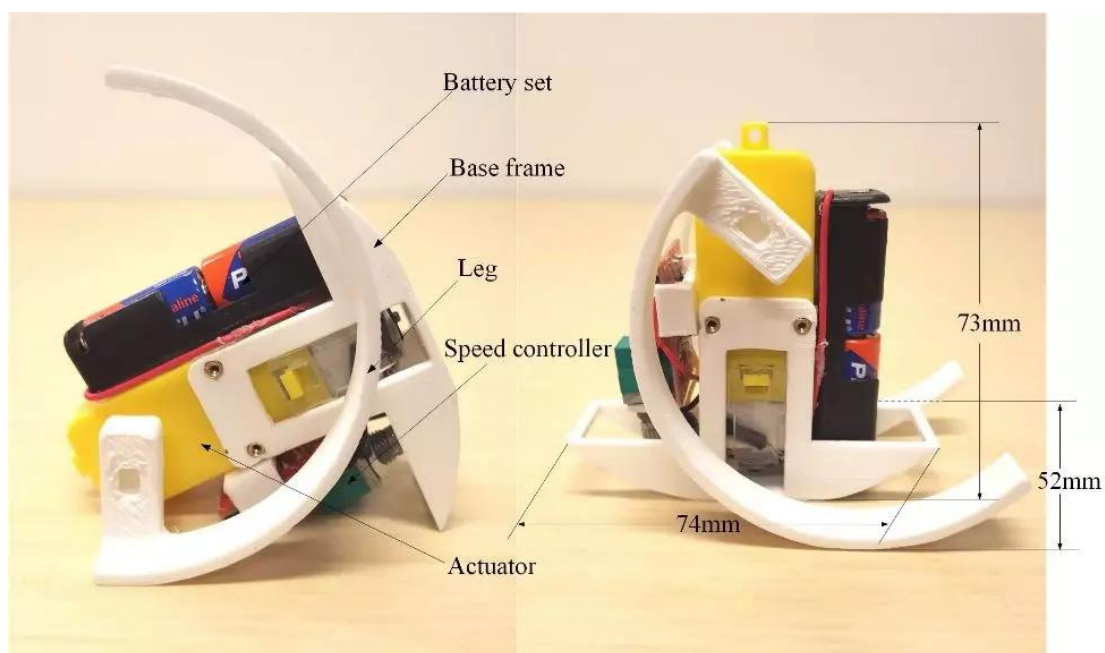


图 | 微型单足机器人 (来源: Bai, G. and Thomaszewski, B., A C-Legged Monopedal Robot and Its Transition from Multiple Locomotion Modes. Submitted to ASME Journal of Mechanisms and Robotics.)

另一款是自适应机器人手，它可以通过改变抓取物体的模式，从而适应于不同尺寸、不同形状的物体。人的手非常灵活的，能做很多的工作，怎么样才能做一个机器人手来模仿人手的功能？当然我们所做的是模仿人手的功能，而不是模仿人手的结构设计，现在有很多是模仿人手但我们考虑的是人手的功能。



图 | 自适应机器人手 (来源 : Bai, G., Kong, X., & Ritchie, J. M. (2017). Kinematic Analysis and Dimensional Synthesis of a Meso-Gripper. Journal of Mechanisms and Robotics, 9(3), 031017. 4.)

通过大量的实验发现，人手在抓取物体的过程中百分之九十以上都是靠指端的抓取，指端的灵巧程度决定了我们设计的机器人灵活度和抓取物体的种类的范围。我们通过分析和综合的方法，设计出了第一代、第二代、第三代的一系列自适应机器人末端执行器。

在整个分析和综合的过程中，首先我们对人手抓取物体做了一个详细的分析，比如人手抓非常小的物体的时候，是用拇指和食指并拢，然后用镊子的形状去抓取，抓取一般物体的话，我们是用两个手指平面接触物体去抓取。

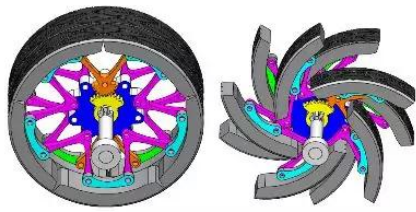
我们首先用乐高积木搭建了一个类似功能的机构，实现像人手一样做微小物体和一般物体的抓取功能，接着进行尺寸综合。因为我们要设计一款手，既能抓微小物体又能抓一般物体，所以需要界定一个抓取物体的范围，比如 6 毫米以内的物体是微小物体，6 毫米到 110 毫米是一般物体，这样设计出来的手，到最后就能够做到实现精确范围的抓取。



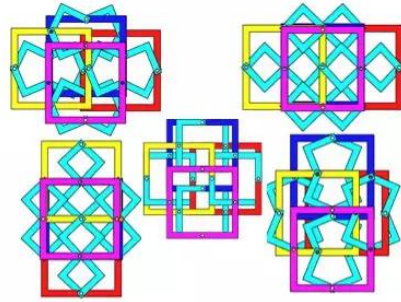
(来源：白国超)

这是我们比较擅长的工作，就是精确地设计一款机器人机构实现我们想要的功能，这个过程叫做机构综合。综合完机构之后还需要了解，我们如何能够驱动这个机构实现抓取，这叫机构分析，我们是通过一些分析软件来实现。

这个两指的自适应机器人手，也具有可重构的功能，接下来介绍一下可重构的特点。变形轮和动态雕塑是我在英国期间开发的两款样机，变形轮其实是 16 年的国际机构与机器人设计竞赛中的一款获奖作品，其实变形轮和动态雕塑的基本拓扑结构是一样的，非常有规律性。



变形轮  
**Transforming Wheel**



动态雕塑  
**Morphing Machine**

(来源：白国超)

动态雕塑，是在苏格兰国家博物馆展览半年的一个未来机器人样机，整个的设计过程也是分为这四步，对于设计开发来说，3D 设计和 3D 制造是非常简单，因为我们有比较发达的设计软件，还有比如 3D 打印机等的加工方式，能够很快让我们的模型做出来，但其实我们的核心是在第一和第二步，也就是拓扑选择和分析综合这一过程。

这个的拓扑选择是我在做过约束机构的分析研究过程中发现的，这里是整个分析下来所有的运动链，然后通过这个运动链的分析发现，其中的两个运动链是有非常相近的特点的，比如圈中画的这两个，一个是由三个四边形经过串联组成了一个环，第二个是四个四边形组成的环。其实是有规律的，如果是五个四边形是不是也可以组成环，六个四边形或者七个甚至更多，都可以有这样一个相同的规律，利用这个规律我们开发出了这么一个机构。

2. 分析和综合  
Analysis and Synthesis

- Step 1 构型选择 Schematics Selection
- Step 2 运动分析 Kinematic Analysis
- Step 3 机构综合 Mechanical Synthesis
- Step 4 三维设计 3D Modelling

F	L	J	Q	T	B	Kinematic chains
3	3	0	0	3		
6	6	0	2	3		
7	9	1	2	4		
0	3	0	6			
	2	2	5			
9	12	1	4	4		
	0	6	3			
2	2	0	0	2		
6	8	2	0	4		

图 | 运动链 (来源: ssGuochao Bai. Adaptive and Reconfigurable Robotic Gripper Hands with a Meso-Scale Gripping Range. PhD thesis. 2017)

当然，刚才那个机构其实严格意义上是一个不可动的机构，是一个过约束机构，但是如果我们将其中的四边形变成平行四边形就可以让其运动，之后我们又进一步地详细设计开发出了这个变形轮，这是最终加上驱动传动机构之后的变形轮。

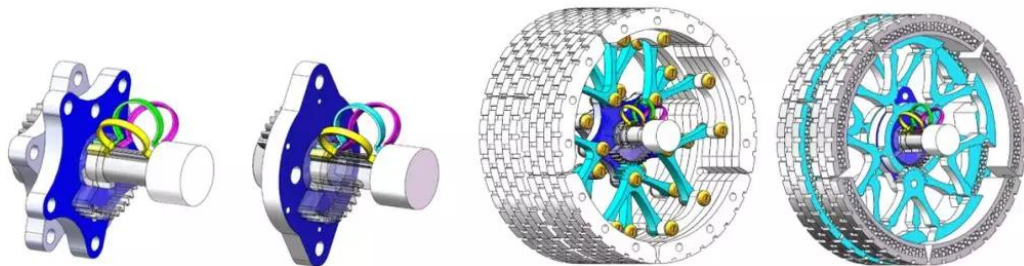


图 | 加上驱动传动机构之后的变形轮 (来源:白国超)

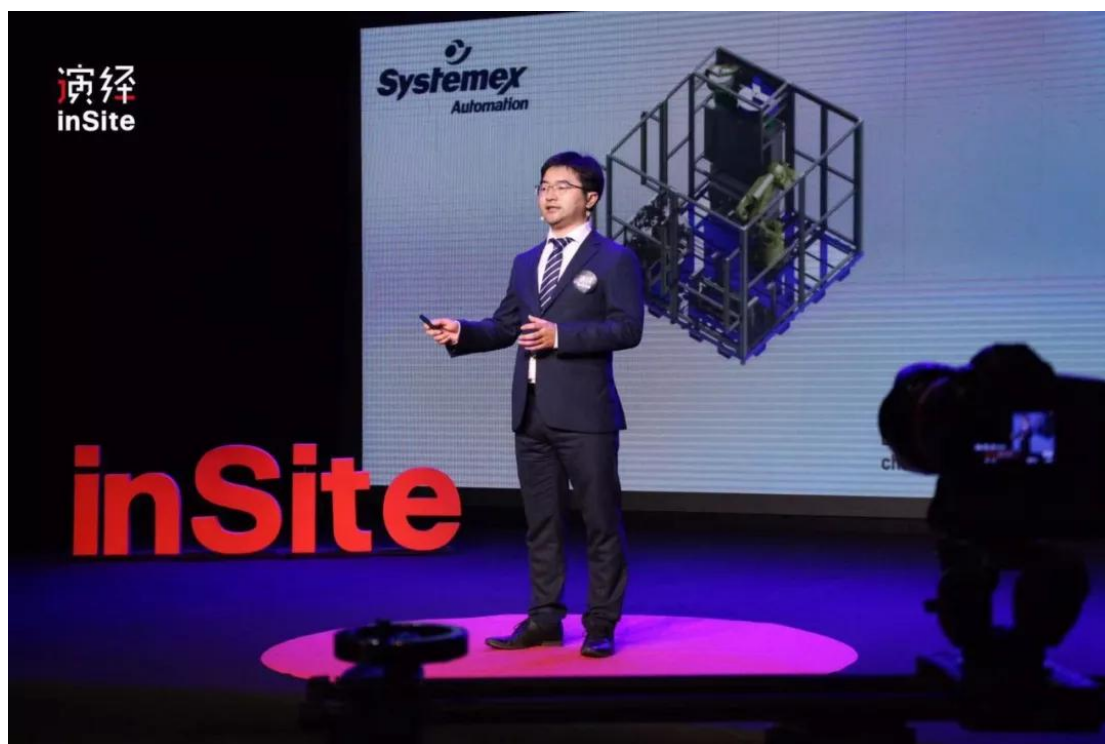
我们也开发了模块化可重构的机器人手，波士顿动力公司已经开发出了非常具有灵活性的机器人，可以跑步、跳跃，甚至后空翻，但是如果是想让一个机器人手抓起一根针，进行穿针引线的话，我想这个工作要比之前的工作更加困难，这也是我们开发这个机器人手的一个原因。

机器人手其实是一个非常具有挑战性的课题，基于我们之前对于机构学，以及机器人学的研究，我们开发出的这一款机器人手是经过模块化的设计，能够进行指间的灵活操作，并且配有一些伺服驱动控制，能够实现精确的位置和力控制，这款产品也正在国内的科研教育领域以及工业领域进行广泛推广和应用。



图 | 自适应智能机器人手（来源：知行高科）

未来我们将不仅仅局限于某个产品的模块化设计，我们也在进行工厂的模块化、可重构的改造，从而实现智能制造以及柔性生产，也能为企业带来更多的收益。



原来工厂生产一个部件需要很长的生产线，这样的话生产完这个部件之后，生产另一个部件又需要重新建立一个生产线，这样投资非常大，收益却是非常小的，而模块化可重构的工厂可以解决这一问题，从而适应越来越多的个性化产品以及小批量产品的开发，这样的工厂具有高灵活性、高回报率，快速更换、快速配置、易保养和易搬运等等优势，这也是未来我们公司要开发的模块化工厂的一个方案，感谢大家！

-End-