

演化具身智能的经典论文与最新进展

(Evolving Embodied Intelligence)

文档声明：仅限学术交流目的，请勿外传！感谢支持，欢迎批评指正！

• 经典学术论文基本信息：

Lipson, H. and Pollack, J.B., 2000. Automatic design and manufacture of robotic lifeforms. Nature, 406(6799), pp.974-978.

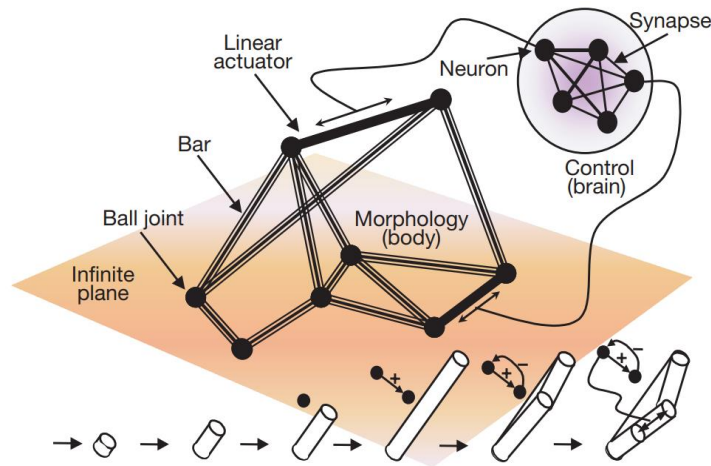
- <https://www.nature.com/articles/35023115>（Lipson 教授为演化计算领域特别是演化机器人方向的领军人物之一，已经为演化计算领域发过了多篇 Nature 与 Science 正刊论文，现在为美国名校哥伦比亚大学教授）
- <https://www.nature.com/articles/35023200>（来自机器人领域代表人物之一/麻省理工学院 CSAIL 实验室前主任 Rodney Brooks 教授的论文解读）

以大模型为代表的人工智能发展促使机器人领域往“具身智能”的方向蓬勃发展。最近，在大湾区大学（筹）组织的“科学四十人闭门耕：人工智能与机器人”讨论会上，姚新教授等多位人工智能与机器人领域学者分享了一些关于他们对机器人与人工智能的思考与看法。其中，演化计算（EC）作为人工智能（AI）的研究方向之一，其在机器人领域的应用也由来已久。

本期分享与解读的是：现哥伦比亚大学教授 Hod Lipson 在 2000 年发表在 Nature 正刊上的学术论文《Automatic design and manufacture of robotic lifeforms》。其团队利用演化算法，通过仿真的方法从基本构件（例如，杆件、执行器和人工神经元）进化得到一个“简单的机电系统”，并将具备最佳“适应性”（以运动能力定义）的机器，通过 3D 打印技术进行机器人制造。通过在一个“有限宇宙”的物理仿真环境中结合自动化制造，实现了机器人设计和制造的双自动化。

【搜索空间】

系统的 Design Space 主要包括“由杆件和执行器作为结构单元的基本构件”和“人工神经元作为控制单元的基本构件”。通过自由关节连接的杆件可以形成任意结构框架——这些框架可以表示任意的刚性、柔性和可动结构，以及多个独立的结构，并模拟不同层次的旋转、线性和平面关节。同样，人工神经元可以连接起来创建任意的控制结构，例如前馈和递归网络、状态机和多个独立的控制器。



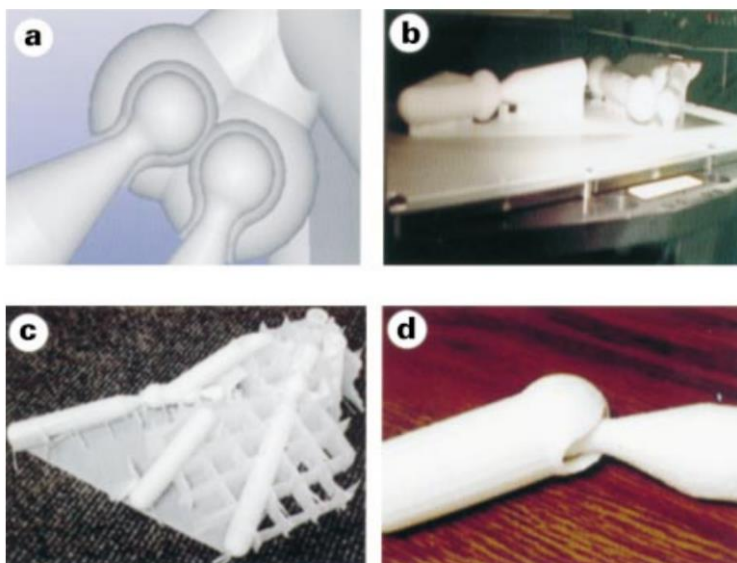
(所有图片均来自于论文)

【演化算法】

算法初始化具有 200 个“虚拟机器人”的种群，每个机器人都是由零根杆件和零个神经元组成。利用仿真对每一个机器人个体进行适应度评估。机器的适应度（Fitness）通过其**运动能力**来衡量：其质心在无限平面上固定时间内移动的净距离。在算法的迭代过程中，具有高适应度的机器人设计被保留，通过添加、修改和移除构件进化生成新的后代，并将它们重新引入到种群。此过程通常持续 300 至 600 代。这样，机器人的身体（形态）和大脑（控制）便能同时共同进化。其中，用于优化设计的算法为 Evolutionary Strategy（或称之为 Evolutionary Programming 的现代版本）。

【机器制造】

在演化算法中迭代出的性能表现较好的机器人设计将被物理实现：其身体仅以点和线表示，首先将得到的设计扩展为带有球形关节和线性马达安装空间的实物模型。这一“实体化”阶段由自动程序执行，该程序组合了描述通用杆件、球形关节和执行器的设计组件。然后，虚拟的实物模型使用 3D 打印技术直接进行制造。进化生成的神经网络在微机上运行来驱动电机，从而控制整个“机器人”。

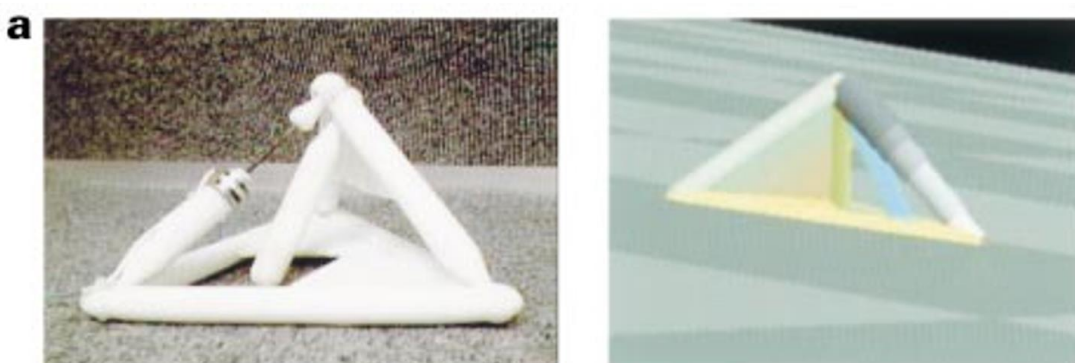


(所有图片均来自于论文)

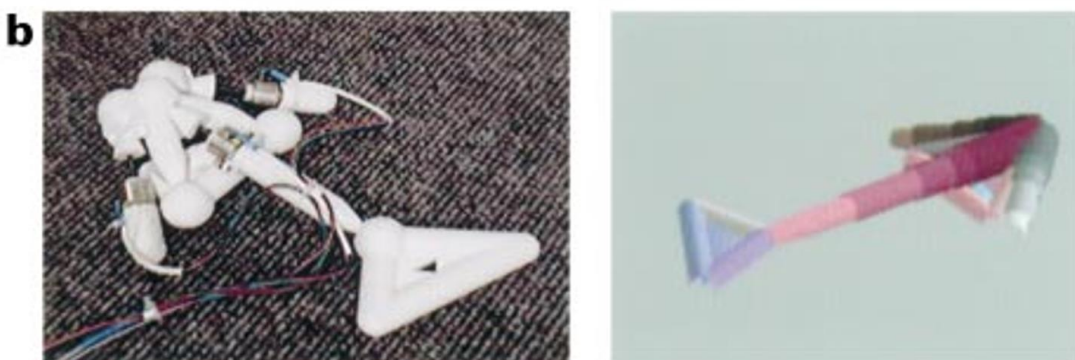
【自动生成的机器人案例】

以下为由演化算法自动设计并由 3D 打印技术制造的三个机器人案例：

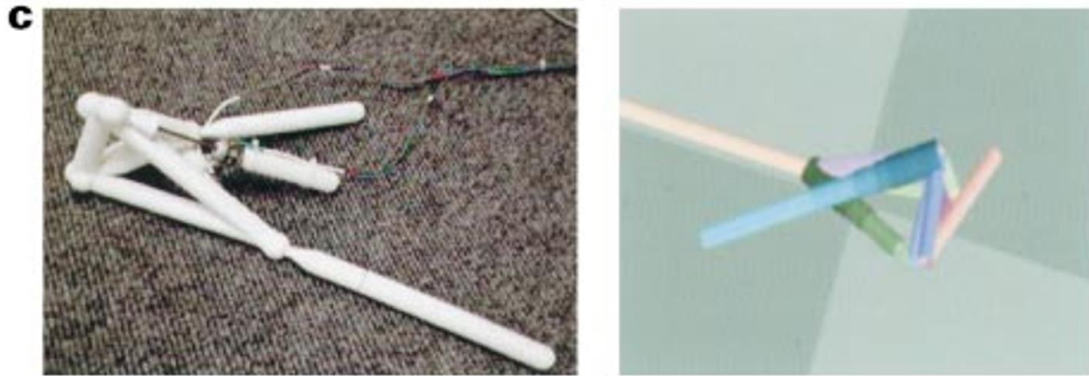
- a. 一个四面体机器人，通过将中心杆推向地面产生铰链状运动，从而向前移动。



- b. 使用一个由七个神经元组成的网络。当两个肢体推动时，中央主体会收缩。



c. 通过将一个执行器直接推到地面上来产生棘轮运动。它有几个拖在地面上的冗余杆件，可能对其稳定性有所帮助。



- 最近进展示例（需要更新）：

[1] Howard, D., Eiben, A.E., Kennedy, D.F., Mouret, J.B., Valencia, P. and Winkler, D., 2019. Evolving embodied intelligence from materials to machines. **Nature Machine Intelligence**, 1(1), pp.12-19.

- 文档作者：

Hao Tong @ University of Birmingham & Qiqi Duan @ HIT&SUSTech

2024 年 11 月 4 日星期一（文档版本号：v001）