

自抗扰：生命的本质特性

高志强 美国克利夫兰州立大学电机及计算机科学系

十几年前，我们实验室的Radhika Kotina同学根据自抗扰原理，设计人体姿态的控制机制，还在一个生物力学会议上介绍了这个工作。要知道人体姿态的动态特性属于强非线性而且只能分段定义，建模不仅困难而且复杂，一写就是好几页，有可能还是分数阶的。Kotina这个来自东亚的小丫头鬼精鬼精的，不光功课好还特别好奇，特别有心计。她先是到克利夫兰一个知名的生物力学实验室做志愿者，学习有关的生物力学知识和问题；然后又到我们实验室学习解决控制问题的方法，真是如鱼得水。能够这样充分地发现和利用资源的研究生还真不多见。毕业后她去了一家大公司，搞的是飞机控制，同样是游刃有余。

其实Kotina的研究开始做得并不顺利：问题太复杂了，摸不着头绪，六个月不出东西，急得还真掉眼泪。可是踏破铁鞋无觅处，得来全不费工夫。当她掌握了自抗扰的设计原理，把模型问

题转化为抗扰问题，解决方案很快就找到了，而且很漂亮。苦尽甘来，可把她高兴坏了。她的算法简单有效，突破了复杂性的瓶颈，在生物力学会议引起了关注。一位老师与Kotina反复讨论后说，“自抗扰”也许是生物控制的基本原理。

我后来一直在琢磨这个事儿。生命，即使是最简单的单细胞生命，都能够与外界环境交流信息，这在细胞生物学里叫signaling，是细胞趋利避害的看家本领。这个信息驱动的生物机制经过了几十亿年的进化后早已炉火纯青，它的秘密何在？

工程控制与生物控制相比不过是小巫见大巫；我们的自控原理也许还处于认知的初级阶段，也许还只能算是雕虫小技。控制科学的问题更是认知问题，包括对生物控制甚至生命的认知。不知不觉，工程研究就悄悄地进入了科学甚至哲学的范畴。



图1 生命调整自己、适应环境的示意图（图片来源：https://www.insightsquared.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/lead-conversion-13wssyb62xq8phuihc24rt5w3kslves3o9b75npil17sv1pq.png）

工程控制与生物控制不同，不管是发明创造还是数学推导，都受限于人类的想象力。科学家们看到蒸汽机中的飞锤控制器就想用数学语言描述它，抽象地分析它，证明它的稳定性，寻找它的最优性。这样产生的控制理论就理所当然地成为应用数学的一个分支，成为形而上学。可是一个挥之不去的问题是：这样的纯理论能够指导工程实践吗？宋健先生曾说，这要看“它的前提是否正确，命题本身是否反映了工程实践中的客观需要，是否抓住了主要矛盾”。一言概之，就是要看它是否准确地抓住了工程问题的本质。Karl Astrom教授2012年在美国控制会议上借用伦敦建筑史上的一个事件形象地告诫人们，要关注控制理论的基础，基础如果不牢靠，整个大厦都可能坍塌。我想知道的是他为何忧心忡忡。

一门学科的建立始于基本概念严格定义，特别是学科本身的定义。定义的作用有如圈地划界，意在分清里外。两千多年前亚里士多德把对世界的认知分为物理学(physics)和形而上学(metaphysics)。后来生物学从前者中独立出来，专门研究有生命的机体。可是人们发现，生物学中

一些基本概念之间的区别并不容易说清楚，譬如动物和植物。著名学者Herbert Spencer在1864年出版的《生物学原理》一书中说，自然科学中的分类往往是主观上的一厢情愿，自然界中并没有与其一一对应的严格界限，就连生命这样最基本的概念都有争议。不管是否情愿，Spencer还是给出了一个定义：

Life: The continuous adjustment of internal relations to external relations.

Spencer这是说，生命的基本特征是“不断地通过内部的调整来适应外部的变化”。这个见解让我耳目一新：生命总是处于充满未知和变化的环境中，外部环境的变化是对生命本体的扰动，所以生命必须不断地调整自己、适应环境，如图1所示。所谓“适者生存”(survival of the fittest)，“适”就是生命抗拒扰动的能力，是生命与生俱来、自然而然的固有特性，即“自抗扰性”。当然，这个能力有高低之分，表现为进化中的优胜劣败，(更)适者生存。所以我们是不是可以这么理解：“自抗扰性”是生命得以延续的本质特性。

Spencer的见解还让我想起，距今300万年的第

四纪冰期恰好是人类的出现和快速进化的时期。在这期间，“外部的变化”反映为气候的剧烈变化，是对人类生存能力的极大考验，也是对人类进化的极大刺激。这时“内部的调整”反映在人类智力快速、大幅度地提高和各种对策和工具的出现（图2是人类进化的一个粗略示意图）。从远古的钻木取火到近代的蒸汽机和现代的人工智能，也许都是这个道理。

随着现代科学技术的发展，人类驾驭自然的能力大大提高，工程系统的设计、制造和操作也越来越复杂。但是不管设计得多么巧妙和精细，这些系统都要在充满未知和变化的环境中运行。这样，我们对生物世界优胜劣败、适者生存机制的认知就具有现实意义了。

维纳先生1948年出版的《控制论》开启了对生物控制和工程控制共性的探讨；钱学森先生1954年出版的《工程控制论》提出了如何在内扰和外扰影响下保持系统运行稳定的关键问题。韩京清先生2008年出版的《自抗扰控制技术》（见图3）建立了自抗扰的设计理念和实施手段，在技术层面上全面地回答了钱学森提出的问题，大大

地拓宽了自动控制系统的工作范围，也为工业控制技术的发展建立了一个崭新的平台。

看来所谓自抗扰不光是技术特性，更是生命特性。我们今天学习和研究控制不妨从Spencer对生命的定义开始。韩京清先生创建自抗扰控制是因为他抓住了工程控制的本质，以身作则地实践了“君子务本，本立而道生”的古训。我认为这才是我们最最需要继承的。

今后不管是谁，不管是学生还是学者，不管是干什么行业的，都不妨不停顿地扪心自问：我是否抓住了问题的本质？

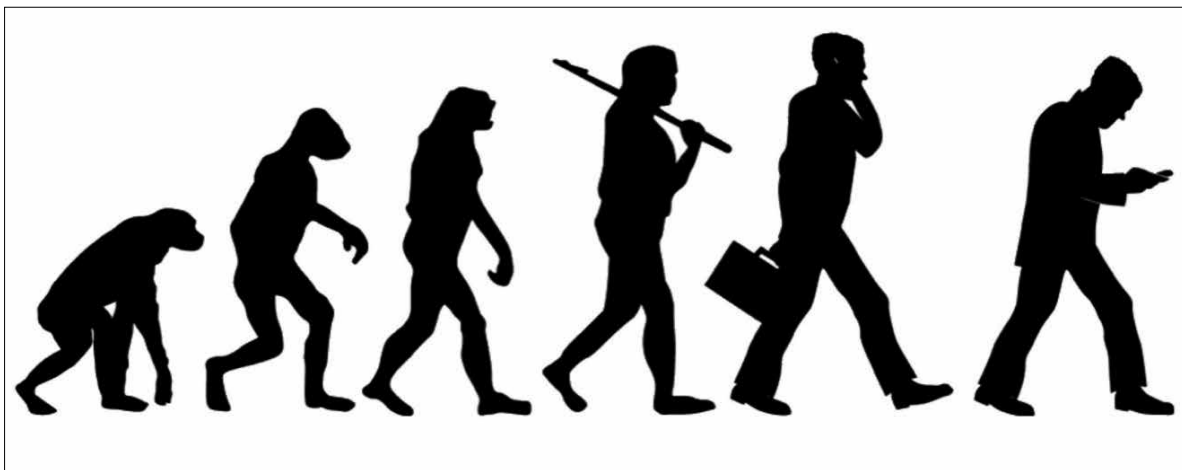


图2 人类进化粗略示意图（图片来源：<http://web.colby.edu/st112a2018/files/2018/02/stsblog1pic.jpg>）

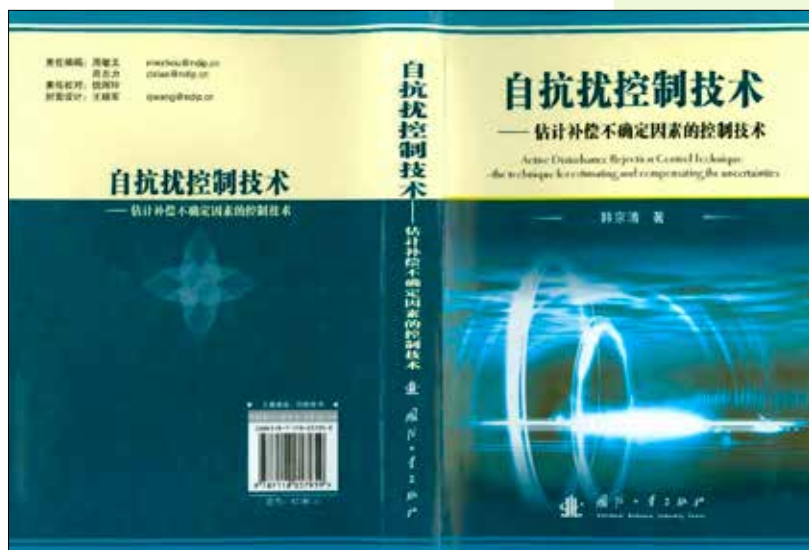


图3 韩京清的著作《自抗扰控制技术》