

仿生学

[美] D. S. 哈拉西 著



科学出版社

内 容 简 介

本书比较通俗、概括地介绍了仿生学的由来和发展以及仿生学所取得的成果和它的未来。

全书共分八章：仿生学——一门新的科学、仿生学的历史、生物界的机械原理、仿生的感受器、思维机的模型、动物和植物的电、人-机合作、仿生学展望。可供生物学、医学、工程技术等方面的工作同志，以及对仿生学感兴趣的广大读者参考。

Daniel S. Halacy, Jr.

BIONICS

Holiday House

New York, 1965

仿 生 学

〔美〕D.S.哈拉西 著

山东海洋学院生物系《仿生学》翻译组译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1975年1月第一版 开本：787×1092 1/32

1975年1月第一次印刷 印张：4 3/8

印数：0001—14,450 字数：98,000

统一书号：13031·262

本社书号：422·13-10

定 价：0.42 元

译 者 的 话

“人的认识，主要地依赖于物质的生产活动，逐渐地了解自然的现象、自然的性质、自然的规律性、人和自然的关系”（《实践论》）。古人在生产斗争实践中，看到鱼在水中自由地游泳便千方百计地去模仿它。他们用木材仿照鱼的体形做成船，又用两叶桨放在船的两侧，模仿鱼的胸鳍的动作，或者用橹放在船尾模仿鱼尾的摆动。人看到在天上自由飞翔的鸟，同样进行模仿。这种模仿慢慢地发展，就产生了今天的飞机。随着科学技术的不断发展，模仿生物的活动就越来越广泛，越来越深入。起初是模仿生物的外形和简单机能，逐渐发展到模仿生物的复杂器官和机能，尤其是模仿生物的感觉器官（眼、耳、鼻等）和神经系统。例如，模仿狗的嗅觉机能制成了“电子警犬”，已用于侦缉；模仿鲨（一种海洋动物）的视觉原理制成了“鲨眼电子模型”，在雷达、电视等系统中应用它，能使物像的轮廓更加清晰；模仿神经细胞的机能已制成许多种人造神经元；甚至模仿人的神经网络来制造自组织机器，即能够辨别或能学会辨别文字、语言等事物的机器，如学习机、翻译机、图像识别机等。到了本世纪的五十年代，模仿生物的结构和机能来建造技术设备的研究，实际上已成为一门独立的科学。1960年，“仿生学”正式诞生。

仿生学是一门边缘科学，它是生命科学和工程技术科学互相渗透、彼此结合而产生的。从生物学的角度来看，仿生学是“应用生物学”的一个分支，因为它把生物学原理应用在工程技术上；从工程技术的角度来看，仿生学为设计和建造新的

技术设备提供了新原理、新方法和新途径。仿生学是生物学和工程技术学相结合而产生的，反过来它又促进这两门学科的发展。

为什么要仿生？这是社会发展的需要。随着阶级斗争、生产斗争和科学实验的不断深入发展，迫切地要求人们去建造更加复杂、更加完善和更加自动化的技术设备。怎样去设计这些设备呢？有一种方法，也许是一种比较好的方法，那就是去研究生物，模仿生物。生物界是通过千百万年的自然选择而进化起来的。它们已经形成非常复杂和高度自动化的器官和系统，所以它们能很好地适应环境。例如，许多动物（如迁徙的鸟类，海洋里洄游的鱼类等）具有精确的定向导航系统，它们在长途“旅行”中不会迷失方向。研究这些动物的导航原理，对于设计飞机和轮船的导航设备是有帮助的。人脑是设计电子计算机的最好的模型。人脑固然复杂，但不是不可认识和不可模仿的。事实上，研究和模仿大脑机能的工作已在进行，并开始取得成果。可见，生物界为我们提供了优良的设计蓝图。只要我们认真地去研究它、应用它，对工程技术的发展肯定会有帮助的。

本书的作者 D. S. 哈拉西比较通俗而又生动地介绍了仿生学的由来和发展，仿生学所取得的成果和它的未来。本书可供生物学、医学和工程技术等方面的人员阅读。

原书后面附有一部分名词解释，为了方便读者，已把这部分名词解释作为注脚移到该名词首次出现的地方。另外，译者认为有必要解释的科学术语、地名和人名等又加了译注。

在翻译过程中，我们对原文作了一些删改。限于我们的业务水平，翻译工作必定存在缺点甚至错误，望读者批评指正。

目 录

译者的话	(i)
第一章 仿生学——一门新的科学	(1)
第二章 仿生学的历史	(9)
第三章 生物界的机械原理	(21)
第四章 仿生的感受器	(45)
第五章 思维机的模型	(65)
第六章 动物和植物的电	(91)
第七章 人-机合作	(123)
第八章 仿生学展望	(131)

第一章 仿生学——一门新的科学

1960年9月13日^①，一门新的科学诞生了！这个日子，看来也不是特别隆重的。会议的主讲人之一，即伊里诺斯大学的福斯特(Heinz von Foerster)博士，他在讲话时并没有给这门新科学以多大鼓励。他指出，他们单位最近出版了一本书，罗列了1150种现有的学科。这些学科的范围很广，从螨虫学(研究螨虫和虱子的科学)一直到酿造学(是化学的一个分支，它研究发酵过程)。那么还有谁需要另一门叫“仿生学”的科学呢？

组成“Bionics”(仿生学)这个字的字根是对这门新科学的性质的一种暗示。拉丁字“bios”是“生命方式”的意思；字尾“ic”是“具有……性质”的意思。这次仿生学讨论会的副题“生物原型——新技术的关键”，是对这门新科学的性质的另一种暗示。提出“仿生学”这个名字的斯蒂尔(Jack Ellwood steele)博士是这样给仿生学下定义的：“仿生学是模仿生物系统的原理来建造技术系统，或者使人造技术系统具有或类似于生物系统特征的科学。”简单一句话，仿生学就是“模仿生物的科学”。已经熟悉的例子有：人造声纳和蝙蝠“声纳”的原理相似；水下运动的橡皮鳍是模仿青蛙、海狮以及其他高效率水下游泳动物的。

斯蒂尔博士，对仿生学的发展起过主导作用，他是一位军医，他的专长是精神病学和神经学，但他又受过数学和电子学

^① 这一天，美国召开第一届仿生学讨论会。实际上，仿生学在五十年代已成为一门独立的科学。——译者

技术设备提供了新原理、新方法和新途径。仿生学是生物学和工程技术学相结合而产生的，反过来它又促进这两门学科的发展。

为什么要仿生？这是社会发展的需要。随着阶级斗争、生产斗争和科学实验的不断深入发展，迫切地要求人们去建造更加复杂、更加完善和更加自动化的技术设备。怎样去设计这些设备呢？有一种方法，也许是一种比较好的方法，那就是去研究生物，模仿生物。生物界是通过千百万年的自然选择而进化起来的。它们已经形成非常复杂和高度自动化的器官和系统，所以它们能很好地适应环境。例如，许多动物（如迁徙的鸟类，海洋里洄游的鱼类等）具有精确的定向导航系统，它们在长途“旅行”中不会迷失方向。研究这些动物的导航原理，对于设计飞机和轮船的导航设备是有帮助的。人脑是设计电子计算机的最好的模型。人脑固然复杂，但不是不可认识和不可模仿的。事实上，研究和模仿大脑机能的工作已在进行，并开始取得成果。可见，生物界为我们提供了优良的设计蓝图。只要我们认真地去研究它、应用它，对工程技术的发展肯定会有帮助的。

本书的作者 D. S. 哈拉西比较通俗而又生动地介绍了仿生学的由来和发展，仿生学所取得的成果和它的未来。本书可供生物学、医学和工程技术等方面的人员阅读。

原书后面附有一部分名词解释，为了方便读者，已把这部分名词解释作为注脚移到该名词首次出现的地方。另外，译者认为有必要解释的科学术语、地名和人名等又加了译注。

在翻译过程中，我们对原文作了一些删改。限于我们的业务水平，翻译工作必定存在缺点甚至错误，望读者批评指正。

这种不严密的生物学没有什么好学的，数学就能满足他们的需要了。

而数学家呢，他们乐于运用符号。如果这些符号任何人(生物学家或工程师)都看不懂，那么数学家就说这是纯数学运算。

在斯蒂尔看来，这正是要把仿生学作为一门科学的理由。每一位专家，本来应当为共同的利益而合作，但他们却常常按照自己的兴趣而工作。我们需要的是每门独立的科学互相渗透，创立对大家都有利的边缘学科。

“学好你的生物学”

同意斯蒂尔观点的科学家中，有一位是洛杉矶加利福尼亚大学的爱迪(W. R. Adey)博士。在1960年的另一次科学讨论会上，他说：“为使共同合作的工程技术项目富有成果，我们殷切地希望工程师首先学好生物学。”

第一次仿生学会议有30名讲演人和大约700名听众，他们是工程师、物理学家、数学家、病理学家、精神病学家、生物学家和生物物理学家的代表，他们的相对数量也大概是这个次序。会上的讲演题目，比较典型的有：

设计生物计算机中的问题；

人造神经元有什么优点？

用机器识别图像；

学习的机器。

凯托(F. Keto)注意到，许多人把仿生学和“生物电子学”等同起来。他指出，不仅是电子学，还有航空、制导和控制、导航、通讯、海洋科学、医学、生物学、化学、材料学和数学都指望从生物学与工程技术学新的合作中取得成果。

他列举了近代军事和其他部门对大量数据的加工系统的

需要，来说明仿生学为什么突然变得如此重要。要求复杂的设备能工作许多年而不损坏，显然需要这些设备的可靠性不断增加。生物原型的一个很大优点是可靠，再加上它结构紧凑、重量轻、所需要的动力小等优点。

凯托说，仿生学不只给军队带来好处。在建设性的、医学的方面，仿生学可望为手脚残废的人改进假肢设备（即人造肢体），以及帮助盲人解决视觉问题。认真研究生物的工作原理，对工业也会带来很大好处。

近代的工程技术迫切需要仿生学，同时也使仿生学的应用易于实现。凯托指出，电子计算机使得有可能分析和从根本上模仿生物系统。研究逻辑，也有助于了解生物界的自组织系统^①。人们用高级显微镜和其他技术，已开始了解到生物在分子水平上的工作原理。所以，仿生学不是引人入胜的幻想，而是可以做到的事情。

另一位讲演者说，生物学不再仅仅是一门描述性的科学了，而是逐渐变成一门分析性的科学。有的研究者特别感兴趣的生物原型是以下三个方面：

1. 动物的感受器；
2. 动物神经系统的整合作用；
3. 信息的储存和恢复；

生物的所有这些机能，都可在人造系统中，特别是那些越来越复杂的系统中应用。看来，生物界是最有秩序的复杂事物，因此人向生物界求教是符合逻辑的。

用一位作家的话来说，“已经在我们中间静静地孕育着”的这门新科学，终于诞生了，而且是在嘹亮的歌声中、充满着

^① 自组织系统又称智能系统，即执行“智能”任务（学习，思维，识别事物等）的生物系统。模仿这些系统制成的机器，统称“自组织机”或“人工智能机”（如学习机，翻译机等）。——译者

希望而诞生的。它真的会为我们的技术作出惊人的贡献吗？麦卡洛克（Warren McCulloch）曾警告过那些跳上仿生学的“宣传车”，想利用它出风头的人。他在回答仿生学家这样随便地向大家提出这门新科学会不会犯错误时这样说：这样大量宣传，确实是一种危险。但是，他断定，“在这里，必要的利益超过了可能发生的祸害。”

当然，并不是所有的人都要跳到仿生学的宣传车上来的。有一位科学家在一本技术杂志上写道，他反对模仿生物系统来设计机器的整个想法。他嘲笑说：“你们在宣传车上，还是把脚跟站稳点吧！”另一个人认为，仿生学是由生物学中最狂热的部分和电子学中最狂热的部分结合而成的。作为回敬，他把“电子学”和“生物学”组成一个新名词，叫“电子生物学”（electrology）。还有一些人指出，飞机不会拍动机翼，而青蛙则永远到不了月球。但是持有这些观点的人显然是少数。不管他们怎样诽谤，仿生学在茁壮成长。

仿生学在成长

参加第一届仿生学讨论会的人超过700人。三年以后召开的第二届仿生学会议，就有1000多人出席，听取了50多篇报告。这些论文的题目要比1960年的更富有生气：

- 类似肌肉的收缩装置；
- 大型人造神经网络(LANNET)；
- 局部失效的感觉——走向自恢复的一步；
- 青蛙视网膜的机能电子模型；
- 猫腿肌肉的伺服分析；
- 猴子听觉的外周神经机制；
- 用神经逻辑进行语言分析和识别；
- 在遗传系统中信息的组织和表现；

肌电的伺服控制；
蜜蜂对信息的加工；
人对嗅觉信息的加工。

一位参加仿生学研究的科学家承认：要许多同事真正了解他为什么要和“瞎眼的鱼、狂跳的鼠和天生耳聋的猫”打交道是很困难的。他们也不了解，仿生学家为什么对水族箱里的鱼，在观众用梳子梳头发并把梳子在水族箱前摆动时所产生的静电荷发生反应而感兴趣，或者对海豚怎样在水下通讯感兴趣。但这些研究工作正在进行，并开始取得成果。

有一种民用飞机的机翼是模仿鸟翼的曲线来建造的。有一家橡胶公司正在用人造海豚皮（这是用橡胶模仿海豚的皮肤制成的）套在船上做试验。一种新型的“飞机速度指示器”是模仿甲虫的眼而制成的。一种改进的电视摄影机是模仿鲨眼的原理来建造的。

蛙眼么？它具有惊人的本领，工程师多么希望能把它用在雷达设备上。1960年用于仿生学研究的经费大约是3,000,000美元；1963年一年就超过15,000,000美元。已经不是只聘用几名，而是聘用几百名生物学家了。

也许像一位讲演者所警告的那样，跳进仿生学这个吸引人的新领域中去的某些人是自不量力或野心勃勃。但是总的说来，这门新科学会给我们带来许多好处。

为什么要重视生物原型？为什么要研究青蛙的眼睛、夜蛾的“耳朵”和蝙蝠的叫声呢？简单的回答是：生物器官和人造设备或系统在同样的环境中工作。生物界和人造机器一样，也受到重力、温度和压力的影响。而化学和电学是生物的核心。机器的设计者存在什么问题，生物界也存在什么问题，而生物界老早就遇到这些问题了。解决这些问题是要化费时间的，生物界为了解决这些问题已经用了大量的时间。自从出

现生命以来的十亿年^①左右，这些问题的解决已经不是能不能或行不行的问题，某些优异的解决方法已经产生了，这是十分清楚的事实。

你要制造泵吗？请你看一看活的细胞吧。阀门呢？请你研究人体的心血管系统吧。航空和航海呢？不用说了。怎样处理信息呢？估计人的遗传密码信息之多，要充满英国的一套百科全书！

这并不是说，仿生学是能立刻解决所有问题的万灵药。讨论会上已经指出，任何有才能的神经生理学家，当他了解到某些乐观的工程师称为“人造神经元”的那种粗糙装置时，都会摇头叹气。培养仿生学家不是一件容易的事情。正如斯蒂尔所说的：“一个人追赶两只兔子，结果一只也不会抓到。”但是，对于那些不畏艰险的人，收获将是巨大的。

诚然，仿生学除了它的名字以外，并不是在1960年9月13日那一天，好像被魔术师一下子创造出来的。

正如电子计算机，可以追溯到简单的算盘；核动力工厂可以联系到德谟克利特(Democritus)^②的原子一样，仿生学只不过是几百年来前人许多方面工作的结晶而已——这种工作常常令人失望，它不是仿生学发展的跳板，而是导致最后成功的垫基石。印刷技术并不是谷腾堡(Gutenberg)^③想到它以后才有的。实际上，中国古代（远在1436年前）就用粘土做成活字来印刷。不，还必须对印刷事业有迫切的需要。必须有一定质量的纸张和进行印刷的经济条件，作者还必须有一些重

① 最近报道，在有32亿年历史的地层里发现了生物化石(细菌化石)。——译者

② 大约生活在公元前460年以前，是古希腊哲学家，他最早提出原子的概念。——译者

③ 大约生活在1400—1468年，是德国人。——译者

要的东西交给印刷者。

下一章，我们要简述人类模仿生物界的历史。这个历史不是稳步前进的，相反，它是不规则地波浪式地向前发展的。它曾经有过失望和失败，而有些重要的发明，在满是灰尘的书架上放了几个世纪而无人过问。但它也充分证明，一种观点所具有的巨大力量。这种观点现在到了它出头露面的时候了，这就是我们今天的仿生学。

童裳亮 译

方宗熙 校

第二章 仿生学的历史

远在有史以前，人就模仿野兽，用类似于动物“爪”那样的东西把自己武装起来。这就是生物模仿，就是一种生物类型模仿另一种生物类型。后来，从粗糙的石头或木头做的武器逐渐演变成金属刀，进而导致今天所用的各种工具。从生物界学来的另一种适应性的行为是“伪装”。正像低等动物把自己“伪装”成别的什么东西而得到生存一样，人学会了用人造的伪装把自己隐蔽起来。因此，向生物界寻找工程原理的历史是非常悠久的。

人有一双脚，可以在陆地上行走。因此，不必为行走而模仿任何东西了。但是，当人上了船，他就用桨来模仿鱼鳍和鱼尾的运动。这可能是用树枝或竹竿撑船前进的过程中偶然发现的。但大概在原始人开始航海的那个时候，就有一项革命性的发现或发明，它使人类技术沿着一条与生物界大不相同的道路前进。这个发明就是轮子，这是在自然界找不到的机械装置。自然界最接近于轮子的东西是圆形的果实、圆柱状的树干，或者是被溪流或海水冲刷成圆形的卵石。这种形状的东西在自然界偶然转动，被人有目的地采用了。

显然，在公元前3500年，轮子就在两个不同的方面得到了应用——陶器业和运输业。陶器工最早用的轮子，是转动机械装置的祖先，而转动机械装置是许多现代设备的基础。车的轮子一经转动，就一直转动下去，直到实际上整个世界都在车轮之上了。

轮子马上为人类提供了自然界所不能提供的好处。但公

正地说,这个发明可能是从人的手臂的半旋转运动那里来的。早先的技师需要在骨头、木头或其他材料上钻孔,他们就用手指或手臂旋转磨尖的石头来钻孔。手臂的转动称为“旋前”^①,它之所以能这么转动是因为我们的前臂有两根骨头的缘故。粗糙的“钻子”渐渐发展成具有硬质尖头的光滑的圆棍,可能从这个圆柱形的形状引出轮子的概念,或者,由于某人在小卵石上或在圆木上滑动时受到的启发?轮子的出现对技术的影响是巨大的。

善于模仿的人

第一批发动机是动物,起初是人本身,以后是为人所役用的动物。“马力”这个词汇的出现不是偶然的,而是把最初的机器与马的动力相比较而得来的。随着人们对动力的需要日益增长,他们就从生物机器以外去寻找动力了,结果发明了机械发动机。热气,特别重要的是蒸汽的动力代替了肌肉的动力。从马车和蒸汽机发展到火车和汽车。有人问,还有谁需要向生物界学习呢?但是还有一些勇敢而“愚蠢”的人想飞上天。

鸟会飞,甚至低等的昆虫也能在三度空间自由飞翔,而人只能在地面上行走。人想模仿他所看到的在他周围运动的生物,这是很自然的事情。从第五世纪流传到今天的一个挪威的神话故事,描述发明家韦兰得的羽毛飞行机。韦兰得把这种飞行机交给他的兄弟爱格尔,并鼓励他在和风亲自试一试:

爱格尔按照嘱咐穿上了羽毛衣服,他立刻像鸟儿一样迅速地飞上天空……

^① 旋前(pronation)——医学术语,指手和前臂的旋转运动。——译者

聪明的韦兰得告诉他的兄弟，起飞时要逆风，而着陆时要顺风。爱格尔尽了最大努力，也没有能保住自己的生命。这是人真正能飞以前很久，飞行家们就已经吸取的教训；鸟类无论起飞和着陆都是逆风的，这是用来降低飞行速度的办法。

达·芬奇(Leonardo da Vinci)^①也认为人可以模仿鸟类而飞行。他设计了一部扑翼机，或叫拍动翅膀的飞机。这是对鸟类进行仔细的解剖观察以后才设计出来的。有些历史学家相信，达·芬奇或者他的助手实际上试验过这种飞机，但没有取得成功。要是有足够的动力，这种扑翼机也许已经飞上天了。但是，人的肌肉胜任不了这样艰巨的工作，即使在机械技术高度发展的今天，设计成功重量轻而效率高的机翼，依靠人力来飞行也是不大可能的。

达·芬奇还设计了一部原始的直升飞机，这是一部上面装有大螺旋桨的飞机，虽然这种飞机的基本原理已在达·芬奇时代以前的儿童玩具中出现过。这时，工程师也许第一次承认，人有可能不模仿生物界而飞行。

公元前4世纪，希腊的阿奇太(Archytas)^②制成一只“机械鸽子”，据说它飞过。流传着许多神奇的故事，这些故事描写人飞得很高，甚至飞往月亮，超过月亮。有时由天鹅或其他鸟类带着人往上飞。其中最有名的也许是依卡拉斯(Icarus)和得达拉斯(Daedalus)^③的故事了。人想用固定机翼来模仿鸟飞，但他不得不放弃以肌肉为动力和以拍动翅膀的方式而飞行的企图。在几个世纪以前，阿基米得就已经用数学表示

① (1452—1519)，意大利工程师和艺术家。——译者

② (公元前400—350)，希腊科学家和哲学家。——译者

③ 这是希腊的神话故事。得达拉斯是雅典匠人，因杀人而被流放到克利特岛上，监禁在迷宫里。后来，他用羽毛和蜡做成翅膀，他和他的儿子依卡拉斯逃出迷宫，飞往萨摩斯(Samos)。由于依卡拉斯飞得太高，离太阳太近，蜡被日光融化，结果堕海而死。——译者

过的旋转运动和螺旋概念（这也许是从海螺到银河系的螺旋形中得到的启发），导致推动轮船跨海洋的螺旋桨的出现，以后导致给飞机装上机械发动机。但是，模仿自然界飞行动物的想法，还延续了许多年。

十五世纪，一个有名的自动机制造者米勒(Johann Muller)^①建造了一只“铁苍蝇”。后来建造了一只机械鹰，据说为德国皇帝马克西米连一世飞行过。约翰逊(Somuel Johnson)^②在他的小说《拉赛勒斯》^③中，描写他的英雄艺术家模仿蝙蝠的翼而成功地飞行。

大约在1800年，英国人凯利(George Cayley)^④首先提出这样一个理论：飞机的上升力可以从水平推进力中分出来。换句话说，一个固定的鸟式机翼提供上升的力，而发动机和螺旋桨推动飞机在空中前进。凯利还了解空气阻力的问题。他曾仔细地研究过动物的形态，以便找出最流线型的结构。例如，他在他的《航空与杂记》中写道：

然而，我担心整个(飞行)课题的性质是那么渺茫，甚至实验研究要比推论更为有用些。而当两者都缺少确实证据的情况下，现实的唯一办法是模仿生物界；因此，我将求助于鳟鱼和山鹑身体的纺锤形。

凯利模仿鸟翼设计了一种机翼曲线，它和现代飞机的两个机翼断面曲线(即N.A.C.A.63 A016和LB N-0016)几乎完全相同！

法国生理学家马雷(Etienne Jules Marey)(1830—1904)出版了一本研究鸟飞的书叫《动物的机器》。这本书介绍了鸟

① (1436—1476)，德国天文学和数学家。——译者

② (1709—1784)，英国作家和辞典编辑者。——译者

③ 这是一部小说的名字。拉赛勒斯是小说中的主角。——译者

④ (1773—1857)，英国科学家，气体动力学的创始人之一。——译者