



生物的信息与控制

高 远 程君实编

海 洋 出 版 社

73.821
439

生物的信息与控制

高 远 程君实 编



海 洋 出 版 社

1988年·北京

8810638

0581/16

内 容 简 介

《生物的信息与控制》是一门新兴的学科。它将作为探索生物体的内在机能的边缘学科而迅速发展起来。

本书对生物信息，生物体的特性，神经元回路，神经元和大脑的机理与模型，生物信息的测量、处理和图象技术，生物的控制系统，以及机器人和人工器官等作了比较全面的论述。

本书既可作为生物电子学，生物物理，神经生理学，生物医学工程，生物控制论及生物信息处理等学科的教学参考书，又可作为从事海洋开发和机器人设计的工程技术人员和研究工作人员的参考书与自学用书。

责任编辑 刘利蕾

责任校对 李慧萍

生物的信息与控制

高 远 程君实 编

海 洋 出 版 社 出 版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 星城印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.5625 字数: 180千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

印数: 1-2400

统一书号: 13193·0889 定价: 3.50元

ISBN7-5027-0154-0/Q·16

序

自本世纪四十年代N·维纳创立“控制论”以来，人们对这门新兴学科产生了极大的兴趣。根据维纳的提法，控制论或者就是关于动物和机器中的控制和通信的科学。其实质是想用统一的数学方法来探索神经生理学、心理学和控制、通信等学科中性质类似的问题。因此控制论是上述有关学科之间的一门边缘科学。控制论的观点现在已推广到维纳原先不想涉及的许多学科，如社会学、组织管理学、经济学和遗传工程等，因此便形成了工程控制论、经济控制论和生物控制论等各个分支。同时由于计算机技术的普及、现代控制理论和信息处理技术等日趋成熟，控制论的方法也更为丰富。在本书中讨论生物中的信息和控制，可作为生物控制论的一本入门读物。对于生物医学工程工作者，从中可以了解到生物电信号的形成、传递、导引和处理等基本概念和方法，也介绍了生物体保持内环境平衡的各种生理反馈系统。对于生理学工作者，则可以了解到分析生理现象的控制论观点和数学模型描述方法。通过学习本书，读者会在解释生命现象或在医疗诊断的方法和仪器设计的思想方面有所启发。考虑到篇幅的限制，本书没有涉及到和生物控制论有关的数学基础，也没有包括象假肢一类人工修复术方面的有关内容。

徐俊荣

1985年

编者的话

生物的信息与控制，这是一门新兴的学科。虽然还很难预言它的未来，但是人们完全预感到而且有理由相信它会造福人类并对整个社会产生深远影响。

书中对生物信息，生物体的特性，神经元和大脑的机理与模型，神经元回路，生物信息的测量、处理和图像技术，生物的控制系统，以及机器人和人工器官等均作了阐述。编者试图对生物的信息与控制作比较全面的介绍。由于这是一门崭新的学科，目前正在发展，可以说还是一个刚刚兴起的技术领域；另一方面也由于编者的知识极其有限，因此只希望本书能对我国的生物信息与控制技术的发展，起到一点微薄的推动作用。

限于编者的水平，本书错误与不妥之处在所难免，敬希读者批评指正。

本书承蒙上海交通大学徐俊荣教授，认真审校做了大量工作，在此谨致诚挚的谢意。

编 者

目 录

第一章 概论	(1)
1.1 人与机器.....	(1)
1.2 生命科学与生物工程.....	(4)
1.3 生物信息工程与模拟技术.....	(7)
1.4 生物体中的信息处理.....	(11)
1.5 生物信息工程的开发与应用.....	(13)
参考文献.....	(16)
第二章 生物体的特性	(17)
2.1 生物体的结构与特性.....	(17)
2.2 生物体的电特性.....	(22)
2.3 生物体中的磁特性.....	(27)
2.4 生物体的力学特性.....	(31)
2.5 生物体的热学特性.....	(37)
2.6 生物体的光学特性.....	(39)
2.7 生物体与放射线.....	(42)
参考文献.....	(43)
第三章 神经元的作用及其模型	(44)
3.1 神经元的结构与功能.....	(44)
3.2 轴突及其模型.....	(50)
3.3 以突触作用为中心的神经元单体模型.....	(59)
3.4 神经元的电子线路模型.....	(76)
3.5 神经元工作的计算机模拟.....	(86)
3.6 神经的信息传输.....	(91)

参考文献	(95)
第四章 神经元回路	(96)
4.1 生物体内神经元的耦合型式	(96)
4.2 神经元回路模型	(100)
4.3 克兰(Crane)神经器(neuristor)	(114)
4.4 相同构造的神经网络与混响(Reberveration)	(116)
4.5 神经元元件与有限自动机	(119)
参考文献	(121)
第五章 大脑的信息机理与模型	(122)
5.1 大脑的作用	(122)
5.2 记忆与学习	(126)
5.3 记忆与学习的生理学机理	(128)
5.4 赫尔的行为原理	(130)
5.5 学习模型(一)——学习曲线	(131)
5.6 学习模型(二)——学习机、感知机等	(139)
5.7 大脑的拓扑模型	(149)
5.8 大脑全息照相模型	(151)
5.9 大脑信息处理模型	(152)
参考文献	(154)
第六章 生物信息的测量	(155)
6.1 测量用的电极与换能器	(155)
6.2 生物信息测量中的一些基本问题	(167)
6.3 体表及体外测量	(169)
6.4 探针与体内测量	(175)
参考文献	(180)
第七章 生物信息的处理	(181)

7.1	神经脉冲的传输	(181)
7.2	生物信号的处理	(183)
7.3	生物信息中噪声的处理	(186)
7.4	视觉系统的信息处理	(193)
7.5	听觉系统的信息处理	(202)
	参考文献	(208)
第八章	生物信息的图象技术	(210)
8.1	图象处理的基本技术	(210)
8.2	超声波图象技术	(215)
8.3	计算机断层技术	(221)
8.4	其他生物图象处理技术	(227)
	参考文献	(231)
第九章	生物的控制系統	(232)
9.1	从感受器到效应器的控制系统	(232)
9.2	肌肉(骨骼肌)	(233)
9.3	眼球控制系统	(235)
9.4	手与脚的控制系統	(250)
9.5	体温调节	(253)
9.6	血压调节	(274)
	参考文献	(277)
第十章	机器人与人工器官	(279)
10.1	人操作器与机器人	(279)
10.2	人操作器与自适应控制	(280)
10.3	学习控制	(284)
10.4	机器人	(286)
10.5	人工器官	(291)
	参考文献	(297)

第一章 概 论

1.1 人与机器

通常我们说人和动物的不同之处，在于人自己不但会制造工具，而且会使用工具（机器），以弥补自身功能的不足。人体本身可以看成是一个系统，人通过眼睛和耳朵等感受器（sensor）感受到外界光线或声音的刺激，进而将这种信息传到大脑中枢，并在大脑中枢作出某种判断，然后再对手、脚等效应器（effector）下达动作命令。这个系统的前半部分可称之为输入部分，而后半部分称之为输出部分。人们利用各种通信工具弥补了自身输入部分功能的不足，而利用各种机器设备弥补了输出部分功能的不足。既然是这样，这种通信方式和机器结构对人来说必须要非常合适才行，所以与此有关的工程技术人员就有必要对人体的各种功能进行研究。目前在扩大人体输入部分功能方面，有了电报、电话、收音机、传真以及电视等，它们可以帮助人们听到或看到用耳朵与眼睛所不能达到的远处的信息，在空间上扩大了人的视听觉的功能。还有打印、照相、电影、录音以及录像等，它们能够超过人们的有限的记忆能力，将信息长时间地留存给我们，在时间上扩大了人的视听觉的功能。

通常，把空间上扩大人的视听觉功能的技术称为传输工程（技术），而把时间上扩大人的视听觉功能的技术称为记录工程（技术）。过去，前者是作为电气通信技术发展的，而后者则以照相和印刷技术发展起来。近年来这两种技术领域相辅相成，它们之间已无法严格区分。另外，尽管人的视

觉、听觉是极为良好的，但总还有缺点，因而又出现了一种变换技术，将人的视听觉所不能识别的信息转变成容易识别的形式，这可称为是信息处理技术的一部分。所有这些通信系统一般均可用香农 (Shannon) 通信模型来表示 (如图 1.1 所示)。在这种模型中，终端感受器通常是人的视听觉。这里就要研究人对于再生声音和再生图像的识别能力这种心理学方面的性质，使得通信系统和人的感受系统匹配。

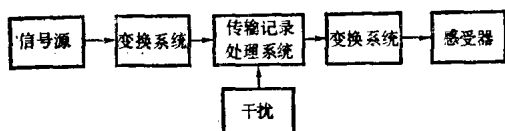


图1.1 通信模型（等效香农模型）

另一方面，在研究机器时，虽然它是用来弥补人的输出部分或者说是弥补手脚功能不足的，但也要研究人的手脚对输入刺激的反应，使得人与机器很好匹配。例如在设计机械手柄或操纵器时，要研究如何使得操作顺手。再例如人们在驾驶汽车和飞机时，要根据来自视觉的时刻变化的输入信息而进行追随，此时就要研究人的输入输出之间的关系等。通过对这些问题的研究，从而确立更能适应人体功能的机器的设计方法。

上述的通信系统——机器系统与人的联系可用图1.2来表示。图中人所需的性质是心理学方面或者是人体工程 (human engineering) 方面的性质，可见这里只要把人抽象地考虑为一个“黑箱”掌握它所具有的性能即可。

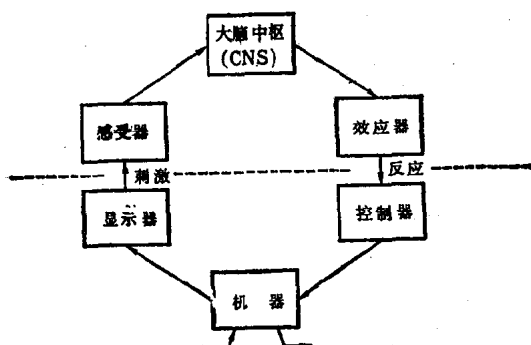


图1.2 人与机器
(中间虚线以上为人以下为机器)

在人的感受器——效应器系统中，处于中央位置的大脑中枢，可以说是人身系统中最为发达的高级信息处理系统。它是由大约 10^{10} 个数量极大的神经元组成的。在大脑中枢除了处理图形、文字、语音等视听觉信息外，还处理触觉、嗅觉、味觉等所有感觉信息，并将这些信息内容加以分析综合。同时，它更是一个具有意识、学习、记忆与判断等更高级功能的信息处理机构，是下达动作命令的重要地方。尽管如此，人脑总有不足之处，电子计算机的出现恰好弥补了人脑的不足。电子计算机的处理速度和准确度远远超出人的能力，因此电子计算机在一段时间里被称作为人工智能机，甚至认为“迟早总可以发展到具有人或比人更高的能力”。但事实上，最近的大容量高速电子计算机，虽然已显示出人要一生也算不完而它却只要几分钟就可算完的超凡能力，但在另一方面，它却不能代替人靠直观进行的各种能力。例如对于在人海中找出一个朋友这样的工作，计算机就束手无

策。这也就是说电子计算机即使对人来说是极好的助手，但它要取代人却是无能为力的。

换言之，迄今为止高度发达的通信、机器、电子计算机（能量或信息的传输、记录、处理装置）显然都是一些弥补人们能力不足的东西，而不可能是发达到已经可以取代人的东西。不过，近来希望用机器来代替人的某些功能的要求逐渐增多。其中主要的有文字或声音的合成与识别，疾病的自动诊断，机器人等。这种将人本身所具有的功能让机器来完成的要求向我们提出来之后，如果不清楚人的功能，就很有可能全然不知机器如何设计。正因为如此，那种仅仅将人单纯作为一个“黑箱”去研究显然就不够了。势必要涉及人体内部，有必要去研究人头脑里的巧妙机构和有关的功能，从而得到启发，再用机器去实现与人同样的功能。诚然，要研究人的内部功能应当说还要包括消化系统、循环系统、新陈代谢系统和排泄系统等等各式各样的系统，可是这当中主要的不用说还是神经系统。如图1.3所示，从感受器到中枢，从中枢到效应器之间的躯体神经系统，和处于中央位置的中枢神经系统则正是问题关键的所在。所以本书所提到的生物信息仅限于上述两种神经系统中的信息。当然对生物信息而言，理应还有遗传信息等重要内容，但由于范围过广，限于篇幅本书不予讨论。

1.2 生命科学与生物工程

广义的生物系统科学或生命科学（*Life science*）包括有解剖学、生理学、形态学、组织学、生物化学、生物物理学等理科体系或医学体系的学科，还有心理学、人类学等文科体系的学科等等，涉及的领域极为广泛。在另一方面自

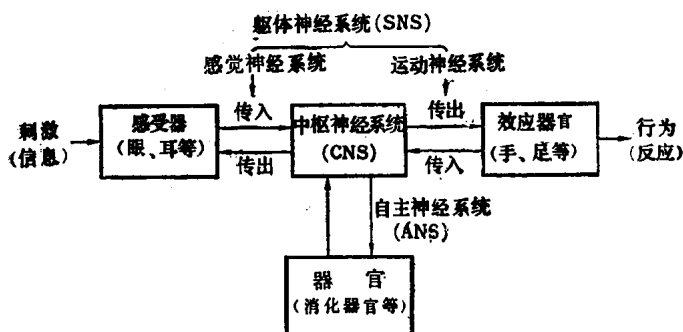


图1.3 神经系统

C.N.S.; Central Nervous System 中枢神经系统
 A.N.S.; Autonomic Nervous System 自主神经系统
 S.N.S.; Somatic Nervous System 躯体神经系统

从1947年维纳 (Wiener) 提出了在生物系统与机械系统中的通信与控制这种统一的概念并称之为控制论 (cybernetics) 以来, 又将工程上发展的很多概念与方法, 广泛地引用到生物系统。因而近年来在生物学与工程学 (特别是电子技术) 之间形成了所谓跨学科的生物工程 (biological engineering)。生物工程必须和以人的治疗为目的医学工程 (medical engineering) 加以区别。

就目前来说生物工程有两个目的, 一方面是工程上的要求, 那就是学习生物本来就有的极为良好的功能, 从中得到启示, 然后用某些工程机械去实现, 这就是所谓仿生学 (bio-nics)。而另一方面, 就是将工程上发展起来的方法用于生物系统科学中去。如果把后者称之为生物功能的分析, 那么则可称前者为生物功能的综合 (图1.4)。¹⁾

1) 也有人称前者为硬生物学 (hard biology), 后者为软工程学 (Soft engineering)。

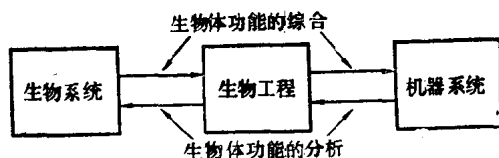


图1.4 生物工程两个方面的性质

生物功能分析是工程在生物科学上的应用，旨在彻底解释其“机理”；而生物功能综合则是生物科学在工程上的应用，故其目的在于取得实用“价值”。因此要注意这两个方面性质的基本观点的不同之处，从而要求有一个目标明确的研究态度。

在说到利用工程方法进行生物功能分析，特别是说到关于神经系统方面，要指出的是迄今为止神经系统的研究，主要是在组织解剖学和神经生理学方面进行，由于这些是实验科学，所以不得不用归纳的方法。而且由于在这种场合下，其目的是探索神经系统的信息处理功能，故象以往那样仅以物质和能量有关的科学（材料科学 material science）作为基础是不够的，还需要有关信息的科学。而另一方面因为有关信息的科学（信息科学 information science）主要是在工程上得到了发展，所以如果想要利用信息科学的概念（信息单位，反馈概念）或者方法（数学方法，电子计算机的应用等），凭借工程技术人员的力量显然是一条捷径，鉴于上述原因，就愈来愈要求研究工程的人给以协作。这样的话，根据工程技术人员提供的一个神经系统的模型和分析结果，就能从理论方面对于神经生理学这样的实验科学给以帮助。目前，这种协作还不能说是很充分，人们热切期待着这两个方面在今后加强相互了解、相互协作，从而出现良好的研究形势。

用生物功能综合的观点来看，研究的第一步是利用与生物信息有关的生物科学的成果，模拟生物的特性来研制与生物有相同功能的机器。可是无论组织学也好还是生理学也好，提供的很多数据，毕竟是一些局部的，对看透整体结构还不是很充分的，因此工程技术人员在尊重上述局部数据的同时，还必须建立具有整体功能的模型。这个模型无论是在理论上还是在实验上必须能解释其性质（或能进行测量）。对这个模型的特性再逐步加以修正，力求使之适合所要求的整体功能，使之与生物体更加接近。若从生物体方面只能得到局部数据时，则可将心理学上的宏观数据当作目标来进行。这时可以说成了这样一种关系，心理学的数据提供了模型的“规范”，而生理学的数据则提供模型的“素材”。

如果我们以感觉系统为例，根据知觉心理学来测定人的感觉和知觉的性质，记述其现象，看出其内部现象的规律性。在这种场合目前还不涉及它内部的机理，因此在知觉心理学与神经生理学之间存在较大的距离。现在工程技术人员如若以知觉心理学数据作为规范，神经生理学数据作为素材而构成模型，那么这种模型虽然是以生物功能综合为目的，但从另一方面来说，也正是心理学与生理学之间联系的桥梁，而这正是我们所希望的。事实上生物工程人员中也已有人首先认识了这个桥梁的重要性并正在进行这方面的研究。有关这方面的内容拟在以后的章节中具体讨论。

1.3 生物信息工程与模拟技术

所谓生物的模拟（或仿真simulation）研究是指建立近似于生物功能的模型（model），并用该模型进行实验。模拟这种研究手段是科学技术研究的有效手段。这是因为对实

物进行实验不一定是很容易的，或者实际上是不可能的，或者即使可能，但存在时间太长、工作量太大或费用太多等困难。

总之，模拟研究的目的从某种意义上来说是在于分析问题，但有时模拟器本身也就是研究的目的。上节所述的生物功能综合的情况，就属于这一类。譬如手脚等效应器的控制系统的模型，很明显是与假手假腿的制作有联系的。

模拟的目的，可大致归纳为下列几个方面：

(1) 代替在生物体上不能实现的行为。当进行对生物体可能带来危险的实验或实际上需要相当长的实验时间时，均可通过模拟实验进行估计分析。

(2) 为了解释生物现象。生物体系统多半为各式各样的多重环节相互套迭而成，要想知其因果关系是很困难的。因此用模型代替对象，伴以种种假定进行模拟实验，从而解释各环节之间的关系。

(3) 作为诊断治疗系统设计的辅助手段。设计诊断和治疗系统时，可用模拟方法找到最佳手段。此外，可事先对所设计系统的性能和安全性等方面进行研究，这样在临床使用时就有备无患了。

(4) 为了教育训练之用。医学教育训练的实验，需要花费很多经费、劳力和时间，但若通过模拟实验，其花费则大为减少。而且生物现象通过抽象化模型的示范，对受教育训练者来说，可以对现象进行定量的了解。

模拟的具体方法，首先最有效的是使用电子计算机，即所谓计算机模拟 (computer simulation)。这种方法不仅在节省研究时间、工作量和费用等方面效果显著，而且还可解决在数学公式中很多不能处理的问题 (例如非线性)。特别

是生物信息处理机构的基本单元——神经元，它是非线性元件，因而神经网络用数学式子处理是比较困难的。

如果将计算机模拟看成为软模型 (*Soft model*) 的话，那么还有一种硬模型 (*hard model*) 有时也很有用。譬如制作模仿神经元生理作用的电子线路，并将其组合成神经网络的作法就是这种情况。硬模型好在能将原始的输入输出关系直接进行观测，甚至还能对最后想构成的机器在设计上的问题（例如元件参数误差的影响）进行检查。在某种意义上可以说生物信息技术就是实际生物的模拟技术。无论模拟的目的是生物分析也好或是生物综合也好，其主要的方法是这样的：一方面首先假设问题（例如视觉系统的模式识别功能），然后汇总直接观测生物体所得的生理学或心理学数据；另一方面就是构成视觉系统的信息处理的功能模型。该模型可以有各式各样的级别，可不加任何限制。如果是视觉系统的神经回路，则其构成模型的单元就是神经元，如若更是宏观的东西，则可用方框图构成，然后确定各方框的传递函数。总之生物体本身是极其复杂的，所以对它的全部进行模拟既不可能也没必要。因此为了解决给定的问题，仅需要将认为有用的部分抽取出来。关于神经元模型也正如后面章节将要论述的那样，可以抽象化为各种级别的形式。接下来在模型构成之后它应该能以某种方法进行分析，必需能清楚地描述它的性质。如果了解了这种性质，再与生物体本身的数据进行对照，便可定性或定量地求出其误差来。然后对模型进行修正使误差更小，即逐步使之收敛。这样完成的模型才能在某种意义上称为生物体的近似模型。这就是说在生物分析时是应该考虑这个循环过程的。而另一方面在生物综合或仿生学的工程应用方面却不是这样一个过程，这是因为在工程