



21世纪电气信息学科立体化系列教材

数字图像处理与移动机器人路径规划

● 谭建豪 章 兢 王孟君
陈一平 胡章谋



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

013041444

TN911. 73-43
29

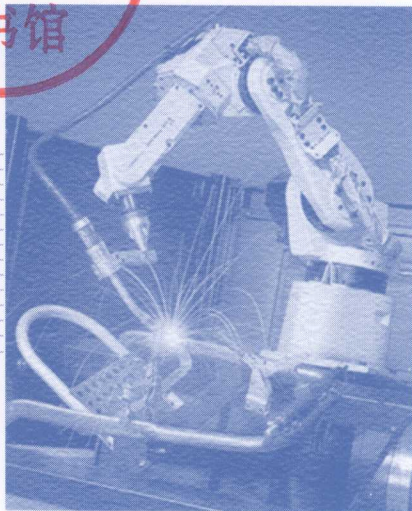


21世纪电气信息学科立体化系列教材

数字图像处理与移动机器人路径规划



谭建豪 章 兢 王孟君
陈一平 胡章谋



北航

C1649923

TN911.73-43

29



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书系统介绍了自然计算及数字图像处理的基本原理、基本方法和基本技术及最新进展,并叙述了自然计算在数字图像处理中的应用情况。

本书阐述了自然计算与数字图像处理的关系,深入而系统地讨论了数字图像处理的几个重要研究分支:图像增强、平滑与锐化,图像分割与边缘检测,图像复原,图像特征与理解,图像空间变换,图像频域变换,形态学图像处理,聚类算法在图像分割中的应用,遗传算法在医学图像配准中的应用,基于小波变换的数字水印的实现,移动机器人地图创建与路径规划等。在此基础上,本书介绍了将自然计算综合应用于数字图像处理的、一些富有挑战性的研究课题及相应研究成果。

本书可作为高等院校自动化、电子信息、测控技术与仪表、电气工程、系统工程、机电工程等专业的本科生和研究生教材,也可作为相关专业工程技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与移动机器人路径规划/谭建豪 章兢 王孟君 陈一平 胡章谋 主编.
—武汉:华中科技大学出版社,2013.4
ISBN 978-7-5609-8709-5

I. 数… II. ①谭… ②章… ③王… ④陈… ⑤胡… III. ①数字图像处理-高等学校-教材
②机器人-高等学校-教材 IV. ①TN911.73 ②TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 030460 号

数字图像处理与移动机器人路径规划 谭建豪 章兢 王孟君 陈一平 胡章谋 主编

策划编辑:王红梅

责任编辑:朱建丽

封面设计:秦 茹

责任校对:朱 霞

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉佳年华科技有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:23.5 插页:2

字 数:473千字

版 次:2013年4月第1版第1次印刷

定 价:46.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



21世纪电气信息学科立体化系列教材

编审委员会

顾问：

潘 垣（中国工程院院士，华中科技大学）

主任：

吴麟章（湖北工业大学）

委员：（按姓氏笔画排列）

王 斌（三峡大学电气信息学院）

余厚全（长江大学电子信息学院）

陈铁军（郑州大学电气工程学院）

吴怀宇（武汉科技大学信息科学与工程学院）

陈少平（中南民族大学电子信息工程学院）

罗忠文（中国地质大学信息工程学院）

周清雷（郑州大学信息工程学院）

谈宏华（武汉工程大学电气信息学院）

钱同惠（江汉大学物理与信息工程学院）

普杰信（河南科技大学电子信息工程学院）

廖家平（湖北工业大学电气与电子工程学院）

前言

目前数字图像处理科学已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理、化学、生物学、医学甚至社会科学等各学科学习和研究的对象。随着信息高速公路、数字地球概念的提出及 Internet 的广泛应用,图像处理技术的需求与日俱增。其中,图像信息以其信息量大、传输速度快、作用距离远等一系列优点使其成为人类获取信息的重要来源及利用信息的重要手段。因此,图像处理科学与技术逐步向其他学科领域渗透并为其他学科所利用是必然的。图像处理科学又是一门与国计民生紧密相连的应用科学,它已给人类带来了巨大的经济效益和社会效益,不久的将来它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上亦是科学研究、社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力工具。它的发展及应用与我国的现代化建设联系之密切、影响之深远是不可估量的。在信息社会中,图像处理科学无论是在理论上还是实践上都存在着巨大的潜力。

多年来,随处可见关于数字图像处理与人工智能的书籍,但是却鲜见关于数字图像处理与自然计算的书籍。自然计算是指以自然界,特别是以生物体的功能、特点和作用机理为基础,研究其中所蕴含的、丰富的信息处理机制,抽取相应的计算模型,通常是一类具有自组织、自适应、自学习能力的计算和设计方法,能够解决传统计算方法难以解决的、包括数字图像处理在内的各种复杂问题。自然计算包含进化计算、神经计算、生物分子计算、免疫计算、内分泌计算、生态计算、量子计算和复杂自适应系统(如社会网络、经济系统、蚁群系统、蜂群系统、物理系统、化学系统)等。本书正是为了满足读者系统了解自然计算及其在数字图像处理中的应用这一需求而编写的,该书的出版对提高我国自然计算和数字图像处理的研究及应用水平具有重要的参考价值。

目前,许多学校正在对传统的教学内容进行改革,自动化、电子信息、测控技术与仪表、电气工程、系统工程、机电工程等专业迫切需要较多与数字图像处理相关的知识。由于这些专业的学生在本科阶段已较为扎实地掌握了数字图像处理的知识,在研究生阶段的着力点已转入自然计算理论与技术的综合应用。如何将自然计算理论与技术综合应用于解决数字图像处理问题,是本书着力研讨的方向。

作为一门专业基础课,“数字图像处理”以人工智能和信号处理课程为先修课。本书是为电气信息类相关专业编写的。本书编写的指导思想是:既要学时少,又要让学生对自然计算、数字图像处理及自然计算在数字图像处理中的应用建立较全面的印

象,同时还应该使学生学有所用,并为今后的发展打下基础。编者力求使本书避免与先修课程内容的重复,对本书必不可少的相关知识只做简单介绍。

全书分为两篇,上篇为基础理论篇,下篇为综合应用篇。上篇共分9章,包括自然计算,数字图像处理概论,图像增强、平滑与锐化,图像分割与边缘检测,图像复原,图像特征与理解,图像空间变换,图像频域变换,形态学图像处理;下篇共分4章,包括聚类算法在图像分割中的应用,遗传算法在医学图像配准中的应用,基于小波变换的数字水印的实现,移动机器人地图创建与路径规划。

编者从事电气信息类教学与科研10多年,积累了丰富的教学经验和可供参考的科研成果,这对本书的成功编写无疑起到关键作用。本书叙述明了、层次分明、通俗易懂。从基本概念出发,本书既突出实用性又不失理论性,力求做到理论分析计算与应用技术并重。为方便读者理解、消化书中知识,本书每章章末都对该章内容进行了总结并给出习题。本教材配有多媒体课件,可供读者在教学和学习时使用。

本书可作为高等院校自动化、电子信息、测控技术与仪表、电气工程、系统工程、机电工程等专业的本科生和研究生教材,也可作为相关专业工程技术人员的自学参考书。

全书由湖南大学谭建豪教授统稿,湖南大学章兢教授、中南大学王孟君教授、中南大学陈一平副教授、湖南省科技厅胡章谋副处长参与了本书的编写。

在编写过程中,得到了鲁蓉蓉老师的鼎力支持,研究生王贵山、李晓光、郭芙、赵削剑、宋彩霞、王燕燕、何志的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者指正。

编者

2012年10月

目 录

第一篇 基础理论篇

1 自然计算	(1)
1.1 自然计算产生背景.....	(1)
1.2 自然计算相关概念.....	(5)
1.3 自然计算基本特征.....	(8)
1.4 自然计算算法原理.....	(13)
1.5 协同进化计算的自然计算理念求证.....	(15)
1.6 自然计算研究的整体框架.....	(21)
1.7 小结.....	(22)
习题 1.....	(22)
2 数字图像处理概论	(23)
2.1 数字图像处理及其特点.....	(23)
2.2 数字图像处理的目的和主要内容.....	(25)
2.3 图像工程与相关学科.....	(28)
2.4 数字图像处理系统.....	(29)
2.5 数字图像处理的应用.....	(36)
2.6 数字图像处理的发展动向.....	(37)
2.7 数字化技术.....	(38)
2.8 图像类型.....	(43)
2.9 图像文件格式.....	(46)
2.10 色度学基础与颜色模型.....	(52)
2.11 小结.....	(56)
习题 2.....	(56)
3 图像增强、平滑与锐化	(57)
3.1 直方图.....	(57)
3.2 灰度变换.....	(64)
3.3 图像噪声.....	(66)
3.4 去除噪声.....	(67)
3.5 图像锐化.....	(77)

3.6	图像的伪彩色处理	(83)
3.7	小结	(85)
	习题3	(85)
4	图像分割与边缘检测	(87)
4.1	图像分割	(87)
4.2	边缘检测	(91)
4.3	轮廓跟踪与提取	(94)
4.4	图像匹配	(95)
4.5	投影法与差影法	(102)
4.6	小结	(106)
	习题4	(106)
5	图像复原	(107)
5.1	图像退化与复原	(107)
5.2	非约束复原	(112)
5.3	最小二乘约束复原	(114)
5.4	非线性复原	(118)
5.5	其他图像复原技术	(120)
5.6	小结	(122)
	习题5	(123)
6	图像特征与理解	(124)
6.1	几何特征	(124)
6.2	形状特征	(128)
6.3	纹理分析	(134)
6.4	中轴变换与骨架提取	(140)
6.5	曲线与表面的拟合	(142)
6.6	其他特征或描述	(144)
6.7	小结	(147)
	习题6	(147)
7	图像空间变换	(148)
7.1	空间变换基础	(148)
7.2	图像比例缩放	(151)
7.3	图像平移	(156)
7.4	图像镜像	(158)
7.5	图像旋转	(161)

7.6	图像复合变换	(166)
7.7	透视变换	(171)
7.8	其他变换	(172)
7.9	小结	(173)
	习题 7	(173)
8	图像频域变换	(175)
8.1	频域世界与频域变换	(175)
8.2	傅里叶变换	(176)
8.3	频域变换的一般表达式	(184)
8.4	离散余弦变换	(186)
8.5	离散沃尔什-哈达玛变换	(189)
8.6	小波变换	(193)
8.7	小结	(200)
	习题 8	(200)
9	形态学图像处理	(202)
9.1	引言	(202)
9.2	二值形态学	(205)
9.3	灰值形态学	(217)
9.4	形态学的应用	(221)
9.5	小结	(225)
	习题 9	(225)

第二篇 综合应用篇

10	聚类算法在图像分割中的应用	(227)
10.1	聚类分析及综述	(227)
10.2	网格的划分及其边界点的处理	(244)
10.3	基于网格和信息熵的多密度聚类算法	(252)
10.4	基于网格的聚类算法在图像分割中的应用	(258)
10.5	小结	(263)
	习题 10	(263)
11	遗传算法在医学图像配准中的应用	(265)
11.1	医学图像配准研究背景	(265)
11.2	医学图像配准技术综述	(267)
11.3	基于互信息的医学图像配准	(275)

11.4	互信息局部极值的成因及抑制方法	(284)
11.5	互信息最优化搜索算法	(296)
11.6	小结	(303)
	习题 11	(304)
12	基于小波变换的数字水印的实现	(305)
12.1	数字水印的理论基础	(305)
12.2	图像置乱的思想	(312)
12.3	基于离散余弦变换域的数字水印实现	(314)
12.4	基于离散小波变换域的数字水印实现	(317)
12.5	小结	(325)
	习题 12	(325)
13	移动机器人地图创建与路径规划	(326)
13.1	地图创建与路径规划研究状况	(326)
13.2	移动机器人运动学分析与传感器模型研究	(331)
13.3	基于扩展卡尔曼算法地图的创建与定位	(339)
13.4	基于多传感器信息融合的路径规划	(347)
13.5	路径规划算法在移动机器人系统中的应用	(357)
13.6	小结	(363)
	习题 13	(363)
	参考文献	(365)

附录 2

(369)	附录 2 参考文献	(369)
(370)	附录 2 参考文献	(370)
(371)	附录 2 参考文献	(371)
(372)	附录 2 参考文献	(372)
(373)	附录 2 参考文献	(373)
(374)	附录 2 参考文献	(374)
(375)	附录 2 参考文献	(375)
(376)	附录 2 参考文献	(376)
(377)	附录 2 参考文献	(377)
(378)	附录 2 参考文献	(378)
(379)	附录 2 参考文献	(379)
(380)	附录 2 参考文献	(380)
(381)	附录 2 参考文献	(381)
(382)	附录 2 参考文献	(382)
(383)	附录 2 参考文献	(383)
(384)	附录 2 参考文献	(384)
(385)	附录 2 参考文献	(385)
(386)	附录 2 参考文献	(386)
(387)	附录 2 参考文献	(387)
(388)	附录 2 参考文献	(388)
(389)	附录 2 参考文献	(389)
(390)	附录 2 参考文献	(390)
(391)	附录 2 参考文献	(391)
(392)	附录 2 参考文献	(392)
(393)	附录 2 参考文献	(393)
(394)	附录 2 参考文献	(394)
(395)	附录 2 参考文献	(395)
(396)	附录 2 参考文献	(396)
(397)	附录 2 参考文献	(397)
(398)	附录 2 参考文献	(398)
(399)	附录 2 参考文献	(399)
(400)	附录 2 参考文献	(400)

自然计算

1.1 自然计算产生背景

自然界经过亿万年物竞天择、优胜劣汰的演化,形成了复杂多样的生命现象,其间蕴含着丰富的信息处理机制。研究自然现象尤其是生命体的功能、特点和作用机理,建立相应的计算模型,服务于人类社会,是自然计算的宗旨。自然计算的研究有利于揭示生命现象,增进人们对自然的认识。与此同时,来源于自然的计算模型也能更好地服务于人类的生产实践活动。从学科角度看,自然计算是各类相关自然科学(特别是物理学、生命科学等)和计算机科学相交叉而产生的研究领域。该领域与人工智能的研究领域有一定的交叉性,由自然计算的基本概念可知,该研究必将更关注各相关计算模型及算法模式中自然模拟的本质,关注其师法自然、改造自然的理念,关注其与自然界各层次物理特征和生命特征相关的作用机理,为各类具体的算法模式和计算模型设计提供指导,并在各相关领域加以应用。

自然计算通常是指一类具有自组织、自适应、自学习能力的计算和设计方法,它能够解决传统计算方法难以解决的各种复杂问题。自然计算包含进化计算、神经计算、生物分子计算、免疫计算、内分泌计算、生态计算、量子计算和复杂自适应系统(如社会网络、经济系统、蚁群系统、蜂群系统、物理系统、化学系统)等。自然计算的应用领域包括复杂优化问题求解、智能控制、模式识别、网络计算与安全、硬件设计、社会经济、生态环境等方面。

1.1.1 生物系统

生物系统可看成是一个分布式自治系统,且能够提供给科学和工程领域各种富有成效的技术与方法。由生物引发的信息处理系统可分为神经系统→人工神经网络(ANN)、遗传系统→进化计算(EC)、免疫系统→人工免疫系统(AIS)和内分泌系统→

人工内分泌系统(AES)四种类型。其中,ANN和EC已被广泛应用于各个领域,而AIS由于其复杂性没有引起与ANN和EC等计算领域同等的重视,直到近十几年才引起国内外研究人员的兴趣。而AES的研究成果更少,目前还少有关于AES的工程应用研究。

1. 生物神经系统

神经生理学和神经解剖学的研究表明,在人类胚胎的形成过程中,神经细胞或神经元从管状结构发展成为中枢神经系统,其中包含脑和脊髓两大部分。脊髓向脑传入或从脑中传出神经冲动并完成反射活动的调节。一个神经元由细胞体、树突、轴突和轴突末梢组成。树突和轴突分别负责为脑细胞传入和传出信息。人脑是由大量神经元交织在一起的网状结构,能完成智能、思维等高级精神活动。神经系统是机体主要的机能调节系统,它直接或间接地调节机体内各器官、系统的机能来适应内外环境的变化,维持生命活动的正常运行。因此,无论是脑科学还是人工智能都促使人们对人脑的模拟,从而导致了ANN的研究。

2. 生物免疫系统

免疫系统是生物,特别是脊椎动物所具有且必备的防御机制。人的免疫系统最为复杂,它由具有免疫功能的器官、组织、细胞、免疫效应分子及有关的基因等组成,可以保护机体抵御病原体、有害的异物及癌细胞等致病因子的侵害。免疫系统的主要功能是免疫防御、免疫稳定和免疫监视。免疫系统基本元素包括巨噬细胞、淋巴细胞及其抗体、抗体识别特定抗原体。生物系统具有大量发达的抗体系统,能够适应不断变化的环境。

免疫系统分为固有免疫系统和自适应免疫系统两个主要部分。固有免疫系统是抵抗抗原感染的第一道防线,抗原多数在这里被阻止。如果固有免疫系统被攻破,则自适应免疫系统针对特定感染病原体开始发挥作用。自适应免疫系统能够记住入侵的抗原特征,预防下一次袭击。适应性免疫调节有体液免疫(由B细胞及其产物介导)、细胞免疫(由T细胞介导)两个分支。这两个分支在防御时都遵循类似的步骤——扩赠、活化、感应、分化、分泌、袭击、抑制、记忆,但它们以不同方式完成任务。

自然免疫系统是一个复杂的自适应系统,可保护人体不受外部病原体侵害,并把体内所有的细胞和分子分成或属于自己的种类、或属于外部来源的非己分子种类。免疫系统不依靠任何中心控制,具有分布式任务处理能力,具有在局部采取行动的智能,也通过起交流作用的化学信息构成网络,进而形成全局观念。生物免疫系统多种多样,具有独特性。在人类中,一个人与另一个人的免疫系统除了本质构成一样外,在形态、功能方面千差万别。

3. 生物内分泌系统

内分泌系统是生理信息传递系统,它通过激素调节机体的生理功能,维持内环境

的相对稳定。内分泌细胞将其产生的激素随血液和细胞间液传送到机体的各个部位,对所作用的靶细胞的生理活动起着兴奋或抑制作用。激素的主要生理作用是调节蛋白质、水、盐等物质的代谢,维持机体的内稳态;影响细胞的分裂与分化;使机体正常生长、发育、成熟与衰老,促进或抑制神经系统的发育和活动,与学习记忆及各种行为密切相关。内分泌系统的主要特征如下。

(1) 激素——受体特异性:激素随体液分布到全身各组织、器官,但每种激素只能作用于各自特定的靶细胞。

(2) 信号放大系统:激素与细胞结合后,促进细胞内一系列的酶促反应,信号可逐级放大,形成一个高级效能的生物信号放大系统。这就保证了很少的激素分子产生很大的生理变化。

(3) 反馈调节:机体内环境的变化通过感受器官影响机体的生理功能,直接或间接作用于内分泌腺,引起激素的释放,从而使相应的组织、器官产生适应的生理反应。而机体的生理反应和后续激素的释放,又都会反馈调节前级内分泌细胞的活动,以调节激素的释放量。

(4) 多样化效应:大多数激素对其靶细胞具有多种作用。

(5) 激素的协同与拮抗:激素与激素间往往对某一效应有协同与拮抗的作用。

4. 神经内分泌免疫系统的整体作用

神经系统、内分泌系统和免疫系统虽然各自具有不同的功能,但在维持机体内环境稳定方面具有相似活动规律及调节方式,它们相互作用形成一个紧密联系的复杂网络。神经系统能够通过其分泌的神经递质来影响内分泌系统和免疫系统的活性;内分泌系统能够通过多种激素,如生长激素、肾上腺激素等,来刺激或抑制神经系统和内分泌系统的功能;同样,神经系统、内分泌系统和免疫系统三者之间通过细胞因子、激素和受体进行双向信息传递和相互作用,使人体内部的各种生理指标处于一种稳定状态。细胞因子是由神经系统、免疫系统、内分泌系统等具有的化学信息多肽物质,不同的细胞因子在体内构成纵横交错的复杂因子网络。免疫系统、内分泌系统和神经系统内部都有着极其严密和精细的调节。免疫系统作为中枢神经系统的感觉器官,感知体内环境的化学性和生物性动态变化,神经系统、内分泌系统对此进行精确的调控,保障内环境稳定。神经系统感受外界各种物理刺激,协调内分泌系统和免疫系统共同做出应激反应。

神经系统、内分泌系统能调控免疫系统,免疫系统也能调控神经系统、内分泌系统,三者形成完整的调节网络,如图 1-1 所示。该网络对免疫调节,维持宿主防御功能和内环境相对稳定具有重要意义。

神经系统、内分泌系统同免疫系统之间有着密切的双向调节联系,形成神经-内分泌免疫网络。神经系统处于整个控制网络的最高层,内分泌系统和免疫系统接受神经

系统的协调控制。当机体受到外来抗原的侵袭时,免疫系统不仅通过免疫应答来清除它们,而且通过与神经-内分泌系统的相互作用,引起神经-内分泌系统的功能改变,从而对整个机体进行调节,适应外来抗原引起的应激反应,进而维持机体的稳定性。下丘脑和神经垂体是神经-内分泌系统对免疫系统调节的最上层机构(或称为决策层),它可以直接或间接地对免疫系统发生作用,如图 1-2 所示。直接产生影响的激素就是垂体自身分泌的激素,如生长激素、催乳素等,间接发生作用的是促分泌激素,如促肾上腺激素、促性激素等,再通过腺体分泌激素对免疫系统进行调节。

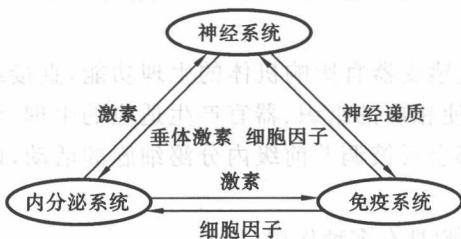


图 1-1 神经系统、内分泌系统和免疫系统相互作用

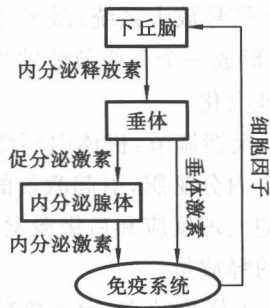


图 1-2 神经内分泌免疫系统整体作用

1.1.2 生态系统

任何一个生态系统都是由生物系统和环境系统共同组成的。生物系统由生产者、消费者和分解者(还原者)组成。组成生态系统的成分通过能流、物流和信息流彼此联系起来,形成一个功能体系生态系统。我们可以形象地把生态系统比喻为一部机器,机器是由许多零件组成的,这些零件依靠能量传递连接成一部完整的、具有一定功能的机器。在自然界中,只要在一定空间内存在生物和非生物两种成分,并能相互作用达到某种功能上的稳定性,哪怕是短暂的,这个整体就可以视为一个生态系统。

不论是自然的还是人工的生态系统,都具有下面一些共同特性。

(1) 生态系统是生态学上的一个主要结构和功能单位,属于生态学研究的最高层次(生态学研究的四个层次由高至低依次为个体、种群、群落和生态系统)。

(2) 生态系统内部具有自我调节能力。生态系统的结构越复杂,物种数目越多,自我调节能力就越强。但生态系统的自我调节能力是有限度的,超过了这个限度,调节也就失去了作用。

(3) 能量流动、物质循环和信息传递是生态系统的三大功能。能量流动是单方向的,物质流动是循环式的,信息传递则包括营养信息、化学信息、物理信息和行为信息,这构成了信息网。

(4) 生态系统中营养级的数目受限于生产者所固定的最大能量和这些能量在流动过程中的巨大损失,因此生态系统营养级的数目通常不会超过 6 个。

(5) 生态系统是一个动态系统,要经历一个从简单到复杂、从不成熟到成熟的发育过程,其早期发育阶段到晚期发育阶段具有不同的特性。

生物系统中的不同形式、不同状态的能量是可以存储和相互转化的,而生态系统中的能量流动,是借助于食物链和食物网来实现的。因此食物链和食物网是生态系统中能量流动的渠道。

1.2 自然计算相关概念

1.2.1 基本概念

自然计算(Natural Computation, NC)是指以自然界(包括人类社会),特别是以生物体的功能、特点和作用机理,个体与群体的相互作用机理、生物体与环境相互作用机理为基础,研究其中蕴含丰富的信息处理机制,抽取相应的计算模型、架构、方法,并应用于各个领域的理论。

较之进化计算,自然计算含义更广。进化计算着重于生物的进化过程。然而,科学家注意到许多非进化系统的原理和思想也是非常有用的,例如,蚁群系统和进化系统毫无关系,可是相互结合后,在工程应用方面取得了令人瞩目的成功。此外,除了生物、生态系统外,许多经济学、社会学、物理模型、化学模型都可以抽取成为计算方法。从学科发展的角度来看,自然计算的研究是各类自然科学(特别是生命科学)和计算机科学相交叉而产生的研究领域,它的发展完全顺应当前多交叉学科不断产生和发展的潮流。

1.2.2 主要研究领域

1. 生物信息系统

自古以来,人们对生物界有着浓厚的兴趣,并不断地从生物系统的结构功能及其调节机制中获得灵感。从 20 世纪中叶开始,研究热点也正是围绕着生物系统尤其是人类自身功能及结构的模仿。在生物世界中,大规模系统都是由分散、自治的个体组成的,个体的行为和生存不依赖于某个中心个体。然而,这些大规模的系统已形成的许多机理使它能够通过调整自己,适应外界条件的变化,并在环境中生存。对生物世界中大规模系统的研究能带给工程领域很多富有成效的智能技术和方法。

生物科学研究的不断发展,导致不断衍生和分化出新的学科。由生物引发的信息处理系统可分为脑神经系统、遗传系统、免疫系统和内分泌系统。其中,基于脑神经系

统的自适应、自组织、分布式信息处理等特点,人们提出了 ANN;基于遗传系统的遗传和进化机制,人们提出了遗传算法(GA);基于免疫系统的免疫识别、免疫调节等机制,人们构建了许多体现免疫特点的人工免疫系统;基于内分泌系统的信息处理机制,人工内分泌系统的研究刚刚起步。并且,现有的仿生模型仅关注神经系统、免疫系统和遗传系统的某一方面,而很少关注人体中神经系统、内分泌系统和免疫系统之间的相互作用。在生物学学术界,围绕神经系统、内分泌系统、免疫系统间的相互作用,即神经内分泌免疫网络,自 20 世纪 70 年代就开始得到有关学者的关注,并开展了系统的研究。神经系统、内分泌系统和免疫系统之间形成的人体网络为人类认识复杂而精密的生物整体调控奠定了基础,并为疾病的预防诊断和治疗开辟了新的途径。神经内分泌免疫网络是一个具有深度负反馈、高度稳定而复杂的大系统,具有特有的自适应性和稳定性。

1) ANN

ANN 是由大量人工神经元广泛互联而成的网络,它是在现代神经生物学和认知科学对人类信息处理研究的基础上提出来的。总结起来,ANN 具有以下基本特性。

(1) 分布存储和容错性。信息在 ANN 内的存储是按内容分布于许多神经元中进行的,而且每个神经元存储多种信息的部分内容。网络的每部分对信息的存储具有等势作用,这类似于全息图的信息存储性质,部分的信息丢失仍可以使完整的信息得到恢复,因而 ANN 具有容错性和联想记忆功能。

(2) 可塑性与自适应性和自组织性。神经元之间的连接具有多样性,各神经元之间的连接强度具有可塑性,相当于突触传递信息能力的变化。这使得网络可以通过学习与训练进行自组织,以适应不同信息处理的要求。

(3) 并行处理性。网络各单元可以同时进行类似的处理过程,整个网络的信息处理方式是大规模并行的。

(4) 层次性。信息在大脑内的传递过程,实际上是在不同层次的神经回路中逐级地进行加工和处理的过程。

随着 ANN 应用研究的不断深入,新的 ANN 模型也不断地推出,常用的有自适应共振理论模型(ART)、反向传播模型(BP)、双向联想存储器(BAM)、Boltzmann 机、Hopfield 模型、重复传播模型、自组织特征映射模型等。ANN 主要通过两种学习算法进行训练,即指导式(有监督)学习算法和非指导式(无监督)学习算法。此外,还有一种增强学习算法。其中,比较常用的有反向传播学习算法、自适应变步长快速学习算法、二阶快速学习算法、轨迹学习算法、动态规划学习算法、模拟退火学习算法及多层网络的竞争学习算法等。

2) EC

EC 以进化原理为仿真依据,模仿自然遗传进化的过程,通常包括选择、重组或交

叉、变异、迁移、并行实现等基本算子,也称为进化算法(EA)。它是信息科学、人工智能与计算机科学的热点研究领域,主要有遗传算法、进化规划(Evolutionary Programming, EP)、进化策略(Evolutionary Strategy, ES)和遗传编程(Genetic Programming, GP)四大流派。目前,EC已广泛应用于机器学习、模糊系统、数据挖掘、多目标规划等优化问题的求解中。

3) 免疫系统

自然免疫系统是一个复杂的自适应系统,可保护人体不受外部病原体侵害,并把体内所有的细胞和分子或属于自己的种类,或属于外部来源的非己种类。免疫系统不依靠任何中心控制,具有分布式任务处理能力,具有在局部采取行动的智能,也通过起交流作用的化学信息构成网络,进而形成全局观念。生物免疫系统多种多样,具有独特性。随着免疫学的发展,人们对免疫系统的功能特性和生理机制有了更深入的了解。免疫系统为信息处理领域提供了一些重要的计算能力。

(1) 免疫识别。免疫识别是免疫系统的主要功能,识别的本质是区分“自己”和“非己”。免疫识别是通过与淋巴细胞上抗原的结合实现的,结合的强度称为亲和度。未成熟的T细胞首先要经历一个审查环节。只有那些不能与“自己”(机体本身组织)发生应答的T细胞才可以离开胸腺,执行免疫应答任务,从而防止免疫细胞对机体造成错误攻击,该过程称为阴性选择。

(2) 免疫学习。免疫识别过程也是一个学习的过程,学习的结果使免疫细胞的个体亲和度提高、群体规模扩大,并且最优个体以免疫记忆的形式得到保存。

(3) 免疫记忆。当免疫系统初次遇到一种抗原时,淋巴细胞需要一定的时间进行调整以便更好地识别抗原,并在识别结束后以最优抗体的形式保留对该抗原的记忆信息。而当免疫系统再次遇到相同或结构相似的抗原时,在联想记忆作用下,其应答速度大大提高。免疫记忆对应于再次免疫应答和交叉免疫应答,而交叉免疫应答是免疫系统对结构相似的抗原所产生的免疫应答。

(4) 克隆选择和阈值机理。免疫应答和免疫细胞增殖在一个特定匹配阈值之上发生。在淋巴细胞实现对抗原的识别(抗体-抗原的亲和度超过一定阈值)后,B细胞被激活并增殖复制产生B细胞克隆,随后克隆细胞经历变异过程,产生对抗原具有特异性的抗体。克隆选择理论描述了获得性免疫的基本特性,并且声明只有成功识别抗原的免疫细胞才得以增殖。经历变异后的免疫细胞分化为效应细胞(抗体)和记忆细胞两种。

2. 生态计算

生态计算(Ecology Computation, EX)对自然界生态系统进行模型化描述,用各种计算模型模拟生态系统并服务于实际应用。基于人工生态系统的研究是一个方兴未艾的课题,目前这方面的研究已经涉及智能信息获取、机器人控制等领域。