

行为识别

与智能计算

林强 田双亮 编著 ◆



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

行为识别与智能计算

林 强 田双亮 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书介绍基于智能计算技术的人体行为识别及应用,由活动识别与行为理解的主流技术和基于行为模式的主要应用两大部分构成。全书包括8章,其中第1章是全书内容的概述,第2~4章介绍面向活动识别与行为理解的几类主流技术,第5~8章介绍基于行为模型的几个典型应用及其原型系统。

本书内容是模式识别、数据挖掘、机器学习、普适计算等研究主题在人体活动识别应用领域的综合体现,适合于高年级本科生、研究生和其他科研工作者了解技术进步及提取研究主题之用。

图书在版编目(CIP)数据

行为识别与智能计算/林强,田双亮编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.11

ISBN 978-7-5606-4313-7

I. ①行… II. ①林… ②田… III. ①智能计算机 IV. ①TP387

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第253489号

策 划 刘统军

责任编辑 王 静

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2016年11月第1版 2016年11月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 12.5

字 数 292千字

印 数 1~1000册

定 价 26.00元

ISBN 978-7-5606-4313-7/TP

XDUP 4605001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

人体行为识别是应用不同模态传感器感知人体及其周围环境信息，并基于感知信息识别活动、理解行为和推理意图的研究主题，是现代信息通信技术长足发展的产物，涉及机器学习、普适计算、模式识别、心理学及社会学等诸多研究领域，在安全监测、场景识别、智能辅助、人机交互等领域有着广泛的应用价值。

本书介绍基于智能计算技术的人体行为识别及应用，全书内容主要包括两大部分：第一部分(第2~4章)介绍活动识别与行为理解的主流技术；第二部分(第5~7章)描述与行为模式相关的主要应用。其中，第一部分以人体行为的不同感知技术为依据，将现有的行为识别研究划分为行为识别的视觉技术、行为识别的可穿戴技术和行为识别的非穿戴技术等三类，且就每一类主题介绍其数据获取、预处理及模型构建等内容。第二部分从人口老龄化这一时代背景出发，选取老年人独立生活面临的健康及生活辅助需求问题，提出并研究了基于行为模式的老年人智能辅助技术，包括迷路行为建模与实时检测、基于轨迹跟踪的徘徊行为在线检测以及睡眠行为渐进性改变识别。全书共8章，各章主要内容如下：

第1章介绍人体行为的时空特性及层次结构，概述智能计算及其主流计算方法，并介绍智能行为识别方法的分类及典型方法。

第2章介绍基于视觉技术的人体行为识别，包括运动人体的检测、动作特征的提取及识别方法等内容。

第3章介绍行为识别的可穿戴技术，包括可穿戴计算概述，基于可穿戴技术的数据获取、数据分割、特征提取和行为识别方法。

第4章介绍行为识别的非穿戴技术，包括非穿戴识别技术概述，基于RSSI的识别技术、基于CSI的识别技术以及主要的行为识别方法。

第5章介绍迷路行为建模与检测技术，包括移动行为建模与迷路行为定义、基于GPS移动轨迹的迷路行为检测方法、迷路行为检测算法及实验验证与分析。

第6章介绍徘徊移动行为在线检测技术，包括徘徊行为定义及其时空模式和个性化安全区域构建、基于GPS轨迹的徘徊行为在线识别及实验验证与分析。

第7章介绍睡眠行为渐变的识别技术，包括睡眠活动的形式化表示、睡眠活动数据的预处理与分割、非常存符号段的定义与识别、变化级与变化趋势的评测及实验验证与分析。

第8章是简介前述应用(第5~7章)实现的智能支撑平台，包括健康物联服务平台概览及系统设计和原型实现。

本书主要由林强编写，田双亮完成了第1章部分内容的编校工作，全书由林强统稿。

本书的出版得到了西北民族大学科研创新团队计划“图论与智能计算”基金的资助。本

书也是国家自然科学基金项目(项目编号: 61562075)、甘肃省自然科学基金项目(项目编号: 1506RJZA269)及甘肃省高等学校科研项目(2015B-002)的阶段性研究成果。

由于编著者水平有限, 书中难免存在不足之处, 欢迎读者批评指正。

编著者

2016年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 行为的时空特性与层次结构	1
1.1.1 行为的时空属性	2
1.1.2 行为的层次结构	2
1.2 智能计算概述	3
1.2.1 智能与智能计算	4
1.2.2 智能计算主流方法	6
1.2.3 各方法之间的联系	12
1.3 行为识别方法概览	13
本章小结	14
参考文献	14
第 2 章 行为识别的视觉技术	15
2.1 运动人体检测	16
2.1.1 图形图像基础	17
2.1.2 静态图像分割	22
2.1.3 动态图像分割	30
2.1.4 人体动作数据库	36
2.2 动作特征提取	38
2.2.1 人体动作特征	38
2.2.2 特征提取方法	53
2.3 行为识别方法	55
2.3.1 基于模板的方法	55
2.3.2 基于概率统计的方法	61
2.3.3 基于语法的方法	66
2.3.4 基于深度图像的认识	67
本章小结	70
参考文献	70
第 3 章 行为识别的可穿戴技术	72
3.1 可穿戴计算简介	73
3.1.1 可穿戴计算的概念	73
3.1.2 可穿戴计算设备及其发展	73
3.1.3 可穿戴计算的关键技术	75
3.2 数据获取	76
3.2.1 行为状态感知	76
3.2.2 穿戴式行为感知系统架构	84

3.3	数据分割	87
3.3.1	传感器数据流及其分割方法	87
3.3.2	基于时间窗口的数据分割	88
3.3.3	基于传感器事件窗口的数据分割	92
3.3.4	数据特征分割技术	94
3.4	特征提取	94
3.4.1	特征提取方法	95
3.4.2	传感器数据特征	97
3.5	行为识别方法	100
3.5.1	面向单人复杂行为的识别方法	100
3.5.2	面向多人互动行为的识别方法	102
3.5.3	面向实时行为的识别方法	103
	本章小结	104
	参考文献	105
第4章	行为识别的非穿戴技术	106
4.1	非穿戴识别技术概述	106
4.1.1	超宽带雷达技术	107
4.1.2	物理接触技术	108
4.1.3	射频断层成像技术	109
4.1.4	RFID 技术	111
4.1.5	WLAN 技术	112
4.2	基于 RSSI 的识别技术	112
4.2.1	RSSI 信号的测量	112
4.2.2	从信号到位置的映射	113
4.2.3	RSSI 的不足	114
4.3	基于 CSI 的识别技术	115
4.3.1	CSI 中的多径特征	115
4.3.2	信道响应的计算	117
4.3.3	角度特征 AOA 的求解	118
4.4	行为识别方法	120
4.4.1	基于模型的检测与定位	120
4.4.2	基于指纹匹配的检测与定位	121
	本章小结	123
	参考文献	123
第5章	迷路行为建模与检测	125
5.1	移动行为建模与迷路行为定义	125
5.1.1	规则移动行为图模型的构建	125
5.1.2	迷路行为定义	128
5.2	基于 GPS 移动轨迹的检测方法	129
5.2.1	老年人迷路行为检测方法概览	129
5.2.2	GPS 轨迹数据预处理	130
5.2.3	基于迷路行为检测的辅助服务	134
5.3	迷路轨迹检测算法	134

5.3.1	预备知识及相关定义	134
5.3.2	迷路轨迹检测算法	136
5.3.3	迷路检测过程示例	138
5.4	迷路检测实验验证与分析	139
5.4.1	实验数据	139
5.4.2	实验设计	140
5.4.3	实验结果	140
5.4.4	相关问题与讨论	143
	本章小结	145
	参考文献	145
第 6 章	徘徊移动行为在线检测	147
6.1	徘徊行为定义及其时空模式	148
6.1.1	徘徊行为及其定义	148
6.1.2	徘徊行为时空模式	149
6.2	个性化安全区域构建	150
6.2.1	候选点提取	151
6.2.2	支撑点选择	152
6.2.3	个性化安全区域构建算法	153
6.3	基于 GPS 轨迹的徘徊行为在线识别	153
6.3.1	相关定义	154
6.3.2	GPS 数据预处理	156
6.3.3	徘徊轨迹检测算法	157
6.4	徘徊检测实验验证与分析	158
6.4.1	实验数据	158
6.4.2	实验设计	159
6.4.3	实验结果	159
6.4.4	问题与讨论	162
	本章小结	163
	参考文献	163
第 7 章	睡眠行为渐变的识别	164
7.1	睡眠行为的形式化表示	165
7.2	睡眠活动记录的分割	166
7.2.1	时间轴窗口化	166
7.2.2	活动实例的分段处理	166
7.2.3	实例段的符号化编码	167
7.3	非常存符号段的识别	168
7.3.1	非常存符号段挖掘算法	169
7.3.2	构建测试集的二叉树	170
7.3.3	基于二叉树结构的预判机制	171
7.4	变化级与变化趋势的评测	171
7.4.1	总体变化级别	172
7.4.2	整体变化趋势	172
7.5	渐变睡眠行为检测实验验证与分析	173

7.5.1 实验数据	173
7.5.2 实验设计	174
7.5.3 实验结果	175
7.5.4 问题与讨论	178
本章小结	179
参考文献	179
第 8 章 集成化智能辅助平台系统	180
8.1 健康物联服务平台概览	180
8.2 系统设计	181
8.2.1 智能服务系统的基本要求	181
8.2.2 系统架构	181
8.3 系统原型实现	184
8.3.1 睡眠活动感知系统	185
8.3.2 基于 GPS 的老年人户外移动监测系统	188
本章小结	192
参考文献	192

第1章 绪 论

微电子技术、网络技术及传感器技术的日益进步为人类活动(行为)状态的实时连续捕获与收集提供了前所未有的便利,这些源自不同类型、不同模态传感器的感知数据本质上是人的行为的真实记录。对这些行为数据进行分析,有助于全面深入理解人的行为模式及其变迁过程,甚至有可能发现未知的(或至少是未被事例证实的)行为模式,在安全监测、场景识别、智能辅助、人机交互等领域具有广泛的应用价值。

1.1 行为的时空特性与层次结构

在面向人体的感知应用研究中,感知对象人的可观测属性主要包括三大类:人的时空属性、人的行为属性和人的生理属性(见图 1.1)。

(1) 时空属性反映了人与其所在环境之间具有的时空关联关系。例如,人是否存在于某个房间、位于房间的什么位置、经过的位置序列是什么,等等。

(2) 行为属性描述了人的行为或活动的层次结构,反映的是人的行为的粒度划分。例如,由姿势组合形成动作、动作序列形成活动、活动的执行体现人的行为,等等。

(3) 生理属性指人这一生命有机体的各项生理指标,主要包括生命体征信号及其他健康参数等。



图 1.1 人类感知研究范畴下人的可观测属性

由图 1.1 可以看出,除人的生理属性外,时空属性和行为属性均与人的活动或行为密切相关,因此可将它们看做是人类活动在时空维度和层次结构角度的不同表征。

1.1.1 行为的时空属性

行为执行的过程本质上是人与其所在的周围环境或环境中物体的动态交互过程,这一过程能够被部署在生活或工作环境中的感知设备、附着在物体上的传感器或穿戴在身体上的感知单元实时捕获,最终形成带有时空信息的数字化行为记录。其中,空间信息标识该行为发生所在的空间物理位置或使用的物体,时间信息标识行为发生的起始时间及持续时间。根据图 1.1 所示的观点,表 1.1 给出了行为时空属性的五个构成部分,以及各属性的功能描述和感知/捕获方式。

表 1.1 行为的时空属性及其描述

属性	描述	感知/捕获方式
存在 (Presence)	时空属性的最小构成单元,用于说明空间中是否至少存在一个人	运动传感器、距离传感器、开关传感器、压力传感器及 RFID 等
数量 (Count)	行为存在属性在数量方面的递进描述,用于回答活动发生时环境中共有多少人	环境出入口处的热像仪、视频传感器等
位置 (Location)	行为存在属性的空间细化描述,用于说明执行活动的人在环境中的什么地方	室内摄像头或存在传感器队列, GPS 传感器或蜂窝通信基础设施
轨迹 (Track)	行为位置属性在时间维度上的延续,是该活动涉及的一组空间位置的序列	室内摄像头或存在传感器队列, GPS 传感器或蜂窝通信基础设施
身份 (Identify)	行为足迹属性的主体一致性描述,说明产生该足迹的主体是同一个人	复杂识别算法结合轨迹数据和其他情境信息

行为的上述时空属性具有依次递进的包含关系,低一级属性是高一级属性的构成部分,而高一级属性是对低一级属性的有序扩展。例如,轨迹是位置属性在时空维度上的延伸,而身份属性用于在轨迹不可连续跟踪或存在感知间隙的情况下,恢复移动主体的历史时空信息。

从技术实现的角度看,低级别的属性相对容易感知,而高级别属性需要在合理感知技术的基础上,使用复杂处理算法得以实现。

1.1.2 行为的层次结构

行为的层次划分是对活动进行的粒度分解,这一分解过程产生行为的层次化结构表示,对应于图 1.1 所示的行为属性。类似地,表 1.2 给出了行为的层次结构及其描述。

表 1.2 行为的层次结构及其描述

属性	描述	感知方式
姿势 (Pose)	活动的最细粒度描述,典型的姿势包括站、躺及坐等	压力传感器、加速度/角速度传感器等
动作 (Action)	时间上相邻姿势的动态组合,通常也称为子活动,如跑、步行及下蹲等	加速度/角速度传感器等
活动 (Activity)	某一任务对应的一系列动作,如做饭、睡觉、如厕及做家务等	开关传感器、RFID、压力传感器、声音/视频传感器等
行为 (Behavior)	赋予个性化信息的活动描述,体现用户的习惯和偏好等特征,具有特定的时空模式	开关传感器、RFID、压力传感器、声音/视频传感器等
群体行为 (Group Behavior)	行为从个体到群体的自然扩展,反映多个不同个体行为呈现出的共同属性	基于多源感知数据的复杂处理算法

行为的层次化结构描述有助于从不同粒度层面上观察人类的行为,为深入理解人的行为特征提供了参考依据,在不同应用领域发挥着重要作用。图 1.2 描述了基于行为层次化结构表示的行为感知过程。其中,通常由多个传感器(Sensor)的感知数据同时确定一个动作(Action)或一个子活动(Sub-activity),多个子活动构成一个完整意义上的活动(Activity),而一系列活动刻画了个人的日常生活(Routine)。

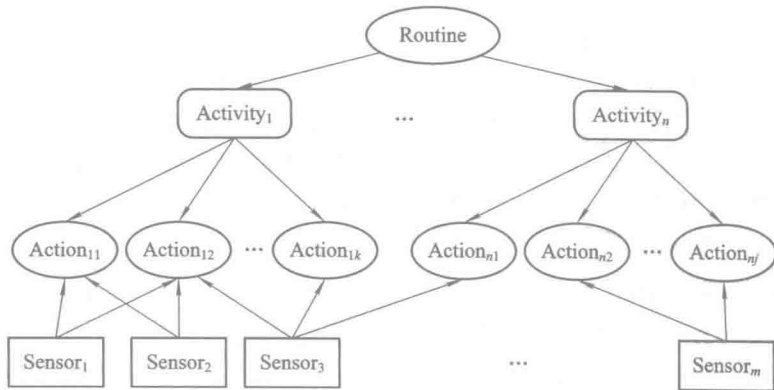


图 1.2 基于行为层次化结构表示的行为感知过程示意图

1.2 智能计算概述

智能计算(Intelligent Computing, IC)作为一个热门的研究主题,吸引了大量学术界及产业界人士的注意并为之倾注了大量心血,它因此也是一个被频繁提及和使用的词汇。然而,与其他处在日臻完善过程中的事物一样,时至今日,智能计算尚未有一个可被大众所认可的准确定义。智能计算通常与人工智能、计算智能等词汇相关,甚至在某些场合被交替使用。本节通过对智能计算与人工智能、计算智能两个概念进行比较,来帮助读者较为

清晰地认识智能计算及其主流方法。

1.2.1 智能与智能计算

智能(Intelligence)是人类理解和学习事物的能力,或者是人思考和理解的能力,这是人类具有的生物智能。无论是人工智能、计算智能,还是智能计算,它们的共同目标是让机器(主要指计算机)获得类似于人类的生物智能。

1. 人工智能

人工智能(Artificial Intelligence, AI)通过对人类智能活动奥秘的探索和记忆思维机理的研究,实现人类智力活动潜能的开发和人类智能的物化与延伸。从学科角度讲,人工智能定义为用计算机模型模拟思维功能的科学。

人工智能的成功应用可以归结为面向各领域的专家系统(Expert System),例如解释专家系统、预测专家系统及诊断专家系统等。表示(Representation)、推理(Reasoning)和学习(Learning)是人工智能系统的三个关键部分,表示用于知识的描述,推理用于问题的解决,学习用于提升性能和适应环境。

人工智能研究领域存在三个主流学派,分别是符号主义学派(Symbolicism)、连接主义学派(Connectionism)和行为主义学派(Actionism)。

(1) 符号主义学派。符号主义学派又称为逻辑主义学派(Logicism)、心理学派(Psychologism)或计算机学派(Computerism),其原理主要是物理符号系统假设和有限性原理。符号主义学派起源于数学逻辑,它的基本理论可归结为:一是认为人的认知基元是符号,认知过程是符号操作过程;二是认为人是一个物理符号系统,计算机也是一个物理符号系统,因此可用计算机模拟人的智能行为;三是认为知识是信息的一种形式,是构成智能的基础。因此,人工智能的核心问题是知识表示、知识推理和知识运用。

符号主义的代表成果是1957年纽威尔和西蒙等人研制的称为“逻辑理论家”的数学定理证明程序LT,其证明了38条数学定理。LT的成功,说明可以用计算机来研究人的思维过程及模拟人的智能活动。自此以后,符号主义走过了一条启发式算法—专家系统—知识工程的发展道路,尤其是专家系统的成功开发与应用,使人工智能研究取得了突破性的进展。虽然后来出现了其他学派,符号主义仍然是人工智能的主流学派,该学派的代表人物包括纽威尔、肖、西蒙和尼尔森等。

(2) 连接主义学派。连接主义学派又称为仿生学派(Bionicsism)或生理学派(Physiologism),其原理主要是神经网络及神经网络之间的连接机制与学习算法。连接主义学派起源于仿生学,特别是关于人脑模型的研究,它的基本理论包括:一是认为思维基元是神经元,而非符号处理过程;二是认为人脑不同于电脑,提出了连接主义的大脑工作模式,用以取代符号操作的电脑操作模式。

连接主义学派的代表性研究成果是1943年由生理学家麦卡洛克和数理逻辑学家皮茨所创立的脑模型,即MP模型。该研究成果开创了应用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径。

(3) 行为主义学派。行为主义学派又称为进化主义学派(Evolutionism)或控制论学派(Cyberneticsism),其原理主要是控制论和感知-动作型控制系统。行为主义起源于控制

论,认为人工智能的建立应该采用对自然智能进行过程仿真的方法,其基本理论包括:一是认为智能取决于感知和行为,提出智能行为的“智能-动作”模型;二是认为智能不需要知识、表示和推理,人工智能可以像人类智能一样逐步进行,智能行为只能在现实世界与周围环境的交互过程中表现出来。

行为主义学派研究的代表性成果是布鲁克斯(Brooks)的六足行走机器人,它被视为新一代“控制论动物”,是一个基于感知-动作模式的模拟昆虫行为的控制系统。

上述三个人工智能学派将会长期共存,且相互合作、取长补短,并最终走向融合和集成,为人工智能的发展做出贡献。

2. 计算智能

计算智能(Computational Intelligence, CI)借鉴仿生学思想,基于生物体系的生物进化、细胞网络等机制,应用数学语言抽象描述的计算方法,模仿生物体系和人类的智能机制。计算智能的定义最初由贝兹德克(Bezdek)于1992年提出。他认为,从严格意义上讲,计算智能取决于制造者(Manufacturers)提供的数值数据,而不依赖于知识。相反,人工智能则应用的是知识精品。

马克斯(Marks)在1993年提到了计算智能与人工智能的区别,而贝兹德克则侧重于关注模式识别(Pattern Recognition, PR)与生理神经网络(Biological Neural Networks, BNN)、人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)和计算神经网络(Computational Neural Networks, CNN)的关系,以及模式识别与其他智能之间的各种关系。如果用A(Artificial)、B(Biological)和C(Computational)分别表示符号的、生物的和数学与计算机的,那么A、B、C及其与神经网络、模式识别和智能之间的交互关系如图1.3所示。

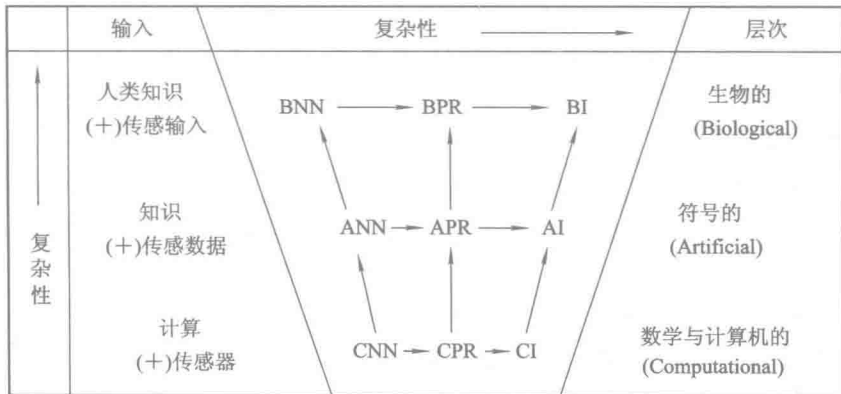


图 1.3 A、B、C 的交互关系

图中间部分的9个节点分别表示9个研究领域或学科。A、B和C三者分别对应于三个不同级别的系统复杂性,自左向右和自下而上其复杂性逐渐提高。节点之间的距离是领域间差异的衡量,如CNN与CPR间的差异要比BNN与BPR之间的差异小得多,CI与AI之间的差异要比AI与BI之间的差异小得多。图中的箭头意味着“适当的子集”,例如,在中间层,有 $ANN \subset APR \subset AI$ 等。

软计算(Soft Computing)是相对传统计算(硬计算, Hard Computing)而言的,它无需进行太多的符号操作。因此,从某种意义上说,软计算是传统人工智能的补充。软计算主

要包括人工神经网络、进化计算及模糊集理论等，它们都是非精确计算。即便对象模型和边界条件不够精确和完整，软计算也应该能得出合理的解，因此计算智能属于软计算的范畴。

计算智能具有四个重要特征，即适应性运算能力、计算的容错能力、人脑的计算速度以及与人脑一样的决策和思维能力。与人工智能不同，计算智能主要依赖于数据而非知识，主要借助于数值计算方法，其研究目标是促进基于计算的或基于计算和基于符号物理相结合的各种智能理论、模型、方法的综合集成，以解决更为复杂的问题。

3. 智能计算

在某种程度上讲，智能计算是实现计算智能系统的计算方法，因此计算智能是学科范畴，是研究领域，它是研究如何获得计算智能的。也有观点认为传统的人工智能加上软计算就可称为智能计算。

智能计算的特点：一是能够处理一些真实世界的信息，这些信息可以是定性的，也可以是定量的，还可能是不完整、不精确甚至不确定的数据；二是它以对观察和测量所得数据进行分类的能力为基础，依赖于强化数据计算，进而发现和推理知识，或分辨和预测系统的某些特点、中间过程或最终结果；三是受生物体计算机理的启发，通过学习、自组织等方式对信息进行综合、归纳或推理，从而建立符号主义、连接主义或行为主义三大学派的数学模型；四是建立的数学模型具有对信息进行综合或并行处理的能力，具有适应外部变化情况的自主控制能力，具有自扩展性和系统稳健性。

本节余下部分将对智能计算的主流方法进行简要介绍。

1.2.2 智能计算主流方法

如前所述，智能计算是获取计算智能的计算方法。经过若干年的发展，该领域已经产生了一系列代表性的方法，本节对这些方法进行简要介绍。

1. 人工神经网络

人工神经网络是连接主义的典型代表，是由大量神经元广泛互连而成的复杂网络系统，诞生于20世纪40年代。单个神经元可以有許多输入、输出，神经元之间的相互作用通过连接的权值体现，而神经元的输出是关于其输入的某个函数（即对输入进行的函数运算）。常用的函数类型包括线性函数、S型函数和阈值型函数。虽然单个神经元的结构和功能极其简单和有限，但大量神经元构成的网络系统的行为是极其丰富的。

神经网络具有以下几个基本特点：

(1) 大规模并行处理。神经网络能同时处理与决策有关的信宿，虽然单个神经元的动作速度不算特别快，但网络的总体处理速度却非常快。

(2) 容错性。由于神经网络包含的信息是分布存储的，即使网络某些单元和连接有缺陷，它仍然可以通过联想得到全部或大部分信息。

(3) 自适应和自组织性。神经网络系统可以通过学习不断适应环境，增加知识的容量。

人工神经网络模型主要考虑网络连接的拓扑结构、神经元的特征和学习规则等。截至目前，已有接近40种神经网络模型，主要包括反传网络、感知器、自组织映射、Hopfield网络、波耳兹曼机、适应谐振理论等。根据连接的拓扑结构，神经网络模型可以分为前向

网络和反馈网络。

(1) 前向网络: 网络中各个神经元接收前一级的输入, 并输出到下一级, 网络中没有反馈, 可以用一个有向无环路图表示。这种网络实现信号从输入空间到输出空间的变换, 它的信息处理能力来自于简单非线性函数的多次复合, 网络结构简单, 易于实现。反传网络是一种典型的前向网络。

(2) 反馈网络: 网络内神经元之间有反馈, 可以用一个无向的完备图表示。这种神经网络的信息处理过程是状态的变换, 可以应用动力学系统理论进行处理, 系统的稳定性与联想记忆功能有着密切关系。Hopfield 网络、波耳兹曼机均属于此种类型。

2. 进化计算

进化计算(Evolutionary Computation)是智能计算中涉及组合优化问题的一个子域, 其算法也是受生物进化过程中“优胜劣汰”的自然选择机制和遗传信息的传递规律的影响, 通过程序迭代模拟这一过程, 把要解决的问题看做环境, 在一些可能的解组成的种群中, 通过自然演化寻求最优解。

进化算法正是借用以上生物进化的规律, 通过繁殖、竞争、再繁殖、再竞争, 实现优胜劣汰, 一步步逼近复杂工程技术问题的最优解。进化计算的主要分支有遗传算法、遗传编程、进化策略和进化编程。

在进化算法中, 首先从一组随机生成的初始个体出发, 仿效生物的遗传方式, 主要采用复制、交换、突变这三种操作, 衍生出下一代的个体。然后根据适应度的大小进行个体的优胜劣汰, 提高新一代群体的质量。再经过反复多次迭代, 逐步逼近最优解。从数学角度讲, 进化算法实质上是一种搜索寻优的方法。进化计算的搜索策略不是盲目搜索, 也不是穷举搜索, 而是以目标函数为指导的搜索方式。进化算法一般采用天然的并行结构, 且借助交叉和变异产生新个体, 不断产生新个体, 扩大搜索范围, 因此它不易于陷入局部最优解, 并能以较大的概率找到全局最优解。

进化计算有着极为广泛的应用, 在模式识别、图像处理、人工智能、经济管理、机械工程、电气工程、通信、生物学等众多领域都获得了较为成功的应用。例如, 利用进化计算研究小生境(Niche)理论和生物物种的形成、通信网络的优化设计、超大规模集成电路的布线、飞机外形的设计、人类行为规范进化过程的模拟等。

在所谓的“智能进化”中, 除了考虑遗传因素外, 还需要考虑到学习, 这就是进化的强化学习(ERL)。在 ERL 中, 评价网络的结构和结合强度均由遗传决定, 而行动网络的结合强度则有可能通过学习决定, 而且这种学习信号的源泉, 也仅限于评价网络的回馈信号。这是通过遗传决定的评价网络的回馈信号对行动网络结合强度实行最优化的一种强化学习方法。

最为简单的进化策略形式是(1+1)-进化策略, 它的具体步骤如下:

(1) 确定表达问题的参数个数 N , 然后为每个参数确定一个可行范围 $\{x_{1_{\min}}, x_{1_{\max}}\}$, $\{x_{2_{\min}}, x_{2_{\max}}\}$, \dots , $\{x_{N_{\min}}, x_{N_{\max}}\}$, 为每个参数定义一个标准差 d , 以及用于最优化的函数。

(2) 为每个参数在其可行范围内随机选择一个初始值, 这个参数的集合成为父参数的初始种群。

(3) 通过父参数计算出解决方案: $X=f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 。

(4) 通过加上一个均值为 0、标准差为 d 的正态分布的随机变量 a , 为每一个父参数创

后代参数, 即 $x'_i = x_i + a(0, d)$, $i=1, 2, \dots, N$ 。

(5) 计算后代参数的解决方案: $X' = f(x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ 。

(6) 比较 X' 与 X , 如果后代的解决方案更好, 则用其代替父参数; 否则保留父参数。

(7) 回到第(4)步, 重复, 直到找到满足需求的解决方案或者繁衍了足够多的代。

进化策略能够反映染色体的本质, 可用于解决很多非线性优化问题, 而且比传统非线性方法的复杂度更低。相关研究的实验表明, 单个父亲、单个后代的最简单版本具有突出的性能。

3. 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithm)是一类经借鉴生物进化规律(即适者生存、优胜劣汰遗传机制)演化而来的随机化搜索方法, 是由美国 J. Holland 教授于 1975 年首次提出的。遗传算法的主要特点有: 直接对结构对象进行操作, 不存在求导和函数连续性的限定; 具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力; 采用概率化的寻优方法, 能自动获取和指导优化的搜索空间, 能够自适应地调整搜索方向, 不需要确定的规则。遗传算法已被广泛应用于组合优化、机器学习、信号处理、自适应控制和人工生命等领域, 是现代智能计算的关键技术之一。

遗传算法是人工智能领域用于解决最优化问题的一种搜索启发式算法, 属于进化算法的一种。这种搜索启发式算法通常用来生成有用的解决方案, 实现对问题的优化和搜索。进化算法最初是借鉴了进化生物学中的一些现象发展起来的, 这些现象包括遗传、突变、自然选择以及杂交等。需要注意的是, 遗传算法在适应度函数选择不当的情况下有可能收敛于局部最优, 而不能达到全局最优。

遗传算法的基本运算过程如下:

(1) 初始化: 设置进化代数计数器 $t=0$, 设置最大进化代数 T , 随机生成 M 个个体作为初始群体 $P(0)$ 。

(2) 个体评价: 计算群体 $P(0)$ 中各个个体的适应度。

(3) 选择运算: 将选择算子作用于群体。选择的目的是把优化的个体直接遗传到下一代或通过配对交叉产生新的个体再遗传到下一代。选择操作建立在群体中个体的适应度评估基础上。

(4) 交叉运算: 将交叉算子作用于群体。遗传算法中起核心作用的就是交叉算子。

(5) 变异运算: 将变异算子作用于群体, 即对群体中的个体串的某些基因座上的基因值作变动。

(6) 群体 $P(t)$ 经过选择、交叉、变异运算之后得到下一代群体 $P(t+1)$ 。

(7) 终止条件判断: 若 $t=T$, 则以进化过程中所得到的具有最大适应度个体作为最优解输出, 终止计算。

遗传算法是解决搜索问题的一种通用算法, 适用于各种通用问题的求解。概括而言, 搜索算法具有如下共同特征:

(1) 首先组成一组候选解。

(2) 依据某些适应性条件测算这些候选解的适应度。

(3) 根据适应度保留某些候选解, 放弃其他候选解。

(4) 对保留的候选解进行某些操作, 生成新的候选解。