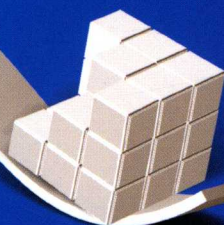
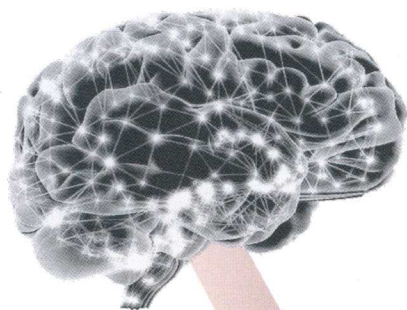


神经网络 在路径优化问题中的应用

陈文字 桑永胜 李曼荔 刘贵松 邱 钊 / 编著

SHENJING WANGLUO
ZAI LUJING YOUHUA
WENTI ZHONG DE YINGYONG



神经网络 在路径优化问题中的应用

陈文字 桑永胜 李曼荔 刘贵松 邱 钊 / 编著



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

神经网络在路径优化问题中的应用 / 陈文字等编著.

—成都: 电子科技大学出版社, 2014.9

ISBN 978-7-5647-2625-6

I. ①神… II. ①陈… III. ①人工神经网络—应用—研究 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 212404 号

内 容 简 介

本书主要讨论了 Lotka-Volterra 递归神经网络、非饱和的非线性阈值传输函数递归神经网络、列竞争神经网络等多种神经网络模型, 分别研究了针对不同组合优化问题的神经计算的方法; 研究了路网的最短路径优化方法。针对大规模路网分析的实时性需求, 提出了两种基于脉冲耦合神经网络的快速路径搜索方法; 研究脉冲耦合神经网络模型改进及其在 KSP 问题当中的应用。

本书可作为高等学校计算机科学与技术学科研究生参考书, 也可作为计算机应用领域内广大科技人员的参考书。

神经网络在路径优化问题中的应用

陈文字 桑永胜 李曼荔 刘贵松 邱 钊 编著

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 吴艳玲

责任编辑: 吴艳玲

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸: 170mm × 240 mm 彩插: 4 印张: 16.25 字数: 301 千字

版 次: 2014 年 9 月第一版

印 次: 2015 年 6 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-2625-6

定 价: 49.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

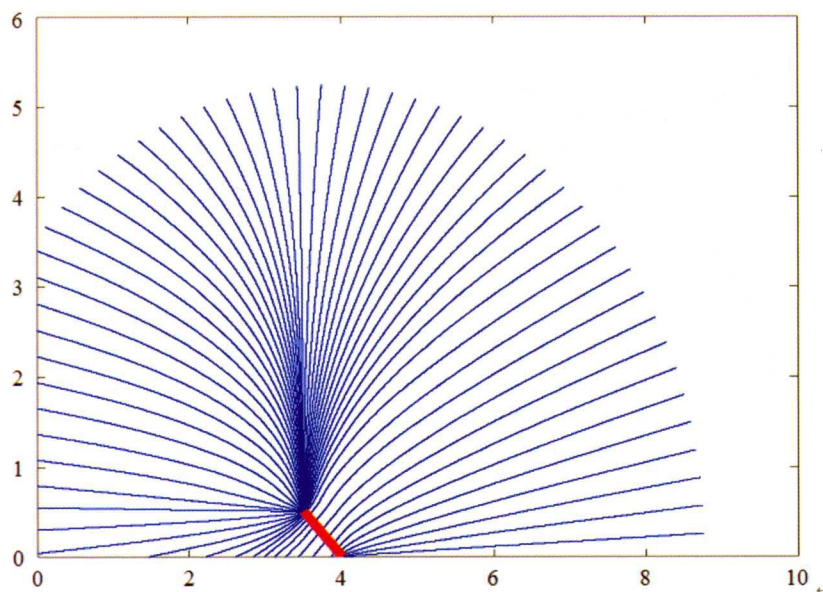


图5-1 不同初始点收敛的轨迹。其中红色的表示例5.1的解，蓝色的表示不同的起始点出发的轨迹

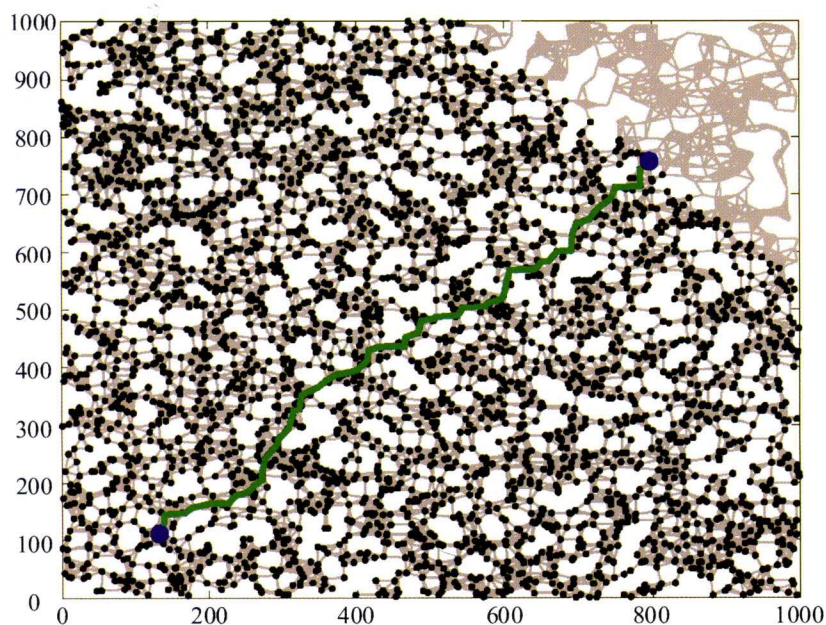


图7-6 文献[27]PCNN的结果: #node=3663, spl=1312.20

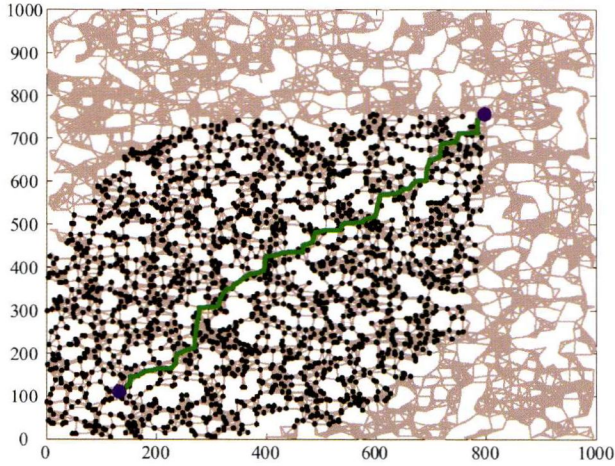


图7-7 A*算法的结果：
#node=2206, spl=1312.20

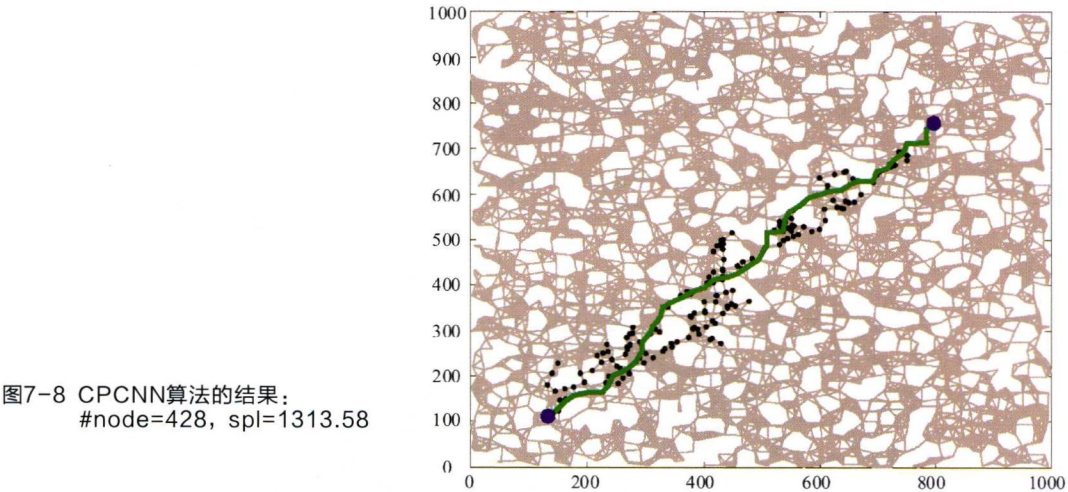


图7-8 CPCNN算法的结果：
#node=428, spl=1313.58

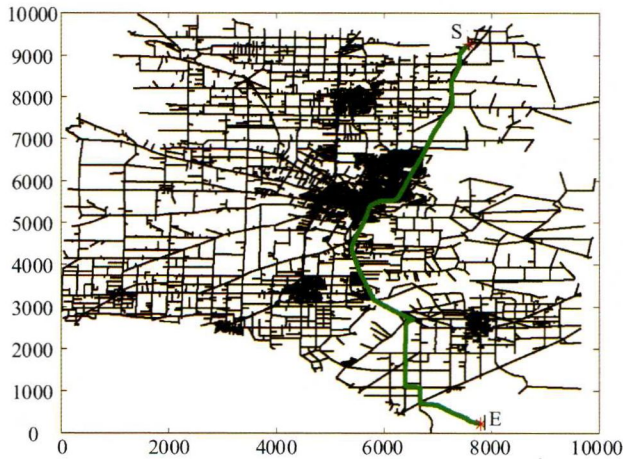


图7-13 算法[27]在TG路网上的搜索结果：
#node=18 263, spl=11 366.11

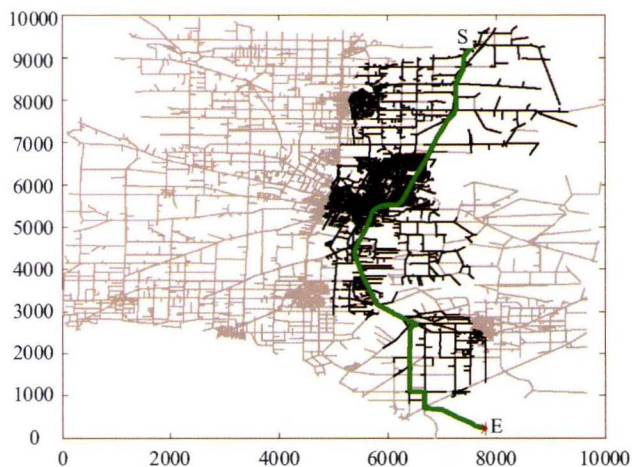


图7-14 A*在TG路网上的搜索结果：
#node=10 566, spl=11 366.11

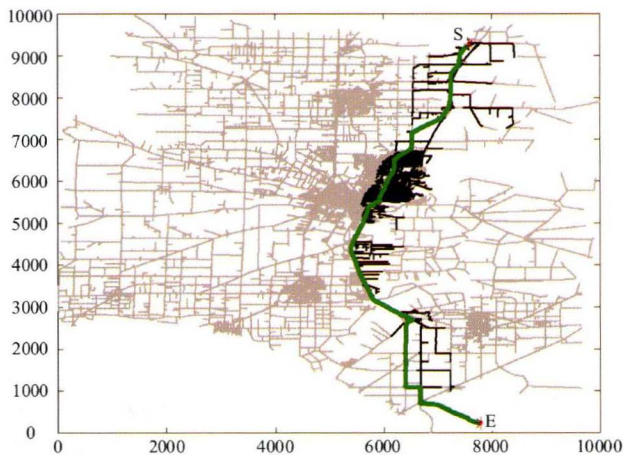
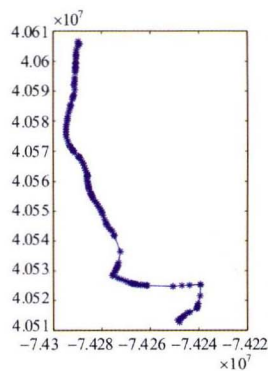
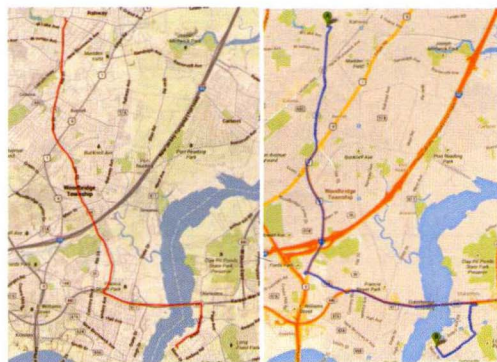


图7-15 CPCNN在TG路网上的搜索结果：
#node=4246, spl=11 435.99



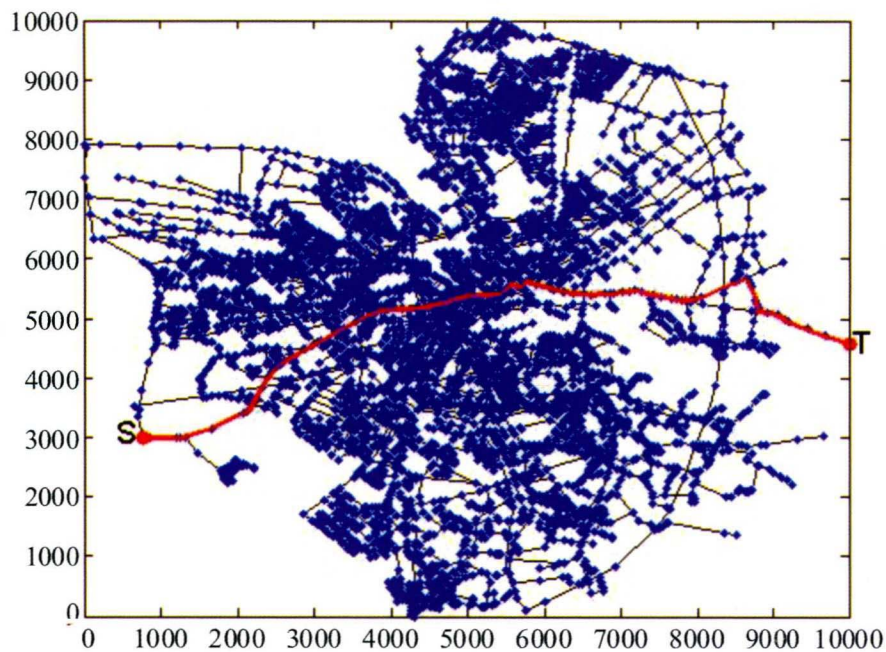
(a) First 10 paths in Matlab



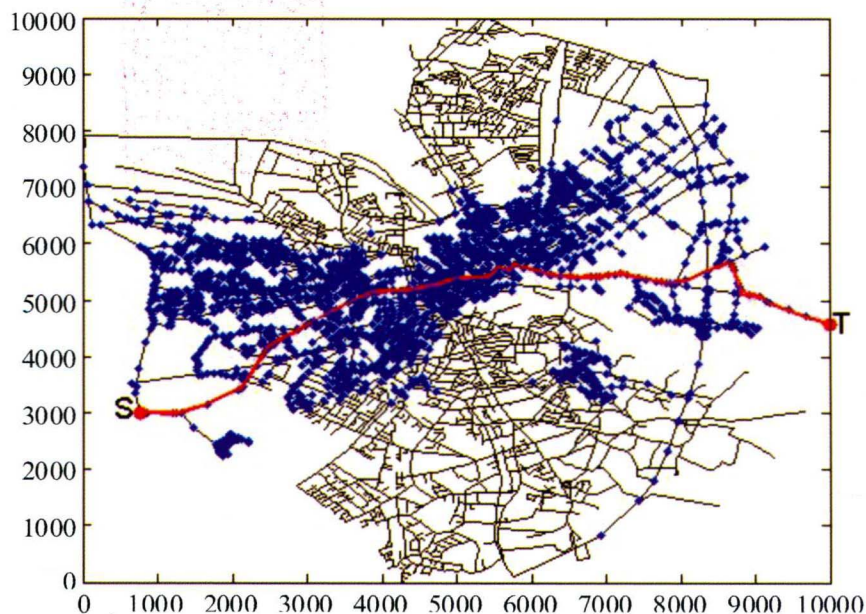
(b) The shortest path in RealMap

(c) The best path in GoogleMap.

图9-13 求出的最短路径在实际道路中的表示



(a) 文献[27]方法的搜索结果



(b) DSPCNN的搜索结果

图8-2 在OL路网上的搜索实例。灰色线条为路网，
蓝色点为访问过的节点，红色线条为最优路径

前 言

人工神经网络研究从 20 世纪 80 年代初复苏后一直是科学与工程研究领域的一个热点学科。30 多年来,神经网络的研究取得了大量的研究成果,其应用已经深入到经济、军事、工程、医学等许多领域,并在信号处理、智能控制、模式识别、机器视觉、非线性优化、自动目标识别、知识处理、遥感技术等领域取得重要成果。

神经网络独特的性质及其强大的计算能力已为科学工作者和工程师们所肯定。神经网络是解决组合优化问题的一种重要的工具,本书主要研究求解组合优化问题的神经计算方法、基于脉冲耦合神经网络的快速路径搜索方法和改进的脉冲耦合神经网络模型。

全书共分为 13 章。第一章概述了研究意义、国内外研究现状和相关技术。第二章研究了一类 LV 网络,并利用这类网络来解决 TSP 问题。第三章介绍了一种新的列竞争模型 (ICCM),通过构造一个新的能量函数,并结合 WTA 法则,构造了一个竞争网络。第四章介绍了非线性互补问题 (NCP) 的神经计算方法,提出了一类 LT 网络并成功应用于解决非线性互补问题。第五章提出了一类 LT 递归神经网络,并将其用于求解矩阵线性不等式和等式的问题,证明了 LT 网络的有界性与全局收敛性。第六章给出了利用几种常见的递归神经网络来解决组合优化问题的一般方法。第七章提出了一种新的竞争脉冲耦合神经网络模型——CPCNN,在该模型中提出了一种 On-forward / Off-backward 竞争机制,该模型可被应用于近似最短路径搜索。第八章提出了一种用于最短路径优化的双源脉冲耦合神经网络模型 DSPCNN,该模型能搜索到最优路径。第九章研究了基于改进的 PCNN 模型的 KSP 算法。第十章对非饱和激励函数的回复式网络的进行理论分析,提出了一种具有 WTA 特性的回复式神经网络模型。第十一章研究脉冲神经网络在最短路径优化问题中的应用。第十二章提出一种脉冲神经网络的改进模型,并用之解决最短路径树计算问题。第十三章总结了全书内容。

本书由陈文字、桑永胜、李曼荔、刘贵松和邱钊负责编写。

本书在编写过程中，还得到了欧睿杰、曾红和陈青然等的热情帮助。在此对他们及所有为本书的出版付出了辛勤劳动的朋友们表示衷心的感谢。同时，感谢参考文献的作者。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

本书是四川省新闻出版局重点出版资助项目。

作 者

2014年6月

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 概述	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 递归神经网络	5
1.3.1 Hopfield 递归神经网络模型.....	5
1.3.2 Lotka-Volterra 递归神经网络模型	7
1.3.3 非线性阈值传输函数的神经网络模型	9
1.4 脉冲耦合神经网络 PCNN.....	10
1.5 K 最短路径问题 KSP	12
1.6 研究内容	12
1.7 章节安排	14
第二章 求解 TSP 问题的 LOTKA-VOLTERRA 神经网络方法	16
2.1 背景	16
2.2 基础工作	17
2.3 能量函数与 LOTKA-VOLTERRA 递归神经网络.....	19
2.4 网络性能及参数的设置	20
2.5 实验结果	24
2.5.1 LV 网络的 WTA 性质	24
2.5.2 随机坐标城市的 TSP.....	27
2.5.3 均匀分布城市的 TSP.....	28
2.6 本章小结	32
第三章 求解 TSP 的一类列竞争模型.....	33
3.1 背景	33
3.2 列竞争模型	34
3.2.1 列竞争模型的提出	34
3.2.2 列竞争模型的性能分析.....	36

3.3 一类新的列竞争模型	38
3.3.1 ICCM 的提出	38
3.3.2 ICCM 的性能	40
3.4 实验结果	43
3.4.1 一个直观的例子	43
3.4.2 随机坐标城市的 TSP	44
3.4.3 环形 TSP	45
3.5 本章小结	48
第四章 求解非线性互补问题的非线性阈值神经网络方法	49
4.1 非线性互补问题的描述及解决方法	49
4.2 一类非线性阈值神经网络	50
4.2.1 NCP 函数与能量函数	50
4.2.2 LT 网络的构造	51
4.2.3 网络性能及参数设置	54
4.3 实验结果	57
4.4 本章小结	64
第五章 求解线性不等式和等式的非线性阈值神经网络方法	65
5.1 背景	65
5.2 一类非线性阈值神经网络	66
5.2.1 能量函数和 LT 网络构造	68
5.2.2 LT 网络稳定性	70
5.3 实验结果	73
5.4 本章小结	79
第六章 递归神经网络解决优化问题的一般方法	81
6.1 背景	81
6.2 HOPFIELD 递归神经网络能量函数	82
6.3 线性递归神经网络	84
6.4 LV 递归神经网络	87
6.5 LT 递归神经网络	89
6.6 小结	92

第七章 基于竞争脉冲耦合神经网络的路径优化方法93

7.1 背景93

7.2 问题描述95

7.3 CPCNN 模型96

7.4 CPCNN 的基本特性99

7.5 ON-FORWARD /OFF-BACKWARD 竞争机制103

7.6 算法107

7.7 实验结果109

7.7.1 用模拟路网数据测试110

7.7.2 用真实路网数据测试117

7.8 小结122

第八章 基于双源脉冲耦合神经网络的最短路径搜索方法123

8.1 背景123

8.2 DSPCNN 模型123

8.3 DSPCNN 最短路径搜索125

8.4 实验结果126

8.4.1 搜索路径实例126

8.4.2 性能分析128

8.5 小结129

第九章 基于改进 PCNN 模型的 KSP 求解方法131

9.1 改进的 PCNN 模型131

9.1.1 定义131

9.1.2 MCPCNN 的结构133

9.1.3 MCPCNN 的理论分析135

9.2 用 MCPCNN 求 KSP 问题140

9.2.1 算法描述140

9.2.2 算法复杂度分析142

9.2.3 MCPCNN 求解 KSP 实例144

9.3 仿真实验151

9.3.1 脉冲传播速度研究152

9.3.2 single-pair KSP 实验154

9.3.3	single-source KSP 实验	156
9.3.4	应用举例	158
9.4	本章小结	160
第十章	具有非饱和激励函数的回复式网络的理论分析	161
10.1	背景	161
10.2	一些概念和定义	162
10.3	网络的单稳定性和多稳定性	165
10.4	二维 LT-网络的研究	167
10.4.1	具有两个神经元的二维 LT 网络的基本描述	167
10.4.2	全局收敛性	169
10.4.3	多稳定性分析	172
10.4.4	仿真结果	176
10.5	不带自反馈的 LT 网络	180
10.5.1	网络模型	180
10.5.2	网络不发散的条件	181
10.5.3	网络的应用: Winner-Take-All 特性	182
10.5.4	仿真结果	187
10.5.5	实验三的网络参数	191
10.6	本章小结	193
第十一章	脉冲神经网络 在路径优化问题中的应用	194
11.1	背景	194
11.2	脉冲神经网络模型	196
11.3	脉冲神经网络的改进模型	197
11.3.1	标记和定义	197
11.3.2	网络模型	198
11.3.3	理论分析	199
11.4	计算最短路径新算法	201
11.5	应用实例	202
11.6	仿真实验	205
11.7	本章小结	208

第十二章 脉冲神经网络的进一步改进和应用210

12.1 进一步改进的模型210

12.1.1 网络体系结构210

12.1.2 符号定义211

12.1.3 网络模型212

12.1.4 模型的理论分析214

12.2 SPT 新算法219

12.3 应用实例221

12.4 仿真实验224

12.5 本章小结233

第十三章 结束语235

13.1 总结235

13.2 展望237

参考文献238

第一章 绪 论

1.1 概 述

大脑是一个神秘的体系，它指导着生物的一切智能行为，包含了生物的思想、认知、学习和记忆等所有智能。同时，大脑却也是一个十分复杂的体系，它大约包含有 300 亿个相互连接的神经元。在生物神经网络中，这些神经元相互连接，它们激励彼此，抑制彼此，它们之间的相互作用和相互影响，使得生物神经网络具有了认知、学习和记忆等智能行为。与此同时，科学家们通过研究发现，生物的智能并不是相同的。在人类的大脑里面，掌管着生物智能的部位是新大脑皮层^[1]。它大约与 6 张扑克牌的厚度一致，一共分为 6 层^{[2][3]}。如果完全展开，人类的新大脑皮层大约相当于一张大餐巾的大小，而其他的哺乳动物则要小一些。这不难理解，人类之所以更聪明，是因为人类的新大脑皮层更大，因此所包含的神经元的个数也更多，生物的智能的高低与大脑里面神经元的个数成一定的关系。

这些神经元组成了人类的大脑。它们构成了人类的记忆、知识、技能，并帮人类累积生活经验。正是这些神经元在某种规则的控制下，指导着人类的智能行为。科学家们对生物大脑充满了好奇与猜测，他们开始对生物神经网络的结构与工作原理展开了许多研究。迄今为止，科学家们对生物神经网络的工作机理已经累积了相当一部分知识。神经计算方法就在这样的背景下应运而生。它是对生物大脑或自然神经网络的若干基本特性进行抽象和模拟得到的。它以现代神经科学研究成果为基础，模拟大脑的某些结构与机制，实现某个方面的功能。由于神经计算方法在模式识别、自动控制、信号处理、决策辅助、信息处理、机器视觉等方面都有着广泛的应用，因此，对神经计算方法研究显得尤其重要。

与此同时，从神经元的角度来说，神经网络是由这些神经元组成的。但人的大脑里有 300 亿个神经元，其中大多数神经元是相互连接相互作用的。也正是因为这些神经元的高度相关性，才实现了人类的认知、学习、记忆等复杂的智能活动。因此孤立地看待一个神经元，在神经网络上意义不大。在神经网络

的研究中,人类需要考虑多个神经元之间的相互激励与相互抑制的作用,才能实现更为高级的智能行为。然而,从单个神经元到多个神经元构成的神经网络,这其中的工作复杂度急剧上升。因此,这项工作不仅重要,也极具挑战性。

人工神经网络方法是一类及其重要的路径优化算法。神经网络是一种仿生计算方法,它具有并行性、非线性运算等能力,可方便地用于大规模的复杂问题的求解,在近几十年受到众多研究者的广泛关注。其中,基于能量函数的神经网络方法被广泛应用于解决组合优化问题。在这个研究方向上,开创性的工作是 Hopfield 和 Tan 在文献[4]和[5]中的研究成果。另一类比较特别的神经网络是脉冲耦合神经网络(PCNN),这一类神经网络不需要训练,可以利用其自动波特性进行路径优化,属于不确定性算法,自动波传播的过程中会沿着任何可能的方向不加区分的传播。因而,这些 PCNN 网络模型的时间复杂度与最终的路径长度密切相关,路径越长,搜索中点火的节点越多,算法的时间代价也就越高。这些模型在小规模路网分析中都能以可以接受的速度获得结果,但在真实的大规模网络中应用则不太现实。

K 最短路径问题是指在一个给定的图中,以非递减的顺序找出给定两个节点之间的K条最短路径,其中K是给定的任意自然数。该问题是一个经典的图论问题,在物流、序列比对、网络、文本处理等领域有着非常广泛的应用^[6]。

自从 20 世纪 50 年代起,K 最短路径问题得到了广泛的关注和研究,尤其是对于经典的确定性的静态图中的K最短路径问题,然而对于该问题还有许多地方有待研究,首先是当前尚无K最短路径问题的并行算法的研究,算法的并行性可以极大提高算法的效率。然后是由于复杂网络等不确定性网络的兴起,这类网络规模大,具有不确定性,传统的K最短路径算法无法直接应用于该类网络,目前针对这类问题的K最短路径问题的研究还处于起步阶段。

1.2 国内外研究现状

从 1943 年生理学家 McCulloch 教授与数学家 Pitts 教授提出的 M-P 模型开始,神经网络的发展走过了一段曲折的道路。1965 年 Minsky 与 Papert 在《感知机》一书中指出感知机的缺陷并对这方面的研究持悲观态度,使得神经网络进入了一个发展的停滞期。到了 20 世纪 80 年代初, Hopfield 和 Rumelhart 等人的研究工作显示出神经网络的巨大潜力^[12],使得神经网络进入一个崭新的发展时期。近二十年来,神经网络的理论与实现有了很多引人注目的进展。它拓

展了计算概念的内涵,使得神经计算成为新的学科。

相对于传统的人工智能而言,神经网络是一个真正的进步。因为它是建立在生物神经网络系统之上的。大脑是由神经元组成的,因此大脑就是一个神经网络。神经网络不需要对信息进行存储,整个网络的知识 and 记忆都分布在神经元的所有连接之上——就像真正的大脑一样。神经元之间的计算采用并行分布处理方法,使得快速进行大量的运算成为可能。同时,像生物神经网络一样,人工神经网络可以学习不知道或不确定的系统,有着强大的自适应的能力。由于神经元之间的竞争与相互抑制的机制,使得神经网络可以充分逼近任意复杂的非线性系统。通过人工神经网络的反馈信息,还可以实现联想存储功能。神经网络模拟生物大脑的工作方式,在寻找复杂问题的优化解的时候,可以发挥高速并行的运算能力,快速找到优化解。因为上述的种种特点,使得人工神经网络自出现以来,就成为人工智能发展的重要方面,它所涉及的范围也不断扩大,渗透进科学发展的各个行业。

组合优化问题历来在工程应用上都有着极大的意义,它们在网络线路设计、开关电路设计、运输路线规划、工作分配以及货物装箱等问题上有很大的帮助,同时,很多工程应用的最初的建模与数据的初始化,都涉及组合优化问题的内容。传统的组合优化问题的方法一般是转化为数学规划再对数学规划问题进行求解^{[7][8][9][10][11]}。

随着神经计算方法的发展,科学家们意识到,利用人工神经网络所独有的特点来解决组合优化问题,不失为一个好的方法。最先利用神经计算方法来解决组合优化问题的研究是开始于 Hopfield。他在研究中指出,利用 Hopfield 回复式神经网络来解决旅行商问题(TSP)能得到一个较优的解答。随着他的这些研究结果的出现,越来越多的人将目光聚焦到了神经计算方法上,随后也涌现出了大量优秀的相关研究结果^{[13][14]}。事实证明,神经计算方法在解决优化问题上有着巨大的优势。神经网络模拟生物大脑,对优化问题的理解往往更为深入,得到的结果也很可靠。

另一方面,随着神经计算理论研究的不断深入,许多重要的研究成果也被科学家们广泛接受,很多严格的理论也逐渐被建立起来^[15]。神经网络在各种应用方面的研究也吸引了许多国际一流学术研究机构如 MIT、Harvard 大学、Stanford 大学的科学家们,不少的优秀论著和重大成果不断地涌现出来,很多重要成果都发表在 *Nature*、*Science* 等国际一流学术刊物上。这些重要的研究成果对神经计算的发展起到了大大的推进作用。自 20 世纪 80 年代以来,神经计算方法的理论及应用都取得了大量的成果,已经成功地应用到经济、军事、工程和医学的各个领域。