

·书 评·
文/田新华

跟踪国际学术前沿 迎接量子信息时代 ——《量子计算与量子优化算法》评介

科学家预言:“21 世纪,人类将从经典信息时代跨越到量子信息时代。”被誉为 20 世纪伟大科学革命之一的量子力学尽管已有百年历史,但它在信息科学中的应用仅仅始于 20 世纪 90 年代,量子力学与信息科学交叉融合诞生的量子信息学,是量子信息时代来临的重要标志。

传统的基于二值逻辑的诺依曼型计算机的运算本质上是串行的,因此存在对复杂问题求解速度慢的缺点,而量子信息学的创立开创了利用微观粒子——电子的量子态表示信息的先河,可用量子信息表示数来实现量子计算。量子计算与基于量子计算的量子优化算法,本质上是一种并行计算,可实现对传统智能算法的加速,为应用传统基于精确模型的数学优化方法难以解决的大量科学、工程、经济、管理等领域的问题,提供新的有效的优化方法,这将为科技和经济发展带来巨大推动力。因此,量子计算、量子信息和量子优化算法的研究受到了国内外学者的高度关注。然而,目前国际上量子计算、量子信息方面的专著较少,也很难见到系统阐述量子优化问题的著作。

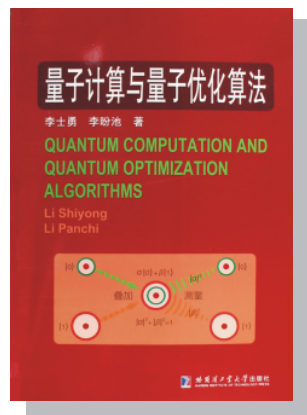
《量子计算与量子优化算法》在简要综述该领域国内外研究成果的基础上,系统论述了量子力学基础、量子计算基础、基本量子算法、Grover 量子搜索算法的改进、量子遗传算法、量子群智能优化算法(混沌量子免疫算法、量子蚁群算法、量子粒子群算法)、量子神经网络模型,以及算法、量子遗传算法在模糊神经控制中的应用等,介绍了作者近年取得的创新性研究成果。综观全书,其特色主要体现在以下方面。

1) 创新性强。在量子计算与量子优化算法研究中,该书作者至今提出了 14 个新定理和 14 种新算法,其成果主要体现在以下方面:①在对基本 Grover 搜索算法改进方面,提出了 5 种新算法:基于相位旋转匹配条件 Grover 算法、自适应相位旋转 Grover 算法、目标加权的 Grover 算法、自适应相位旋转目标加权的 Grover 算法、基于固定相位旋转的广义 Grover 算法。广义

Grover 算法根据旋转相位的不同值,可以衍生出多种不同的 Grover 算法;②在对量子遗传算法的改进研究中,将实数编码机制和量子位 Bloch 球面坐标引入量子遗传算法,提出了 2 种新算法:基于实数编码和目标函数梯度信息的双链量子遗传算法、基于量子位 Bloch 球面坐标的量子进化算法。将量子位的单位圆的表示拓展为量子位的 Bloch 球面坐标表示,每个全局最优解可以扩展为 Bloch 球面三组圆周上的无穷多个解,使全局最优解的数量得到极大扩充,从而可有效提高量子进化算法获得全局最优解的概率;③在对量子群智能优化算法的研究中,将量子计算与混沌优化、免疫算法、蚁群算法、粒子群算法相结合,提出了 3 种新算法:混沌量子免疫算法、量子蚁群算法、量子粒子群算法;④在量子神经网络的研究中,提出了具有量子输入和实值输出的量子神经元模型和 4 种新的量子神经网络模型与学习算法:三层量子 BP 网络模型及其学习算法、基于量子加权的量子神经网络模型与学习算法、基于量子门线路的量子神经网络模型与学习算法和量子自组织特征映射网络模型及其算法。

2) 学术与应用价值高。目前的电子计算机的串行运算,在运算速度方面还难以满足高速计算的需要,而量子计算与量子优化算法的研究成果为应用量子机制与其他学科的融合提供了新思想,具有很高的学术价值。此外,应用量子优化算法和其他优化算法的融合,为解决复杂的工程优化问题提供了新的途径。

量子计算需要在量子计算机上才能得以实现真正意义上的并行运算,尽管目前量子计算机还处于研制的初级阶段,但是将量子信息、量子计算机制引入已有的智能优化算法中,或者说将已有的优化算法引入量子机制,即被“量子化”后而形成的量子进化算法,在很大程度上将加速并提升算法的优化性能,使其具有不同于传统进化算法的许多优异特点:①量子进化算法是基于量子态矢量表示信息,用量子比



李士勇,李盼池 著,哈尔滨工业大学出版社,2009 年 5 月第 1 版,定价:38.00 元

特的概率幅表示染色体编码,使得一个染色体可以表示成多个量子态的叠加,从而使量子进化计算比传统进化计算更具并行性;②由于单个染色体可以表示多个量子位的叠加,因此采用量子位编码的进化算法比传统进化算法具有更好的种群多样性,即使选用一个较小规模的量子个体群体,也不影响算法的性能;③在量子进化算法中,进化操作是通过量子门来实现的,由量子旋转门驱动的搜索过程能自动地将全局搜索变为局部搜索,即在粗搜索与精搜索之间保持着良好的均衡、协同搜索能力,从而使量子进化算法具有极强的全局搜索能力。

该书提出的多种量子智能优化算法具有普适性,可用于求解不同领域的优化问题,为应用量子算法解决众多领域的优化问题搭建了一个学术平台,有利于推动量子计算在更广阔领域的研究及应用。

3) 结构严谨、系统性强、可读性好。该书涉及多种交叉学科,只有对量子力学基础、量子力学的基本假设、量子力学的数学基础、量子信息与计算基础等相应基础进行深入浅出的阐述,才能帮助缺乏这些基础的读者阅读理解。该书在撰写方法上由浅入深、循序渐进,理论联系实际,并给出了多种量子优化算法在函数优化、模式识别、聚类分析、函数逼近及在 PID 控制器、模糊神经控制器参数优化中的应用实例。

本文作者 田新华,哈尔滨工业大学出版社编审。

栏目主持人 尹传红,《大众科技报》主任编辑,电子信箱:asimov@126.com。

(责任编辑 陈广仁)