

改进型免疫量子粒子群算法求解 TSP 问题

吴 骏, 吴 俊

(义乌工商职业技术学院, 浙江 义乌 322000)

摘 要: 为了克服粒子群优化算法早熟收敛以及量子粒子在进化过程中缺乏很好的方向指导的问题, 受生物免疫系统与量子计算思想的启发, 采用了量子技术以及免疫机制, 把免疫思想应用到量子粒子群算法, 提出了免疫量子粒子群算法. 可以指导粒子朝着更优方向进化, 提高了量子粒子群的收敛速度和寻优能力, 实验结果表明, 仿真实验表明所提算法具有较好的性能, 在求解 TSP 问题时收敛速度和寻优能力都取得了更好的效果.

关键词: 粒子群优化算法; 免疫原理; 量子计算; TSP 问题

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)08-0222-03

Improved Immune Quantum Particle Swarm Algorithm for Solving the TSP Problem

WU Jun, WU Jun

(Yiwu Industrial & Commercial College, Yiwu 322000, China)

Abstract: In order to overcome premature convergence of particle swarm optimization and evolution of particles in the direction of the lack of good guidance to the problem, by the immune system and the inspired ideas of quantum computing, quantum technology and the use of immune mechanisms to the immunity applied to the quantum particle swarm algorithm, the immune quantum particle swarm optimization. Can guide the direction of particle evolution towards better, improve the convergence rate of the quantum particle swarm optimization ability and experimental results show that the simulation results show that the algorithm has better performance, solving the TSP problem in the convergence speed and searching capability have achieved better results.

Key words: particle swarm optimization; immune; quantum computation; TSP problem

1 引言

旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, TSP) 是著名的组合优化问题, 是 NP 难问题, 常被用来验证智能启发式算法的有效性^[1]. TSP 描述为: 给定 n 个城市和两两城市之间的距离, 求一条访问各城市一次且仅一次的最短路线^[2]. 针对 TSP 问题, 人工智能领域不断涌现出新的寻优解法. 蚁群算法通过蚂蚁信息素来识别最短路径, 实现并行搜索从而解决 TSP 问题^[3-4]. 遗传算法对城市序号进行编码, 以最短路径为适应度来解 TSP 问题. 免疫算法将抗原则对应目标函数, 城市序列看作抗体, 通过

调整抗体使之与抗原的亲和度达到最大来解决 TSP 问题.

粒子群优化算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是近年来被广泛研究的一种优化算法, 它概念简单, 涉及参数少, 收敛速度快, 实现简单, 同时拥有强大的全局搜索能力, 越来越多地被应用于优化问题中^[5-6]. 然而粒子群算法也有着与其他生物智能算法 (如遗传算法、模拟退火算法等) 相同的缺点: 容易陷入局部最优. 人们针对这个问题做了许多改进, 提出了变异粒子群算法、自适应调整粒子群算法、免疫粒子群算法^[7-8]. 这些算法在一定程度上可避免 PSO 陷入局部最优. 受量子力学启发, Jun

Sun 等人根据量子 Delta 势阱提出了量子粒子群优化算法. 虽然量子有更大的搜索空间,但是量子粒子进化过程中,缺乏很好的方向指导,与传统粒子群算法相比,更有可能避免粒子陷入局部最优. 为了克服粒子群优化算法早熟收敛以及量子粒子在进化过程中缺乏很好的方向指导的问题,把免疫思想应用到量子粒子群算法,提出了免疫量子粒子群算法. 指导粒子朝着更优方向进化,提高了量子粒子群的收敛速度和寻优能力.

2 关键概念简介

2.1 TSP 问题

TSP 常被用来验证智能启发式算法的有效性,也是图论、运筹学、组合优化中的 NP 难题. TSP 问题可以描述为:给定 n 个城市及两两城市之间的距离,求一条经过各城市一次且仅一次的最短路线. 设引入决策变量 x_{ij} , d_{ij} 为城市 i 与 j 之间的距离, TSP 的目标函数为 Z , 定义如下:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if visited } j \text{ after visited } i \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

$$\min Z = \sum_{i,j=1}^n x_{ij} d_{ij} \quad (2)$$

TSP 描述非常简单,但是城市数目比较多的时候使用穷举搜索策略是不可能做到的. 这是随着需要访问城市数目的增加,会出现“组合爆炸”现象.

2.2 量子粒子群算法

量子计算中融入了量子力学的许多特性,极大地提高了计算的效率,已逐步成为一种崭新的计算模式. 量子粒子群算法是将量子计算与粒子群算法相结合的一种崭新的优化方法,具有很强的生命力和极大的研究价值. 量子粒子群算法大大提高了搜索效率且能弥补粒子群算法的不足,具有广泛的研究前景. 量子粒子群优化算法首先产生一个位于 p_i 和 p_g 之间的位置向量 p , 然后根据概率求得粒子新的位置向量,其中 p 由下式产生,其中 u 为一个介于 $(0,1)$ 之间呈正态分布的随机数,正、负号各依 50% 的概率取得, g 为算法中需要调整的变量,一般大于 $\ln\sqrt{2}$. $|\Psi|^2$ 是概率密度函数,满足:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi|^2 dx dy dz = \int_{-\infty}^{+\infty} Q dx dy dz = 1 \quad (3)$$

$$p = (\varphi_1 p_i + \varphi_2 p_g) / (\varphi_1 + \varphi_2) \quad (4)$$

$$x_i | (t+1) = p \pm (1/g) \times [\ln(1/u)] \times |x_i(t) - p| \quad (5)$$

3 改进型免疫量子粒子群算法

本文将采用量子算法的快速、高效收敛性机制,结合免疫原理已经取得的研究成果,设计效率更高的量子免疫粒子群优化算法. 本文引入基于免疫原理的群体多样性保持策略,在量子算法优化过程中尽可能保持群体的多样性,避免早熟现象. 为抑制进化过程中早熟收敛现象的发生,本算法还采用量子更新,量子变异等操作对其进行优化.

3.1 免疫算子

下面根据算法设计的需要给出免疫算子的描述:

(1) 抗体相似度 $A_{i,j}$, 抗体相似度指两个抗体 m 和 n 或抗体 m 与抗原 n 之间的相似程度,计算公式如下:

$$A_{i,j} = 1 / (1 + H_{i,j}(2)) \quad (6)$$

$$H_{i,j}(2) = \frac{1}{M_k} \sum_{k=1}^M H_k(2) \quad (7)$$

式中, $A_{i,j} \in [0,1]$, $A_{i,j}$ 越大表示 i, j 越相似. $H_{i,j}(2)$ 为抗体 i 和 j 的平均熵.

(2) 抗体信息熵:在基于信息熵的免疫算法中,设有 N 个抗体,其基因 m 的信息熵 $H_m(N)$ 表示为

$$H_m(N) = - \sum_{k=1}^M P_{km} \log P_{km} \quad (8)$$

式中, N 为抗体个数, p_{km} 为第 k 个符号出现的基因 m 上的概率.

(3) 抗体浓度:定义为

$$d_i = P(A_{i,t}) / N \quad (9)$$

$P(A_{i,j})$ 指的是与抗体 t 相似度大于 λ 的抗体个数,式中的 λ 为相似度常数.

(4) 聚合适度度定义为

$$f_i' = f_i \times \exp(k \times d_i) \quad (10)$$

聚合适度度 f_i' 实际上是对抗体适应度 f_i 进行修正.

3.2 量子门更新

目前存在着多种类型的量子门,其分类方法也不相同. 根据它操作的量子位的数目不同可以分为一位门、二位门和三位门等;根据它的作用不同可以分为量子非门、量子受控非门、Handamard 门、量子旋转门等. 在 QEA 中,由于染色体的编码方式不同于传统进化算法,因而种群演化操作算子也不同于传统进化算法中通常采用的选择、交叉和变异算子,而是使用量子门进行种群的更新演化操作. 如何构造量子门就成为量子进化算法研究的关键,它直接关系到量子进化算法的性能好坏. 算法中采用量子

旋转门 $U(\Delta\theta)$ 更新个体. $U(\Delta\theta)$ 定义如下:

$$U(\Delta\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\Delta\theta) & -\sin(\Delta\theta) \\ \sin(\Delta\theta) & \cos(\Delta\theta) \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中, $(\Delta\theta)$ 为旋转角.

3.3 算法步骤

算法具体步骤如下:

Begin

$t = 0$;

(1) Loading antigen and Initialize $P_N(t)$;

(2) Make $R_N(t)$ by observing the states of $P_N(t)$;

(3) Do

Begin

$t = t + 1$

(a) Evaluate $R_N(t)$, get adapt (j) and sort $P_N(t)$;

(b) Copy the before p solutions and mutation;

(c) Make $R_{N+p}(t)$ by observing the states of $P_{N+p}(t)$

(d) Evaluate $R_{N+p}(t)$, get adapt (j) and sort, get the best $R_N(t)$

(e) Update $P(t)$ using Q-gates

while (Not termination)

End;

(4) put the best $R_N(t)$

End;

4 实验结果与分析

为了更好说明该算法的有效性,选用国际上最通用的 TSP 测试库中的实例进行测试. 为了方便比较,本文也采用典型的 TSP 优化模型,14 点 TSP 的问题描述请参见文献[3]. 试验仿真环境:1.66 GHz 主频的 INTEL 处理器,512 MB 内存,Windows XP 系统,仿真软件 MATLAB 对上述组合优化问题进行进化求解,每个实验均重复进行 100 次. 为了分析算法的收敛效率,实验把算法的总迭代次数都规定为 1 000 时. 100 次本文算法实验的平均迭代优化解与文献[3]中算法的数据比较见表 1.

表 1 算法的效率统计比较

算法	迭代次数	平均最优值	收敛概率	平均运算时间
本文算法	1 000	31.911 3	96.3%	113 ms
文献[3]中算法	1 000	33.013 7	87.33%	254 ms

图 1 给出了文献[3]中算法与本文算法的迭代曲线比较. 从图 1 以及表 1 可以看出,本文算法搜索效率要比文献[3]中的算法高,而在相同的迭代计算中,收敛效率明显高于文献[3]的算法. 在都得到的全局最优路径的情况下,平均迭代次数只需要文献[3]中的 3.11%,实际计算时间为文献[3]中的 0.22%;通过仿真证明了改进后的算法能够取得更

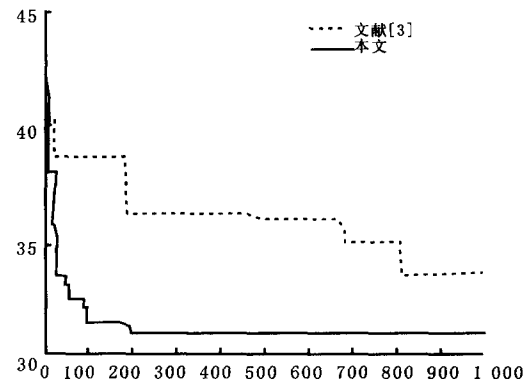


图 1 本文算法与文献[3]中算法的迭代曲线比较

好的效果. 本文算法目前处于研究初期,但从其应用效果看,该算法具有很大的潜力,将会得到更广泛的应用,更多工作有待进一步展开.

5 结束语

提出了免疫量子粒子群算法. 可以指导粒子朝着更优方向进化,提高了量子粒子群的收敛速度和寻优能力,所提算法具有较好的性能,在求解 TSP 问题时收敛速度和寻优能力都取得了更好的效果.

参考文献:

- [1] 彭喜元,彭宇,戴毓丰. 群智能理论及应用[J]. 电子学报,2003,31(12A):1982—1988.
- [2] Laura Diosan, Mihai Oltean. What else is the evolution of PSO telling us[J]. Journal of Artificial Evolution and Applications, 2008, 8(2):1—12.
- [3] 吕士颖,郑晓鸣,王晓东. 基于免疫量子粒子群优化的属性约简[J]. 电子科技大学学报,2007,36(6):1268—1272.
- [4] 刘丽,须文波,吴小俊. 基于全局粒子群的协作型人工免疫网络优化算法[J]. 模式识别与人工智能,2009,4(2):653—659.
- [5] 江贺,胡燕,李强. TSP 问题的脂肪计算复杂性与启发式算法设计[J]. 软件学报,2009,9(2):2344—2351.
- [6] 戚玉涛,刘芳,焦李成. 求解 TSP 问题免疫算法的动态疫苗策略[J]. 西安电子科技大学学报,2008,35(1):37—42.
- [7] 蔡之华,彭锦国,高伟,等. 一种改进的求解 TSP 问题的演化算法[J]. 计算机学报,2005,28(5):823—828.
- [8] 高海昌,冯博琴,朱利. 智能优化算法求解 TSP 问题[J]. 控制与决策,2006,21(3):241—247,252.

作者简介:

吴 骏 男,(1979—),讲师,本科. 研究方向为计算机应用.
吴 俊 女,(1979—),讲师,硕士. 研究方向为智能数据挖掘.