

# 基于移民策略求解动态 TSP 问题的遗传算法<sup>①</sup>

付兴武, 张剑光

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

**摘要:** 在标准遗传算法(SGA)中加入移民策略可以丰富种群多样性, 使 SGA 能够更好的适应环境的变化。为了改善基于移民策略的遗传算法在搜索空间内的探索能力, 受原对偶映射思想的启发, 设计了基于原对偶映射的移民策略(Primal-Dual based Immigrants, PDI), 并将这种策略加入到遗传算法中, 求解动态旅行商问题(Dynamic Travelling Salesman Problem, DTSP)。仿真结果表明, 与基于其他移民策略的遗传算法相比, PDIGA 能够更好的适应环境的变化。

**关键词:** 移民策略; 遗传算法; 原对偶映射; 动态旅行商问题

## Genetic Algorithm Based Immigrants for Dynamic Travelling Salesman Problem

FU Xing-Wu, ZHANG Jian-Guang

(Department of Electrical Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

**Abstract:** Add immigrants in the standard genetic algorithm can enrich the population diversity, so that SGA can better adapt to environment changes. In order to improve the space exploration search capabilities of genetic algorithm based on immigrants, inspired by primal-dual, designed Primal-Dual based Immigrants(PDI), and add PDI to SGA to solve the Dynamic Travelling Salesman Problem(DTSP). Simulation results show that PDIGA is better able to adapt to environment changes to other genetic algorithms based on immigrants.

**Keywords:** immigrants; genetic algorithm; primal-dual; DTSP

## 1 引言

动态旅行商问题(DTSP)的研究在现实生产和生活中具有非常广泛的意义, 可用于描述运输、通信、交通阻塞、网络负荷分配等许多问题。标准遗传算法(SGA)在 DTSP 问题的应用研究中, 随着迭代次数增加、种群容易出现过早收敛的现象, 最终导致解的质量不高, 表明 SGA 对环境变化的适应能力不强<sup>[1]</sup>。

保持种群的多样性能够保证遗传算法(GA)可以适应环境的动态变化。移民的方法是增加种群多样性的主要并且非常有效的方法。Grefenstette<sup>[2]</sup>提出了一种基于随机移民策略的遗传算法(RIGA): GA 运行的每一代, 种群中的一部分个体被随机产生的新个体取代。取代个体的数量由替换率决定。Cheng 和 Yang<sup>[3]</sup>提出了一种基于精英移民策略的遗传算法(EIGA): 前一代种群中的最好个体通过变异操作产生一些移民个体,

这些移民个体将替换当代种群中最差的个体。与标准遗传算法(SGA)相比, 这两种基于移民策略的遗传算法在环境发生变化的时候, 均能够表现出比 SGA 更强的适应性。

## 2 算法设计

### 2.1 算法主体思想

受自然界补体机制的启发, Yang 提出了原对偶遗传算法<sup>[4]</sup>(PDGA), 并在 0-1 编码函数优化问题上获得了很成功的应用。在 PDGA 中, 每个染色体都在给定距离空间(如 Hamming 距离空间)内将与之相距最远的染色体定义为它的对偶染色体。在 PDGA 运行过程中, 在迭代进入下一代之前总是选择一部分低适值的个体进行对偶运算, 并且给那些优秀的对偶染色体提供传递到下一代的机会。这种在原对偶染色体之间的原对

① 收稿时间:2010-08-04;收到修改稿时间:2010-09-06

偶映射(PDM)能够改善 PDGA 在搜索空间里的探索能力,使搜索更为有效率。

为了提高移民策略的空间探索能力,本文将原对偶映射的思想引入到移民策略中,构成基于原对偶映射的移民策略(PDI)。并将此方法加入了 SGA,重新定义的编码方式和新的对偶映射。设计了基于原对偶映射移民策略的遗传算法(PDIGA)。

## 2.2 基于原对偶映射的移民策略

针对动态 DTSP 问题,本文采用整数编码形式,为了描述方便,首先介绍 PDIGA 算法中的一些相关定义:

初始染色体(Primal Chromosome):是指当前种群中直接记录的染色体;

对偶染色体(Dual Chromosome):是指将原染色体经过对偶映射变换得到的染色体记  $x' = \text{dual}(x)$ ,其中  $x, x'$  分别表示原染色体和对偶染色体,  $\text{dual}(\cdot)$  表示原对偶映射(PDM)函数。

PDM 是在原染色体中随机选择某些指定基因位上的基因,所选的基因位的数量为人为设定值。然后,对被选择的基因位上的基因进行一次移位变换。被选择的基因数大于等于 2 小于等于染色体上所有基因数总数。例如,一个长度为 L 的染色体  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_L\}$ ,若假定被选定的基因位为(2,5,7)则它的对偶染色体为:  $x' = \text{dual}(x) = \{x_1, x_7, x_3, x_4, x_2, x_6, x_5, \dots, x_L\}$ 。

在算法运行过程中,当每一代的染色体进行完交叉、变异等遗传操作后,选出当代种群中最优秀的那个染色体,然后对这个染色体进行原对偶运算,产生一定数量的新的对偶染色体替换种群中同等数量适值不好的染色体,这样就完成了一次移民操作。产生的对偶染色体的数量为人为设定值。

## 2.3 PDIGA 算法执行过程

### (1) 染色体编码和初始化

本文采用整数编码。令:

$X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n), 1 \leq x_i \leq n_i, n_i$  为第  $i$  位基因的最大取值。这里要求编码的不同位上的基因取不同值。染色体长度根据待求解问题的规模确定。染色体初始化采用一定的启发式策略,通过计算机自动生成。

### (2) 染色体交叉策略

本文采用顺序交叉(Order Crossover, OX)。顺序交叉可以看做是带有不同修复程序的部分映射交叉

(Partially Mapped Crossover, PMX)的变形。与 PMX 交叉策略相比,OX 较好地保留了相邻关系、先后关系,能更好的满足 DTSP 问题的需要。

### (3) 染色体变异策略

采用 swap 变异方法,根据变异概率  $p_m$  在一个序列中随机选择两个基因位,然后对这两个基因位以及这两个基因位之间的基因进行逆转得到变异后的个体。

### (4) 选择策略

本文采用一种新的选择策略。在交叉变异后,得到的新的个体和原来的种群中的所有个体放在一起,依据适值从好到坏排列染色体。然后在从中选出数量等于种群规模(pop\_size)的染色体,进行下一次的迭代。

(5) 移民策略,用上一代的最好个体  $E(t-1)$  利用基于原对偶的移民策略产生  $r_i * n$  个新的个体  $P_i(t)$ ,并用  $P_i(t)$  替换当代种群  $P(t)$  中同等数量适值不好的个体。

PDIGA 算法伪码如下:

```
t := 0 and initialize population P(0) randomly
repeat
  Pi(t) := DualElite(E(t-1), ri * n )
  evaluate the elitism-based immigrants in Pi(t)
  replace the worst ri * n individuals in P(t) by
  immigrants in Pi(t)
  // standard genetic operations
  P'(t) := selectForReproduction(P(t))
  crossover(P'(t), pc) // pc is the crossover
  probability
  mutate(P'(t), pm) // pm is the mutation probability
  P(t+1) := P'(t)
until the termination condition is met // e.g., t > tmax
```

## 3 不同移民策略求解DTSP问题的仿真

### 3.1 构造动态 TSP 问题

本文采用的 DTSP 测试问题的产生过程如下:

在第  $t$  代,环境发生变化,种群中所有染色体按照某种变换准则变化一次  $f(x, t) \xrightarrow{\text{变换准则}} f(x', t+1)$ 。其中变换准则规定为根据设定的变化强度随机无重复的选择染色体中的若干基因,然后对选出的基因进行随机重新排列,最

后再将排列后的基因放回染色体相应位置。其中变化强度是指选择的基因的数量。这种构造动态测试问题的好处是可以很容易的调整环境变化的速度和强度。参数  $\rho \in (0.0, 1.0)$  用来控制变化的强度。 $l$  为染色体长度。 $\rho * l$  表示从染色体随机选出的基因数。 $\rho$  取比较大的值时表示环境变化较强, 也就是染色体中较多的基因被选出进行变化,  $\rho$  取较小时表示环境轻微的变化。 $\tau$  表示环境变化的速度, 也就是算法运行  $\tau$  代, 环境变化一次。较小的表示环境变化比较快,  $\tau$  较大时表示环境变化比较缓慢。

在本文中, 通过设置参数  $\rho$  和  $\tau$  不同的值来构成不同的动态测试问题。环境变化强度  $\rho$  被设置为 0.1, 0.2, 0.5, 0.9, 用来检测算法在环境从轻微变化 ( $\rho=0.1$  或者 0.2) 到中等强度变化 ( $\rho=0.5$ ) 再到剧烈变化 ( $\rho=0.9$ ) 中表现的性能。参数  $\tau$  被设置为 10, 50, 100 分别表示环境变化很快, 中等速度变化和缓慢变化。

### 3.2 仿真设置

从 TSP-Lib 中选出城市数  $n$  为 100 的测试函数 (KroA100), 通过对偶映射机制变化的方式来产生动态环境, 每经过代(变化周期), 染色体的映射机制发生一次对偶变化。并且和一些已有的算法进行比较, 用于比较的算法有:

SGAr: 当环境变化后重新启动 GA(SGA with restart from scratch whenever the environment changes);

RIGA: 带有随机移民的 GA(GA with random immigrants scheme);

EIGA: 基于最好个体移民的 GA(GA with the elitism-based immigrants scheme)。

以下为算法的相关参数设置: 对于所有算法, 种群规模(pop\_size)均设为 100, 交叉率设置为 0.8, 变异率设置为 0.2。RIGA, EIGA, PDIGA 中每代移民的概率  $r_i$  设置为 0.2。对于求解每一个测试问题的每一种算法, 在不改变参数的前提下独立重复运行 20 次, 每次使用随机产生的种子。对于一种算法在动态环境下的每次运行, 设置环境变化 10 次, 并且记录每一代的最好解。

这里利用动态优化问题中常用的总体性能评价价值——离线性能值指标(Offline Performance)作为评估指标:

$$\bar{F}_{BG} = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^G \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N F_{BG_j} \right)$$

$G=10 * \tau$  表示每一次运行总的代数,  $N=20$  是总的运行次数,  $F_{BG_j}$  是运行第  $j$  次第  $i$  代的最好的解。

为了测试算法在运行过程中的性能, 定义每一次运行得到的最好解的平均值计算公式为:

$$\bar{F}_{BG_t} = \frac{1}{t - \tau'} \sum_{i=\tau'}^{t-\tau'} \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N F_{BG_j} \right)$$

其中  $\tau'$  表示每一次运行, 环境变化最后一次的代数,  $t$  表示现在的代数。

所有的程序都采用 JAVA 编码, 算法均在 Intel Core Duo 2.0GHz 1GB memory PC 上运行。在离线性能指标(Offline Performance)下, 对于不同变化周期  $\tau=10, \tau=50, \tau=100$ , SGAr 算法、RIGA 算法、EIGA 算法以及 PDIGA 算法在不同变化强度  $\rho=0.1, \rho=0.2, \rho=0.5, \rho=0.9$  下的性能曲线分别如图 1、图 2、图 3 所示: 算法在各个阶段的总体性能如图 4 所示。在变化周期不同和变化强度不同的动态环境中, 用  $t$  检验的方法对所有算法在求解同一个动态测试问题时的性能和表现进行统计分析。自由度选为 38, 显著水平设为 0.05。 $t$  检验的结果如表 1 所示, 其中“+”、“-”、“~”分别表示第一个算法性能优于、劣于、近似等同于第二个算法。

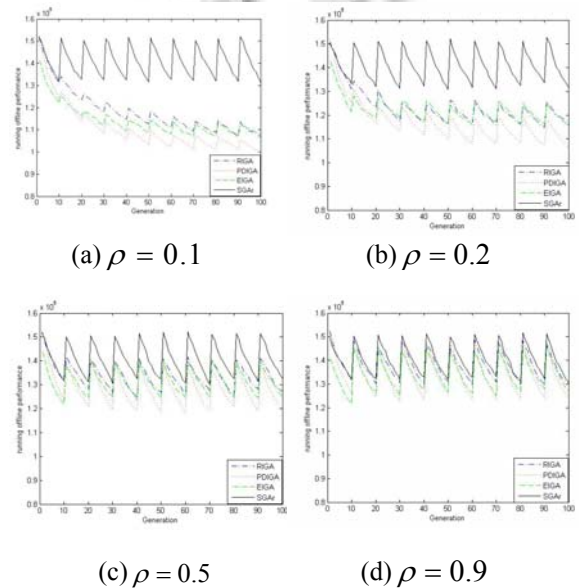


图 1  $\tau=10$  时算法求解 DTSP 问题的动态特性

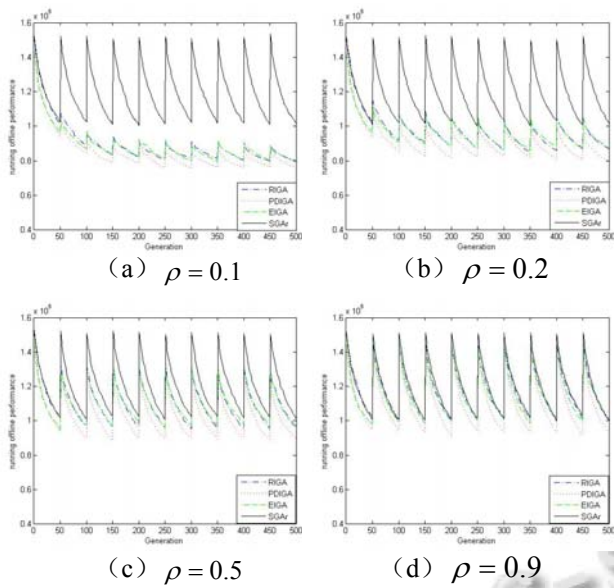


图2  $\tau = 50$ 时算法求解 DTSP 问题的动态特性

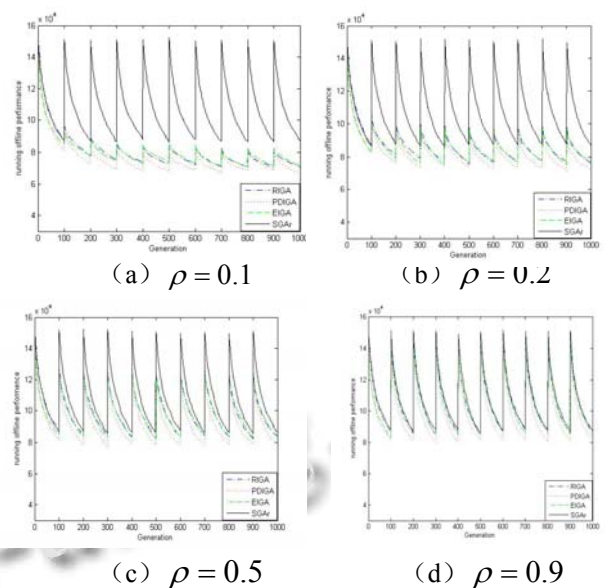


图3  $\tau = 100$ 时算法求解 DTSP 问题的动态特性

表1 算法在动态环境中的检验结果

$\tau$ -检验结果	$\tau=10$				$\tau=50$				$\tau=100$				
	$\rho$	0.1	0.2	0.5	0.9	0.1	0.2	0.5	0.9	0.1	0.2	0.5	0.9
PDIGA-RIGA		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PDIGA-SGAr		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PDIGA-EIGA		+	+	+	~	+	+	+	+	+	+	+	+
RIGA-SGAr		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
EIGA-SGAr		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RIGA-EIGA		-	-	-	-	-	~	-	-	~	~	-	-

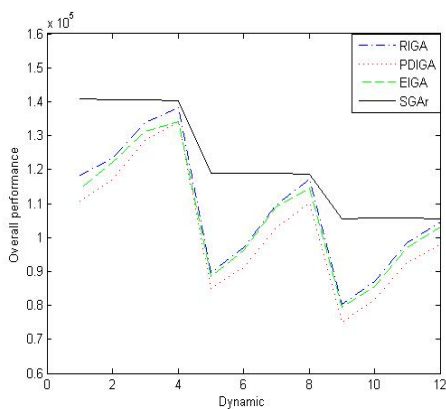


图4 总体性能

### 4 结论

从仿真结果可以看出加入移民策略的遗传算法要明显好于 SGAr。这说明移民策略的引入可以很好的保持种群的多样性，使算法能够适应环境的变化，适于

### 5 结束语

本文针对 DTSP 问题设计了 PDIGA 算法，并构造了动态测试环境对算法加以仿真。仿真结果证明在动

(下转第 202 页)

集临时域名的解析;包括和域控制器集成提供反向注册和解析;并能够进一步规范了服务器、网络设备、桌面终端命名。

### 3.5 提供二次开发的标准接口

提供二次开发的标准接口(Web Service 接口),能够与现有管理系统整合(例如信息网管理系统、桌面管理系统),形成统一管控工具。

## 4 系统成效

IP 可信接入控制系统在网络管理上可以协助我们可以获取如下的应用上的收益:

(1) 实现 IP 可信接入,提供有效的 IP 资源的使用和管理管理工具和统计工具,在 IP 地址资源利用情况分析的基础上,我们可以更合理分配和使用 IP 地址资源。

(2) 降低信息网络管理成本。提高分配 IP 地址的效率,并且通过 IP 地址可以直接追踪到终端用户,这使得网络管理人员制定各项网络管理策略将会更直接、更有效,并使得网络管理人员在查找、分析信息网络故障时大大缩短查找和定位所需要的时间。

(3) 可以对网络安全事件责任到人。在 IP 可信接入中 IP 地址和终端用户是一一对应的,这样可以确保网络中的 IP 是由经过授权的用户产生的,通过由 IDS、防火墙等网络安全设备记录下来的用户访问日志中的

IP 地址信息即可定位到具体责任人,也可以从一定程度上避免信息安全事件的发生。

## 5 结束语

IP 设备可信接入系统对信息网络的 IP 接入行为进行有效的可控、在控管理。整个系统具有很强的扩展性和可移植性。系统使 IP 地址资料信息管理规范有序,对数量众多的网络设备和终端实现了安全、有效的准入控制,减少了网络管理和运行成本,达到推行入网准许控制、IP 管理自动化的目标。经应用实践证明,本系统是一种先进的、有效的信息网络 IP 授权控制管理工具。

### 参考文献

- 1 王海涛.新一代宽带 IP 网络综合接入设备的设计探讨.电视技术,2004,(3):35-37.
- 2 段惟荣.MMDS 宽带固定无线接入技术综述.无线电气工程,2003,33(1):35-38.
- 3 Al Chisholm. A Technical Overview of the OPC Dada Access Interface. Intellution Inc. 1999: 78-81.
- 4 郑志蓉.可信接入系统.网络安全技术与应用,2008,(9):32-33.
- 5 秦超.基于数字证书认证的电力安全拨号认证系统.电力系统自动化,2009,(10):52-55.

(上接第 226 页)

态环境中 PDIGA 算法与其他基于移民策略的遗传算法相比,具有最快速的适应新的环境,追踪最优解的能力,表现出了很好的性能,能够较好的适应环境的动态变化。

### 参考文献

- 1 Cobb HG, Grefenstette JJ. Genetic algorithms for tracking changing environments. Proc. of International Genetic Algorithms Conference, 1993.

- 2 Grefenstette JJ. Genetic algorithms for changing environments. IEEE Proc. of Congress on Evolutionary Computation, 2004: 1278-285.
- 3 Cheng H, Yang SX. Genetic algorithms with elitism-based immigrants for dynamic shortest path problem in mobile Ad Hoc networks. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009), 2009: 3135-3140.
- 4 Yang S. The primal-dual genetic algorithm. Proc. of the 3rd International Conference on Hybrid Intelligent System, 2003.