

文章编号: 1001-0920(2003)03-0382-03

搜索空间代换法及其在城市交通控制中的应用

史延科, 史忠科

(西北工业大学 空中交通管理研究所, 陕西 西安 710072)

摘要: 针对常用遗传算法局部搜索能力差, 导致计算速度缓慢、精度差等问题, 提出一种搜索空间代换的新遗传算法。该算法保留了普通遗传算法的全局搜索性能, 并通过多次搜索空间的代换提高了局部搜索能力。改进后的新方法在每次代换后只需改变解码规则, 不需重新编码, 也不需增加编码的长度, 从而保证了计算效率。采用该方法对城市多车道、四相位的动态交通网络控制策略进行了多目标优化计算。应用结果表明, 采用新的遗传算法可在同等情况下减少车辆堵塞, 提高城市交通网络的运行能力。

关键词: 遗传算法; 搜索空间代换; 局部搜索能力; 城市交通控制

中图分类号: TP202.7

文献标识码: A

Search-space substitution algorithm and its application to urban traffic control

SHI Yan-ke, SHI Zhong-ke

(Institute of Air Traffic Management, Northwestern Polytechnical University, Xi an 710072, China)

Abstract: A new search-space substitution based genetic algorithm is presented to solve the problem that local space search or local convergence produces computational inefficiency and inaccurate optimization results. The new genetic algorithm adopts multi-search-space substitution and thus has whole-space search capability of ordinal genetic algorithm and high local convergence. After each substitution, the new method changes the decoding rule without renewing or lengthening the coding. Thus high efficiency of optimization computation is reached. The new algorithm is applied to the control decision of multi-driveway, four-phases dynamic urban traffic networks. Results show that the capacity of urban traffic will be increased by using the new genetic algorithm.

Key words: Genetic algorithm; Search space substitution; Local search capability; Urban traffic control

1 引言

遗传算法(GA)是一种不要求目标函数及约束条件连续、可微且具有随机性的全局搜索方法。一些实验研究发现, GA 可用极快的速度收敛到最优解的 90% 左右, 但要达到真正的最优解则要花费很长时间。一些对比实验还表明, 同时兼顾收敛速度和解的品质两个指标, 单纯的遗传算法未必比其他搜索

方法更优越^[1-5]。这表明 GA 具有较强的全局搜索能力, 而其局部搜索能力欠佳。

本文针对遗传算法有较强的全局搜索能力, 而其局部搜索能力比较薄弱的特点, 给出一种搜索空间代换方法, 用以改进遗传算法。为此, 将遗传算法的搜索过程分为快速搜索和缓慢逼近两个阶段。假设对某一问题用 GA 搜索其解需要 N 代, 快速搜索

收稿日期: 2002-01-14; 修回日期: 2002-05-20。

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(60134010)。

作者简介: 史延科(1961—), 男, 陕西岐山人, 博士生, 从事大系统理论与应用的研究; 史忠科(1956—), 男, 陕西岐山人,

教授, 博士生导师, 从事交通控制的研究。

阶段需要 N_1 代, 缓慢逼近阶段需要 N_2 代, $N_1 + N_2 = N$ 。可能的情况是 $N_2 \gg N_1$ 。由模式定理及积木块假设知, 在后 N_2 代, 具有高阶、长距以及适应度高于群体平均适应度的模式的个体占群体的大部分, 因而被选中作变异操作的概率自然高于具备其他模式的个体被选中的概率。

变异操作有其积极的进化作用, 也有可能起到消极的退化作用。如果对一个具有高适应度的个体施加变异操作而起到退化作用(即其适应度降低), 就会在新一代中不如其父个体的品质好而遭遗弃。这样, 该变异操作的施加与否就没有区别。如果这种现象反复出现, 就会减缓搜索的速度, 这可能是影响 GA 局部搜索能力的一个因素。因此需要对 GA 加以改进, 希望在一定适应范围内和在一定程度上, 改善或提高 GA 的局部搜索能力。

交通拥挤、阻塞已成为大中城市的普遍问题。在现有条件下, 解决或缓解城市交通拥挤问题的关键是实现交通优化控制, 以便充分发挥现有道路的潜力, 从而消除或缓解交通拥挤、阻塞的现状。对于城市交通的多车道、四相位、宏观动态网络数学模型的优化性能指标及其约束条件, 在采用联网感应多目标优化控制时, 该多目标优化是多变量、多约束条件的, 且约束条件是不可微的, 超出了经典优化算法的适用范围^[6]。本文采用改进的遗传算法对其求解, 验证了新算法的有效性。

2 改进的遗传算法

新算法的实质是反复利用 GA 的前期快速搜索能力, 不断改变其搜索空间, 使新的搜索总是在全局展开。即用简单 GA 搜索 N_1 代, 确定最优解的一个邻域, 再次应用简单 GA 在该邻域内进行新的搜索, 如此反复直到最终求得满意解。对 k 个变量问题求解的新方法描述如下:

设有 $k(k-1)$ 个未知元, $(\alpha, \dots, \alpha_i, \beta_1, \dots, \beta_2, \dots, \gamma_1, \dots, \gamma_k)$ 表示任意一个个体的编码, 算法如下:

1) 初始化 k 个辅助存储变量及判定 N_1 用的阈值, 用 GA 搜索最优解;

2) 评价现有种群, 若满足要求, 则终止计算, 否则, 执行下一步;

3) 考察个体适应度, 判定最优解的特征, 根据阈值确定 N_1 , 如果已到达 N_1 代, 则选择并保留具有最优解特征的个体空间, 记为 P_0 ;

4) 在 P_0 中抽取个体的共有的按段最小模式(按变量分段的最短定义距模式), 设为

$$(\alpha, \dots, \alpha_i, x_1, \dots, x_{i-1}, \beta_1, \dots, \beta_2, y_1, \dots, y_{i-2}, \dots, \gamma_1, \dots, \gamma_k, z_1, \dots, z_{i-k})$$

将 $(\alpha_1, \dots, \alpha_i, 0, \dots, 0)_{i_1}, (\beta_1, \dots, \beta_2, 0, \dots, 0)_{i_2}, \dots, (\gamma_1, \dots, \gamma_k, 0, \dots, 0)_{i_k}$ 分别解码后, 累计存储到各个辅助存储变量中;

5) 重新生成初始种群, 用 GA 搜索对每个个体作适应度评估时, 必须先解码, 再将其与各个辅助变量求和后再行考察其适应度;

6) 如果满足要求则结束, 否则选择并保留具有最优解特征的个体空间, 不妨仍记为 P_0 , 并转 4)。

3 新算法在城市交通联网多目标优化中的应用^[6]

根据各路口过去实际车辆到达情况, 预测各路口未来车辆到达情况。根据在一个周期时间段内, 使各个交通路口各方向的车道在绿灯结束时的等待放行车辆数总和最小, 且使各个交通路口各方向在一个周期结束时的等待放行车辆数总和尽可能小的原则, 通过优化确定各路口的各相位时间 $t_1^j, t_2^j, t_3^j, t_4^j$, 得相邻路口的相位差 $t_{j,j+1}^j$ 。

取车流速度和相位差的关系为

$$t_{j,j+1}^j = d_{j,j+1} / v_{j,j+1}^j \quad (1)$$

取车流速度和车流分布密度之间的关系为

$$v_{j,j+1}^j = v_f / (1 + \exp(a(\rho_0 - \rho_{j,j+1}^j) / \rho_0)) \quad (2)$$

取交叉口 j 和 $j+1$ 路段上的车流分布密度为

$$\rho_{j,j+1}^j = d_{j,j+1} / (t_{j,j+1}^j (a_{sr}^j + a_{wm}^j + a_{tl}^j)) \quad (3)$$

对 j 路口, 主优化函数取在一个周期内各方向各车道绿灯结束时的等待延迟数之和, 次优化函数取各方向各车道在一个周期结束时的等待延迟数之和, 即

$$f_1 = t_{el4}^j + t_{em3}^j + t_{er4}^j + t_{wl4}^j + t_{wm3}^j + t_{wr4}^j + t_{sl2}^j + t_{sm1}^j + t_{sr4}^j + t_{nl2}^j + t_{nm1}^j + t_{nr4}^j \quad \min \quad (4)$$

$$f_2 = t_{sl4}^j + t_{em4}^j + t_{er4}^j + t_{wl4}^j + t_{wm4}^j + t_{wr4}^j + t_{sl4}^j + t_{sm4}^j + t_{sr4}^j + t_{nl4}^j + t_{nm4}^j + t_{nr4}^j \quad \min \quad (5)$$

对每相位时间有约束

$$\begin{cases} T^i = t_1^j + t_2^j + t_3^j + t_4^j \\ 10 & t_1^j & T^i - 30 \\ 10 & t_2^j & T^i - 30 \\ 10 & t_3^j & T^i - 30 \\ 10 & t_4^j & T^i - 30 \end{cases} \quad (6)$$

表 1 不同优化算法计算结果的比较

周 期	相位 1		相位 2		相位 3		相位 4		总延迟	
	GA	新 GA	GA	新 GA	GA	新 GA	GA	新 GA	GA	新 GA
1	54.117 645	29.450 981	16.274 509	29.372 549	37.843 136	29.450 981	11.764 709	31.725 489	81	17
2	59.019 608	29.137 255	17.647 058	29.686 274	28.823 530	29.450 981	14.509 804	31.725 491	78	17
3	55.490 196	28.431 372	19.215 687	28.352 942	33.921 570	11.372 547	29.294 117	33.921 570	77	19
4	48.823 528	28.745 098	33.333 332	28.352 942	26.078 432	11.764 708	29.921 568	32.980 392	82	18
5	59.607 841	28.039 215	14.901 960	28.509 804	34.901 962	10.588 236	28.980 392	34.470 589	74	19
6	59.607 841	28.901 960	14.902 960	29.764 706	34.901 962	10.588 236	29.843 138	31.490 196	74	17
7	56.274 509	30.000 000	26.274 509	29.843 138	25.098 040	12.352 942	29.294 117	30.862 745	76	17
8	52.156 864	27.411 764	19.019 608	29.529 411	37.647 060	11.176 468	29.764 706	33.294 121	83	18
9	56.666 668	30.000 000	22.156 862	29.843 138	29.607 843	11.568 626	28.666 666	31.490 196	74	17
10	56.666 668	29.529 411	22.156 862	29.764 706	29.607 843	11.568 626	29.843 138	30.862 745	74	17

设各路口各方向各车道车辆到达交叉口按照不同的三角规律变化,单位时间内路口 (j, k) 的放行车辆数为 2 辆/ s ;路口 (j, k) 各方向 3 个车道的预测分流比为 $0.2, 0.4, 0.4$ 。路口 (j, k) 和路口 $(j + 1, k)$ 间的距离为 400 m。自由车流速度取为 600 m/min,路口间的过渡车流分布密度 ρ_0 取为 50 m/辆。由遗传算法结果给出各相位时间,仿真计算了 10 个周期,其中确定终止代 N_1 的阈值取为 0.91 。新旧算法的计算结果如表 1 所示。其中,总延迟数是路口各方向在一个周期结束时等待放行车辆数总和。

4 结 语

遗传算法中适应度函数的定标是指对目标函数值的某种映射,所以遗传算法的选择强度可通过适应度函数的变化加以控制。通常,在优化的初期阶段选择强度稍低一些,以避免群体被少数适应度较高的个体所支配;在优化过程接近收敛的后期,由于各个个体间适应度的差异较小,继续优化的潜能较低,因此适当地提高选择强度可加速遗传算法收敛到一个更优解的进程^[3]。遗传算法的搜索空间代换法为此提供了参考依据,并且可以和适应度函数的定标方法结合使用,从而实现适应度函数定标的动态变化。新方法的细化搜索能力是逐步加强的,可动

态地改变优化问题的约束条件,逐步缩小可行解集合。

参考文献(References):

- [1] 刘勇,康立山,陈毓屏,等.非数值并行算法——遗传算法(第二册)[M].北京:科学出版社,1995.
- [2] 丁承民,张传生,刘辉.遗传算法纵横谈[J].信息与控制,1997,26(1):40-47.
(Ding Chengmin, Zhang Chuansheng, Liu Hui. Discussions on some issues in genetic algorithm[J]. *Information and Control*, 1997, 26(1): 40-47.)
- [3] 陈国良,王煦法,庄镇泉,等.遗传算法及其应用[M].北京:人民邮电出版社,1996.
- [4] Kitano H. Empirical studies on the speed of convergence of the neural network training by genetic algorithm[A]. *Proc of AAAI-90*[C]. Boston, 1990.
- [5] Seywald H, Kamar R R, Deshpande S M. Genetic algorithm approach for optimal control problems with linearly appearing controls[J]. *J of Guidance, Control and Dynamics*, 1995, 18(1): 177-182.
- [6] 周鹏,史忠科,陈小锋.城市交通联网控制及其多目标优化实现[J].控制理论与应用,2002,19(2):215-219.
(Zhou Peng, Shi Zhongke, Chen Xiaofeng. The network control of urban traffic and its multi-objective optimal realization[J]. *Control Theory and Applications*, 2002, 19(2): 215-219.)