

微观仿真模型参数标定中智能算法应用的探讨

杨 柳¹ 高亚聪² 崔欣宇³ 周晨静³

1. 中电建路桥集团有限公司 北京 100160

2. 北京工业大学 北京 100124

3. 北京建筑大学通用航空北京实验室 北京 102616

摘 要: 智能寻优算法的选取决定了模型参数标定的效率, 是科学应用微观交通仿真技术的关键步骤。依托 VISSIM 仿真平台, 分别选取遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法和萤火虫算法开展信号交叉口微观交通仿真模型参数标定实验, 对比分析各智能算法的运行效率与求解精度。实验结果表明4种智能算法均能较好解决参数标定问题, 其中遗传算法效果最好, 模拟退火算法次之, 粒子群算法收敛速度较快, 但求解精度相对较低, 萤火虫算法的收敛速度和求解精度均较低。进一步对各种算法内在机理进行分析, 以期为更好地选取优化算法开展微观交通仿真模型参数标定工作提供参考。

关键词: 微观交通仿真; 仿真参数标定; 智能算法; 交通工程

Application of intelligent algorithm in parameter calibration of microsimulation model

Liu Yang¹, Yacong Gao², Xinyu Cui³, Chenjing Zhou³

1. Power China Road and Bridge Group Co., Ltd., Beijing, 100160

2. Beijing University of Technology, Beijing, 100124

3. General Aviation Beijing Laboratory of Beijing Jianzhu University, Beijing 102616

Abstract: The selection of the intelligent optimization algorithm determines the efficiency of the model parameter calibration, which is a key step for the scientific application of the micro-traffic simulation technology. Relying on the VISSIM simulation platform, the genetic algorithm, particle swarm algorithm, simulated annealing algorithm and firefly algorithm are respectively selected to carry out the parameter calibration experiment of the microscopic traffic simulation model parameters of the signal intersection, and to compare and analyze the operation efficiency and solution accuracy of each intelligent algorithm. The experimental results show that the four intelligent algorithms can better solve the parameter calibration problem, among which the genetic algorithm has the best effect, the simulated annealing algorithm is the second, the particle swarm algorithm converges fast, but the solution accuracy is relatively low, and the firefly algorithm convergence speed and solution accuracy are low. The internal mechanism of various algorithms is further analyzed to provide a reference for better selecting the optimization algorithms to carry out the parameter calibration of the micro-traffic simulation model.

Keywords: micro traffic simulation; simulation parameter calibration; intelligent algorithm; traffic engineering

基金项目: 北京建筑大学研究生创新项目 (PG2022033)

作者简介: 杨柳, 1976, 男, 汉, 籍贯: 贵州毕节, 大学本科, 研究方向: 交通仿真。

通讯作者简介: 高亚聪, 1994, 男, 汉, 籍贯: 河北任丘, 硕士研究生, 研究方向: 交通仿真。

引言:

微观交通仿真模型参数标定是科学应用微观仿真技术应用的前提, Benekohal^[1]于1991年提出微观交通仿真模型参数校正和验证工作框架, 国内外研究者依据实际工作经验逐步构建更为详尽可行的模型标定流程。随着计算机计算能力的飞速发展, 智能优化技术(遗传算法、模拟退火算法等)也得到了广泛的应用, 仿真模型标定工作可开展参数全样本量系统性寻优工作。智能算法的全样本寻优逐步代替实验设计方法, 逐渐成为当前微观仿真模型参数标定工作的主要手段。然而到目前为止, 微观交通仿真模型参数标定工作并没有形成明确的智能算法选取规则。本文在既有微观仿真标定流程的基础上, 选取遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法、萤火虫算法等4种智能算法对仿真模型参数进行寻优校正, 探讨各算法的性能, 为选取优化算法步骤提供参考借鉴。

一、仿真模型参数标定实验设计

(一) 整体标定架构

国内学者根据我国实际情况开展了微观仿真模型参数标定工作, 孙剑^[2]等提出了仿真模型参数校正的流程, 建立了仿真模型参数校正的遗传模拟退火启发式算法, 实现了对VISSIM的仿真参数的自动化校正; 张清华、贾利民^[3]等人基于遗传算法并结合VB.NET及COM接口技术开发了自动化参数标定工具; 李振龙^[4]等针对车辆在主路和辅路运行特征的差异, 提出了一种针对主辅路的微观交通仿真模型参数标定方法。总结当前微观仿真模型参数标定流程, 主要仿真流程为确定校核指标、确定参数标定体系、参数敏感性分析、优化算法选取、目标函数设计、仿真运行与结果取值。

(二) 校核指标确定与基础数据采集

校核指标的选取决定了仿真模型参数的标定结果, 应用文献^[5]提出应用敏感性分析选取校核指标, 综合选取受最多参数影响的指标作为仿真模型参数校核指标, 最终确定延误作为本文的校核指标。研究选取北京市西大望路与广渠路信号交叉口作为调查地点。调查方法采用视频拍摄法和人工计数法, 调查时间选取工作日早高峰7:00-9:00, 并对该时间内各个进口道的交通流量数据以5分钟为统计间隔进行统计分析, 经计算得到车均延误实测值为93.6s, 各进口道的小时交通流量如表1所示。

信号控制方案采用周期时长为158s的4相位配时方案, 依托VISSIM仿真模型搭建信号交叉口仿真场景, 如图1(a)所示, 信号配时方案如图1(b)所示。

表1 各进口道的小时交通量 (pcu/h)

方向	左转	直行	右转
东	255	1260	495
西	195	1425	360
南	465	600	255
北	495	555	315



(a) 仿真场景图



(b) 配时方案

图1 仿真场景和信号配时方案

(三) 仿真模型标定参数集确定

常用微观仿真模型参数有OB_d、N_pr、AX_average、BX_add、BX_mult、ACC_max、ACC_ac、D、T_dis、GAP_min、ABX、CO_ac等12个参数。为了减少标定对象种类和仿真工作量, 本文结合方差分析的思想, 对12个参数进行敏感性分析, 最终确定AX_average、BX_add、BX_mult和ABX共4个参数对校核指标延误有影响, 因此, 以这4个参数作为仿真模型标定参数集, 其中AX_average取值范围为1~4、BX_add为1~5、BX_mult为1~6、ABX为0.1~1。

(四) 模型参数标定与结果

本文选取遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法和萤火虫算法等4种智能算法对仿真模型参数进行标定。在开展4种智能算法对比试验时, 设置相同的初代参数组合方案, 设置相同的最终迭代次数。4种智能算法初始化均设定100种参数组合方案, 每组参数情况下分别开展5次随机种子(20、60、100、140、180)实验, 调用VISSIM仿真模型的外部程序接口COM, 利用

Visual Basic 设计仿真参数自动化运行程序, 以延误相对误差作为适应值函数, 记录每一代相对平均误差, 各算法迭代终止条件为平均误差变化趋于平稳。公式 (1) 适应值函数如下:

$$F = \left| \left(d_i^s - d^r \right) / d^r \right| \quad (1)$$

其中: F 为适应值函数, d_i^s 为仿真延误值, d^r 为实测值。

经过 17 次迭代, 各算法均开展 8500 次仿真实验, 各算法平均误差变化逐渐趋于平稳, 均已基本达到收敛, 具体图 2 所示。各算法标定参数值误差水平如表 2 所示。

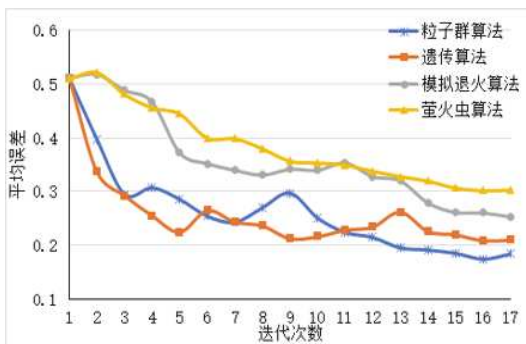


图 2 各算法平均误差变化情况

表 2 各算法标定结果误差

方法	标定参数值	延误/s	误差 %
实测值		93.6	
默认值	(2.00, 2.00, 3.00, 0.60)	64.3	31.30
粒子群算法	(1.54, 3.55, 3.22, 0.43)	75.3	19.55
遗传算法	(2.28, 1.64, 2.05, 0.87)	85.1	9.08
模拟退火算法	(2.50, 2.60, 2.73, 0.50)	87.6	6.41
萤火虫算法	(2.08, 2.80, 2.95, 0.55)	83.0	11.32

二、智能算法选取对标定结果影响分析

(一) 量化影响分析

1. 收敛速度

从各算法平均误差变化情况看, 如图 2 所示, 粒子群算法在第 15 代基本达到收敛条件, 遗传算法在第 16 代收敛, 模拟退火算法和萤火虫算法均在第 17 代完成收敛, 因此收敛速度最快的是粒子群算法, 接下来是遗传算法, 模拟退火算法和萤火虫算法收敛速度较慢。

2. 求解精度

从各算法仿真延误结果看, 如表 2 所示, 与默认值相比, 各算法均能较好地解决参数标定的问题, 但求解精度最好的是模拟退火算法, 接下来分别是遗传算法、萤火虫算法, 最差的是粒子群算法。

(二) 定性影响分析

1. 收敛速度

粒子群算法通过寻找个体极值和全局极值来更新位置和速度, 微粒间有着强大的联想记忆功能, 每次迭代过程微粒间会共享此时搜集到的信息, 整个群体的微粒大致会向同一个地方快速集聚, 因此收敛速度最快; 遗传算法通过不断地淘汰表现不好的个体, 对筛选出的优秀基因进行突变和重组, 随着迭代次数的增加, 优秀基因变化幅度越来越小, 会很快收敛到局部极值, 之后会在局部极值附近小幅度震荡, 因此收敛速度也较快; 模拟退火算法降温是一个相对缓慢的过程, 从某一较高初温出发, 伴随温度参数的不断下降, 结合概率突跳特性在解空间范围内随机寻找目标函数的全局最优解, 虽得到的解精度较好, 但会造成收敛速度慢的缺点; 而萤火虫算法中的萤火虫会先向局部亮度高的萤火虫靠近, 再靠近全局亮度最高的萤火虫, 因此萤火虫算法较慢。

2. 求解精度

粒子群算法中全局极值和个体极值的变化会使各参数位置和速度方向发生改变, 导致各参数值在解空间范围内离散型分布, 而参数标定结果是对误差范围在 5% 以内的参数组合方案均值处理得到, 使离散分布的各参数值趋于均值, 并不能反应各参数的真实情况, 因此粒子群算法在平均误差较小的情况下, 求解精度最低; 萤火虫算法在解空间范围内, 亮度低的萤火虫会向亮度高的移动, 萤火虫间的相互吸引度受两个萤火虫间距离影响, 由于亮度低的萤火虫受到局部相对亮度高的萤火虫吸引度大于全局亮度最高萤火虫的吸引度, 导致萤火虫会向局部亮度最高的萤火虫移动, 因此该算法的求解精度较低; 与萤火虫算法和粒子群算法相比, 遗传算法不用控制每次迭代的步长和速度, 而通过不断淘汰表现不好的个体达到收敛, 因此遗传算法的求解精度较好; 而模拟退火算法与遗传算法相比, 无须突变和重组等操作, 下一代个体与上一代个体进行比较, 适应值小的个体将继续更新, 适应值大的个体以概率的方式选择下一代, 整个迭代过程会朝着最优解方向不断靠近, 因此模拟退火算法的求解精度最好。

三、研究结论与展望

本文依托微观交通仿真模型参数标定实验, 从定性、定量两个维度对常用的四种智能优化算法进行对比分析, 结果表明四种智能算法均能解决微观仿真模型参数标定问题, 但由于各算法寻优迭代机理和对初代解分布敏感性不同, 导致各算法收敛速度和求解精度有所差异。其中遗传算法通过交叉和变异方式进行概率化寻优, 使用

简单规则就能自动获取和指导优化的搜索空间, 算法精度与收敛性均较为理想; 模拟退火算法每次从当前解的临近解空间中选择一个最优解作为当前解, 同时以一定概率来接受一个比当前解要差的解, 以避免陷入局部最优解, 也减小了对初代解分布的依赖, 但其退火过程即收敛速度将非常缓慢, 因此模拟退火算法较遗传算法次之; 粒子群算法通过粒子之间的协作和信息共享来寻找最优解, 受惯性权重等内置控制参数影响程度较小, 其收敛速度较快, 但受初代解分布结果影响程度较大, 每一个粒子迭代过程中均会和自己搜集过的信息和群体搜集到的信息比较, 全局极值和个体极值发生改变之后, 整个粒子群更新的方向和速度将发生改变, 在这样的机制下会若初代结果中没有全局极值和个体极值, 而均为局部极值, 粒子群算法的求解精度和效率均会降低; 萤火虫算法中萤火虫之间的吸引度受距离和亮度两个因素影响, 受初代分布结果影响, 会造成局部亮度最高的萤火虫比全局亮度最高的萤火虫吸引度还大, 导致萤火虫会先向局部亮度最高的萤火虫移动, 再向全局亮度最高的萤火虫移动, 因此萤火虫算法的求解精度和收敛速度均不是很理想。

在对智能算法进行仿真模型参数标定应用时, 可根据先验知识对初代分布结果进行定性分析, 同时设定各算法内置参数值时应加强搜索的目的性去调试各参数值, 以期达到各算法效果最优的状态。除此之外, 还应加强算法的综合使用, 如粒子群算法结合模拟退火算法进行应用, 弥补各算法的不足之处。

参考文献:

- [1]BENEKOHAL R. Procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1991. Volume 1320: pp. 190-202.
- [2]孙剑, 杨晓光, 刘好德, 等. 微观交通仿真系统参数校正研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 01: 48-50+159.
- [3]张清华. VISSIM 微观交通仿真模型校正研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [4]李振龙, 王保菊, 金雪. 针对主辅路的 Vissim 仿真模型参数标定方法[J]. 交通信息与安全(2): 51-56.
- [5]周晨静, 荣建, 陈春安. 面向微观交通仿真实验的模型参数敏感性分析方法[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(11): 1728-1733.