

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.03.005

机动车尾气排放测算行驶周期的自动建立方法

张 脩^{1,2}, 赵鸿铎¹, 赵队家²

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804;

2. 山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室, 山西 太原 030006)

摘 要: 为了建立用于机动车尾气排放测算的行驶周期, 利用便携车载尾气采集装置(PEMS)系统和 GPS 装置进行了大量的机动车尾气排放和驾驶活动数据采集, 并对数据进行了预处理, 提出了短行程的评价标准, 给出了最优短行程自动搜索的 2 种启发式算法(遗传算法(GA)和离散同步扰动随机逼近(DSPSA)), 对建立的行驶周期进行了预测尾气排放总量的有效性验证。结果表明: 2 种启发式算法均能有效地解决行驶周期自动建立问题, GA 算法优化得到的行驶周期更有代表性, 该行驶周期能以相对较小的误差预测尾气排放总量。建议将 GA 算法作为开发其他城市的行驶周期的算法工具。

关键词: 机动车尾气排放; 行驶周期; 启发式算法; 遗传算法; 离散同步扰动随机逼近

中图分类号: U416.216

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2015)03-0028-11

Automatic approach to develop driving cycles for estimation of vehicle emissions

ZHANG Xiao^{1,2}, ZHAO Hongduo¹, ZHAO Duijia²

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, P.R.China; 2. Key Laboratory of Highway Construction and Maintenance Technology in Loess Region, Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan 030006, P.R.China)

Abstract: In order to generate a driving cycle for evaluation of vehicles emissions, extensive emission data and driving activity data are collected by using a Portable Emission Measurement System (PEMS) and a GPS device. The collected data are preprocessed and the evaluation criterion for microtrips is proposed. Two heuristic algorithms, Genetic Algorithm (GA) and Discrete Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation (DSPSA) are given to search the best microtrips automatically. The prediction of vehicle emissions using generated driving cycle is validated. Research results show that both heuristic algorithms are able to solve the problem of automatic generation of driving cycles. The driving cycle developed by GA is more representable and it can predict the total vehicle emissions with a relatively small error. Therefore, GA is recommended for the generation of driving cycles in other cities.

Key words: vehicle emissions; driving cycles; heuristic algorithm; Genetic Algorithm (GA); Discrete Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation (DSPSA)

收稿日期: 2015-01-20

基金项目: 山西省交通建设科技项目(11-2-13)。

Supported by Shanxi Provincial Transportation Construction Project(11-2-13).

作者简介: 张脩(1980-), 男, 高级工程师, 博士, 研究方向为道路交通工程, (E-mail) xiaozhang2008@gmail.com。

机动车尾气排放污染是目前世界上许多城市和国家面临的一个严重环境问题。据粗略统计,我国大城市空气污染物中,70%以上的一氧化碳(CO)、40%以上的氮氧化物(NO_x)和80%以上的碳氢化物(HC)是由城市交通活动造成的。此外,交通活动也是颗粒污染物(PM)的主要来源。统计数据表明,在我国和一些发达国家中,交通运输系统产生的排放在整个产业中占第2位。控制交通运输系统机动车尾气排放是有效缓解城市环境污染问题的重要途径。有效控制一个地区或国家的机动车尾气排放的首要工作是准确量化机动车的排放量,然后才能相应确定排放削减量和尾气污染控制技术。因此,量化机动车尾气排放是任何减排策略的基础和关键性研究工作^[1]。

在机动车尾气排放量模型研究领域,用于总量测算的模型可以分为宏观和微观两大类。其中宏观模型通过机动车尾气排放因子和道路运输的行驶里程来完成量化;微观模型则以单个车辆为预测对象,计算某种特定驾驶模式的机动车尾气排放量,或者是以秒为单位计算瞬时机动车尾气排放量。在针对道路交通运输部门的机动车尾气排放统计中,宏观模型应用较为广泛。中国目前尚未有自主开发的尾气量化模型。宏观模型中使用最为广泛的是由美国环保局(EPA)开发的MOBILE系列(2010年废止)和MOVES系列模型,在这2类模型的尾气排放量方法中,排放因子(率)是一个核心的概念。排放因子(率)是评价机动车排放状况的最基本参数,也是确定机动车排放总量及其环境影响的重要依据,而建立机动车行驶周期是测试排放因子基础工作。因此,建立各个地区的用来测算机动车尾气排放总量的行驶周期是一项十分有意义的研究工作。

行驶周期一般通过数据采集、数据解析与合成、结果验证3个过程来建立。传统的数据采集主要分为2类:追踪法和车队调研法。追踪法是利用安装有速度测量装置的车辆,跟踪目标车辆来测得目标车辆的行驶数据,这类方法可以避免取样和驾驶员行车特征带来的误差,但其精度也依赖于跟车能力。车队调研法是将多个速度测量装置安装在目标车辆上,收集驾驶员驾驶行为数据。数据解析与合成过程是从已测得的大量实际行车速度中提炼出一段速度变化曲线,使得这段曲线能反映实测数据的特点。该过程所采用的方法可分为2类:模式周期法和瞬态周期法。模式行驶周期法利用人工制作的速度、加速度模式来合成行驶工况;瞬态行驶周期法一般通过选取真实且具有代表性的实际行程来构建。由于模式周期法不代表实际车辆行驶状况,所以研究人员一般将瞬态行驶周期作为研究重点。

世界各国研究人员就行驶周期的建立工作进行了大量的研究且取得了一些十分有意义并实用的研究成果。目前,世界上已经建立的行驶周期包括FTP-72/75行驶周期(美国)^[2]、LA92和LA01行驶周期(美国加州空气资源局)^[3-4]、欧洲改进行驶周期^[5]、雅典行驶周期(希腊)^[6]、佩思行驶周期(澳大利亚)^[7]、墨尔本行驶周期(澳大利亚)^[8]、悉尼行驶周期(澳大利亚)^[9]、曼谷行驶周期(泰国)^[6]、浦那行驶周期(印度)^[10]、德国行驶周期^[6]、北京行驶周期^[11]、中国香港行驶周期^[12]、中国大陆11城市行驶周期^[13]。笔者在文献^[14-15]中详尽归纳总结了上述行驶周期的建立方法,指出其优缺点,首次提出了基于遗传算法的基于车辆运行模式分布(operating mode distribution)作为评价标准的用于评价温室气体排放的行驶周期的自动建立方法。

研究表明,行驶周期的建立主要采用拼接若干代表性短行程的办法。短行程是行驶周期的子集,其定义为一系列起点和终点速度为零机动车行驶速度—时间散点组成的连续曲线。不同短行程的组合可能性庞大,而传统短行程的选择一般采用随机筛选的办法,具有主观随意性。由于选择短行程的控制指标(如平均速度、平均加速度、平均减速度、平均加减速变化次数、加减速比例等众多参数)的物理意义不尽准确,所以得到的行驶周期不能准确反映实际道路交通状况。可以看出,建立用于准确测算一个地区机动车尾气排放的行驶周期中的2个关键问题分别是选择短行程的评价标准和短行程搜索算法。针对这2个关键问题,文中以移动式便携车载尾气采集装置(PEMS)和GPS设备在美国德克萨斯州休斯敦市采集的大量机动车排放和驾驶活动数据为基础,以车辆运行模式分布为短行程评价指标,建立了基于2种启发式算法(遗传算法(GA)和离散同步扰动随机逼近(DSPSA))的该地区的行驶周期,并进行了排放总量预测的有效性验证。

1 数据准备

1.1 试验设备

试验采用由美国环保局(EPA)环境技术认证的美国 Clean Air Technology International, Inc.(CATI)公司开发的便携车载尾气采集装置(PEMS)系统,产品型号为 MOTANA OEM-2 100。该系统可以测出机动车每秒的发动机运行数据,车辆行驶速度、加速度,尾气排放浓度及绝对质量和燃料消耗量,并能记录车辆在路网中行驶路线和地理位置。系统主要由 4 部分组成:1)尾气采集分析仪器:通过探针采集排气管中的尾气,然后利用不扩散红外原理检测车辆尾气中的污染物浓度(HC、CO、CO₂、NO_x 和 O₂);2)发动机数据获取仪器:通过车载诊断接口或传感器获取进气温度、进气压力、发动机转速和车速等数据;3)GPS 系统:型号为 Garmin GPS,通过 GPS 接收器接收卫星信号,记录与车辆排放相对应的经纬度和海拔;4)内嵌计算机系统:对上述数据进行处理,实时计算发动机进气量和尾气管排气量,并利用排气量和浓度计算各种污染物的排放量。图 1 是该系统的操作界面和测试时的安装位置;图 2 显示的是用来采集车辆驾驶活动数据的 Garmin GPS 接收器和数据储存器。



图 1 Montana OEM-2 100 采集系统

Fig.1 Montana OEM-2 100 Collection Systems



图 2 GarminGPS 采集系统

Fig.2 GarminGPS Collection Systems

1.2 采集方案

目前国内外确定瞬态行驶周期时所用的数据收集方法一般有 2 种,一种是追踪法,另一种是车队调研法^[16]。文中采用了路线循环法,其方法是让装置了尾气采集仪的机动车在预先设计的试验路线上按照正常驾驶行为反复行驶。这种数据收集方法主要承袭了车队调研法的思路,同时兼顾了追踪法所具有的代表性,是这 2 种方法的有效结合。一方面在收集数据前就已经预先确定了各级别路段所需的数据量,缩小了追踪法完全随机测试所需要的大量样本;另一方面,PEMS 的使用能够设定尾气包,通过精确的时间与 GPS 数据一一对应起来,使不同的路段工况被归类在不同数据库中。这种数据采集方法不但继承了追踪法收集到数据的代表性,同时也为基于不同等级路段的不同行驶周期的生产奠定了建立数据库的基础。

在测试路线的选择中考虑了以下因素:1)选取的路线需涵盖所研究地区各级道路等级(包括主干道(Arterials)、连接线(Collector roads)和地方道路(Local roads));2)选取的路线中的各级道路长度所占的比

例需代表研究地区的车辆行驶里程比例;3)测试车辆在测试路线上行驶时的速度水平需尽可能代表所研究地区的交通状况。

首先采用加权平均的办法计算出休斯顿市各等级道路所占车辆行驶里程(VMT)的比例,按比例选出具有代表性的行驶路线。然后在固定路线上最大程度地模拟实际车流的驾驶行为,反映实际运行工况。图3为设计试验路线图。表1列出了21次试验的车辆基本信息、采集时间和行驶里程数。

表1 数据采集车辆信息一览表
Table 1 Overview of Tested Vehicles

序号	生产商	型号	生产年	重量/kg	排量	缸数	数据采集时间/s	累计行程/km
1	福特	Taurus	1998	1 820	3	6	12 707	84.73
2	丰田	Corolla	2005	1 258	1.8	4	3 772	21.58
3	福特	Escort	1997	1 178	—	4	5 090	25.49
4	丰田	Corolla	2005	1 258	1.8	4	2 649	11.89
5	丰田	Corolla	2005	1 258	1.8	4	5 477	31.75
6	雪佛兰	Impala	2001	1 800	3.4	6	6 936	39.08
7	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	4 213	27.30
8	福特	Mercury	1995	1 798	1.9	4	1 546	16.78
9	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	2 198	25.63
10	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	3 107	33.74
11	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	2 307	20.26
12	福特	Mercury	1995	1 798	1.9	4	3 794	34.56
13	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	2 909	26.81
14	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	4 677	42.61
15	本田	Accord	1991	1 325	2.2	4	4 050	40.50
16	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	3 112	29.11
17	本田	Accord	1991	1 325	2.2	4	4 347	41.22
18	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	3 379	29.70
19	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	3 478	30.22
20	三菱	Galant	1996	1 580	2.4	4	3 740	30.75
21	本田	Accord	1991	1 325	2.2	4	4 166	40.66

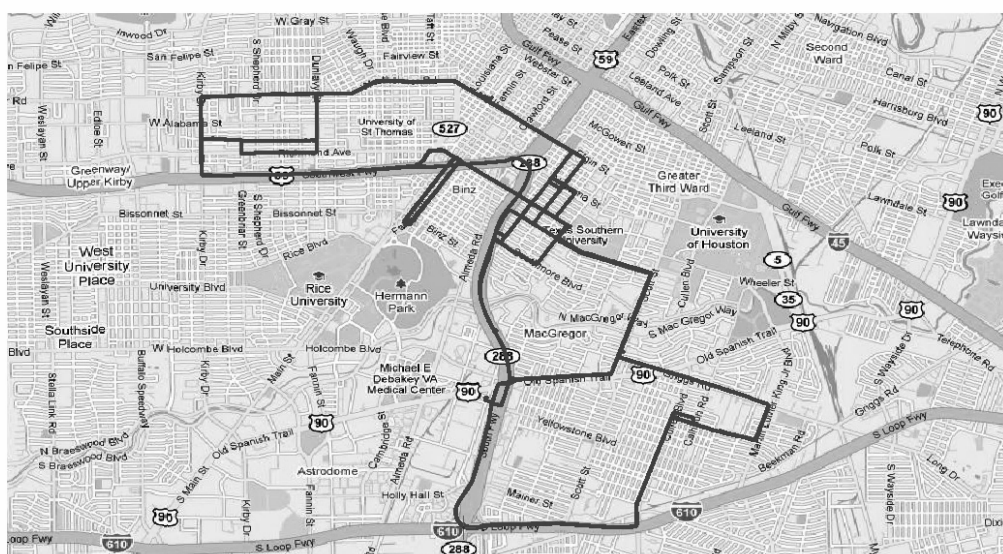


图 3 数据采集路线(美国休斯敦市)

Fig.3 Data Collection routes (City of Houston, USA)

1.3 数据预处理

在采集到数据后,由于检测设备存在系统误差和偶然误差,检测到的 GPS 原始数据存在缺失现象。为了使采集到的数据能最大程度地反映实际,同时方便后续编程,需对原始数据进行数据预处理。文中采用如下步骤对采集到的原始数据进行数据预处理:1)将采集到的污染物浓度数据和地理位置信息等数据导入微软 ACCESS 数据库,并建立以数据采集时间为主键的数据表;2)GPS 丢失数据修补:在数据采集过程中由于 GPS 系统接收信号缺失的原因,存在数据丢失的现象,采用自身数据平均值法修补缺失数据,即采用取缺失数据前后的 2 个相邻正常数据的算术平均值进行代替。当大量缺失数据出现导致数据分析精度不够时,舍弃相应的数据,并进行重复试验。经过数据采集和预处理 2 个阶段后得到用于建立行使周期的机动车尾气排放和驾驶活动基础数据。在得到测试路段的基础数据后,需进行最优短行程组筛选进而建立行使周期,最后进行有效性验证,

2 行驶周期自动建立算法

2.1 评价指标

建立行驶周期的一个关键问题是短行程的评价标准的选择,根据文献[14-15]的研究成果,文中选取的短行程代表性评价指标为

$$VSPDiff = \sum_{i=1}^{23} \left| \frac{p_i^{mi}}{p_i^d} - 1 \right|, \quad (1)$$

式中:VSPDiff 表示短行程质量,为短行程与整体数据的 23 个行驶模式比例的绝对误差和; p_i^{mi} 表示一个或者多个短行程中行驶模式 i 的运行时间比例; p_i^d 表示整体实测数据中行驶模式 i 的运行时间比例; $i=1, 2, \dots, 23$,表示第 i 个行驶模式。

上述行驶模式包括减速、怠速和其他 21 种由车辆比功率(VSP)区间和速度范围决定的行驶模式,划分标准采用 MOVES2010 中的方法,如表 2 所示^[17]。

表 2 行驶模式划分标准
Table 2 Operating Modes for Running Process

VSP / (kW/ton)	速度范围/(m · h ⁻¹)		
	总速(Bin 1)		
	0~25	25~50	>50
< 0	Bin 11	Bin 21	
0~3	Bin 12	Bin 22	
3~6	Bin 13	Bin 23	
6~9	Bin 14	Bin 24	
9~12	Bin 15	Bin 25	
>12	Bin 16		
12~18		Bin 27	Bin37
18~24		Bin 28	Bin38
24~30		Bin 29	Bin39
>30		Bin 30	Bin40
6~12			Bin35
< 6			Bin33

2.2 GA 算法

建立行驶周期的另一个关键问题是最优短行程的搜索算法。文中采用 2 种启发式算法(遗传算法(GA)和离散同步扰动随机逼近(DSPSA))进行最优短行程的自动搜索。

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程形成的一种全局优化概率搜索算法。它通过反复将选择、交叉和变异等操作算子作用于整个进化群体,最终得到问题的最优解或近似最优解。图 4 所示为遗传算法的基本流程图。在数据采集阶段的基础数据准备好后,文中采用以下步骤筛选用于生产目标行驶周期的最优短行程组:

步骤 1:短行程生成。根据短行程的定义将采集到的实时行驶速度曲线划分为若干小段,形成若干个短行程;

步骤 2:候选短行程库建立。首先按照短行程评价标准的定义(式(1))分别计算步骤(1)产生的短行程的 VSPDiff 值,然后按照 VSPDiff 值的大小升序排列,最后按照整个短行程数量的一定比例(如 30%)选取部分短行程作为候选短行程库,选取的比例可根据计算资源的大小和精度要求调整;

步骤 3:候选短行程编号。将候选短行程库中的短行程编号,每个短行程用一个唯一的编号表示,如 1, 2, 3, ..., 这个编号作为后续 GA 算法的搜索空间变量;

步骤 4:最优短行程组搜索。按照图 4 所示流程利用 GA 算法从候选短行程库中自动筛选若干最优短行程,优化目标为短行程组的 VSPDiff 最小,选用的 GA 算法的主要参数取值如表 3 所示。

步骤 5:行驶周期建立。拼接筛选得到的最优短行程,得到目标行驶周期。

表 3 GA 算法的主要参数取值
Table 3 Major Parameter Values of GA

参数	取值
染色体交叉型	混合
染色体突变类型	随机
终止条件	适应度函数值不变
人口规模	100
随机种子	6
交叉概率	0.95

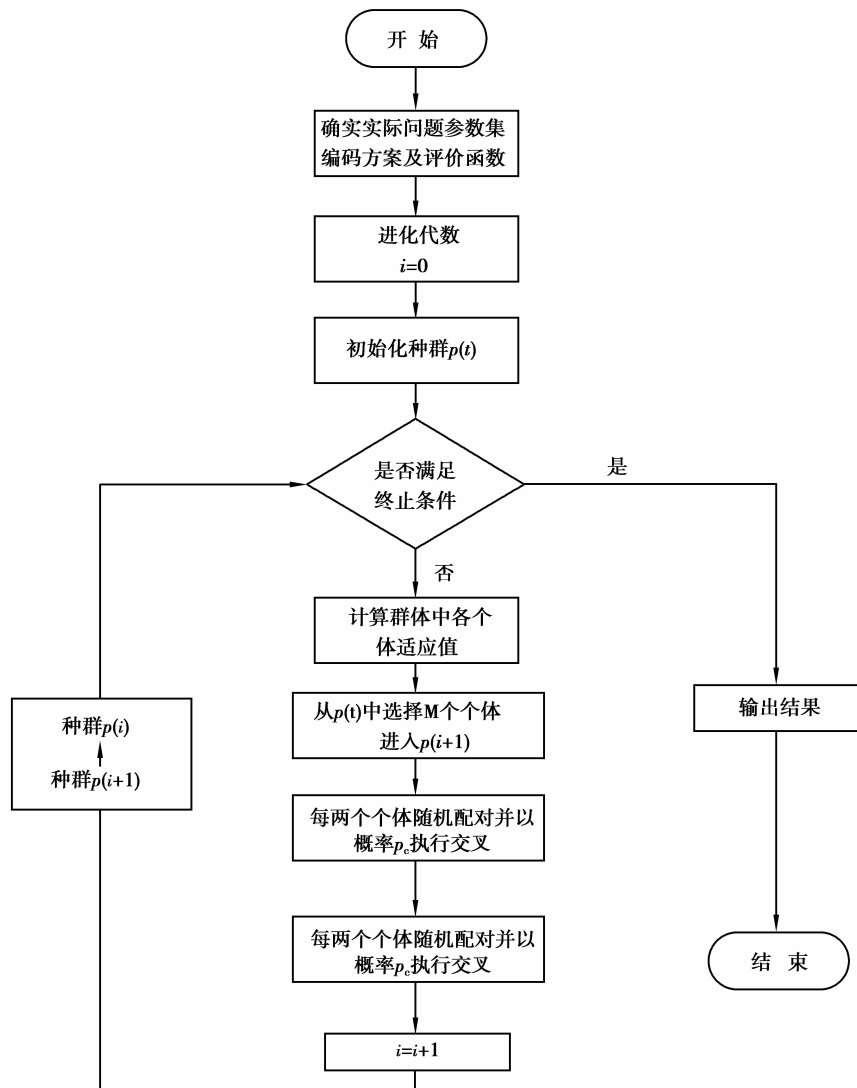


图 4 遗传算法的基本流程图

Fig.4 Basic Flow Chart of Genetic Algorithm

2.3 DSPSA 算法

SPSA 算法是 Spall^[18-19] 根据 Kiefer-Wolfowitz(KW) 随机逼近算法改进而成。KW 算法是以有限差分梯度逼近为基础,在每次梯度逼近中需要利用目标函数的 $2p$ 个估计值(p 为向量的维数);而 SPSA 算法在每次梯度逼近中只利用了目标函数的 2 个估计值,与向量的维数无关,这在解决高维问题以及大规模随机系统优化中,更能体现这种计算梯度方法的优越性。DSPSA 算法^[20]是在离散定义域上的 SPSA 算法形式。对于一个系统,定义性能评价目标函数 $L(\theta): H^p \rightarrow R^+$ 是一个 p 维待优化自变量向量,算法步骤如下:

步骤 1: 选取初始估计值 $\hat{\theta}_0$;

步骤 2: 取 $\Delta_k = [\Delta_{k1}, \Delta_{k2}, \dots, \Delta_{kp}]^T$, 其中 Δ_{ki} 为以概率 0.5 取 ± 1 的独立伯努利随机变量, $i = 1, 2, \dots, p, k \in N$;

步骤 3: 取 $\pi(\hat{\theta}_k) = (2[\hat{\theta}_k] + 1_p)/2$, 这里 $|\hat{\theta}_k| = [|\hat{\theta}_1|, |\hat{\theta}_2|, \dots, |\hat{\theta}_p|]^T$, 其中 $|\cdot|$ 为下取整函数, 1_p 表示所有分量均为 1 的 p 维向量;

步骤 4: 计算 L 在 $\pi(\hat{\theta}_k) \pm \frac{\Delta_k}{2}$ 两点处的值, 得到 $\hat{g}_k(\hat{\theta}_k)$ 的估计值如下:

$$\hat{g}_k(\hat{\theta}_k) = \left[L\left(\pi(\hat{\theta}_k) + \frac{\Delta_k}{2}\right) - L\left(\pi(\hat{\theta}_k) - \frac{\Delta_k}{2}\right) \right] \Delta_k^{-1},$$

其中 $\Delta_k^{-1} = [\Delta_{k1}^{-1}, \Delta_{k2}^{-1}, \dots, \Delta_{kp}^{-1}]^T$;

步骤 5: 利用递推公式 $\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k - a_k \hat{g}_k(\hat{\theta}_k)$ 更新。的估计值, 其中 $a_k = a / (k + 1 + A)^\alpha$, 这里 $a = 0.01$, $A = 100, \alpha = 0.602$, 直到满足收敛条件要求。

在文中, 为短行程组的编号向量, 性能评价目标函数 $L(\theta)$ 为短行程组的评价指标的 VSPDiff 值。文中采用的基于 DSPSA 算法的最优短行程组的自动搜索算法流程如图 5 所示。

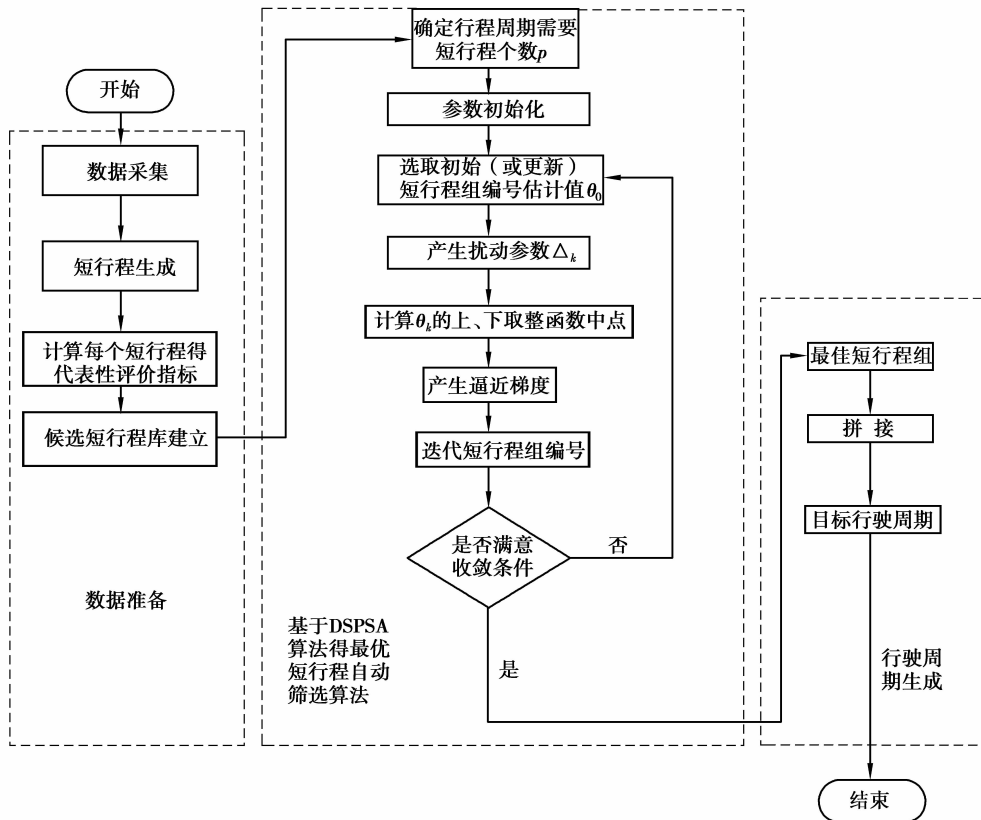


图 5 DSPSA 算法流程图

Fig.5 Flow Chart of DSPSA

3 有效性验证

为了验证得到的目标行驶周期的在评价机动车尾气排放中的有效性, 需要利用其进行尾气排放量的预测, 并与实测排放量进行比较。将采集到的数据分为两部分: 前 7 组数据用于有效性验证, 后 14 组用于行驶周期的建立。排放量的预测办法采用 MOVES2010 模型^[17], 测排放总量误差计算算法如下:

步骤 1: 利用采集的排放数据分别计算 CO、NO_x、HC 和 CO₂ 的在各行驶模式下的排放率 R_n^m (g/s), 其中 $m = 1, \dots, 4$, 分别按顺序代表 4 种不同的排放物; 当 $m = 1, \dots, 3$ 时 (即污染物为 CO、NO_x 和 HC), $n = 1, \dots, 23$, 代表 MOVES2010 模型中的 23 种行驶模式; 当 $m = 4$ 时 (即污染物为 CO₂), $n = 1, \dots, 17$, 代表 MOVES2010 模型中在 CO₂ 排放下中的 17 种行驶模式;

步骤 2: 根据行驶周期计算 CO、NO_x、HC 和 CO₂ 的预测排放总量 (g):

$$PE = \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^{23} (p_n^{DC} \times T_{total} \times R_n^m), \quad (2)$$

其中, p_n^{DC} 表示行驶周期第 n 个行驶模式的运行时间比例; T_{total} 为数据采集总时间, s; $R_n^4 = 0, n = 18, 19, \dots, 23$, 即当排放为 CO₂ 时, 在行驶模式标号为 18 至 23 的情况下排放率为 0;

步骤 3: 计算预测排放总量误差:

$$F = PE/RE^{-1}, \quad (3)$$

其中 RE 表示实际采集到的尾气排放总量, g 。

4 结果与分析

将前述算法利用 Visual Basic 结合数据库编程技术实现, 可最终得到目标行驶周期和用其进行排放总量预测的误差。图 6 显示了 GA 算法和 DSPSA 算法在最优短行程组搜索过程中目标函数值的变化过程。可以看出, 2 种启发式算法均能有效地解决行驶周期自动建立问题。但相比而言, GA 算法得到的优化目标函数数值更小, 也即 GA 算法得到的短行程组与整体测试数据更为一致。因此, 理论上来说, GA 算法得到的行驶周期更有代表性。

图 6 和图 7 分别显示的是由 DSPSA 算法和 GA 算法搜索得到的最终行驶周期, 分别用行驶周期一和行驶周期二表示。表 4 显示的是上述 2 个行驶周期的主要特性, 包括短行程个数、长度、怠速时间比例、加速时间比例、减速时间比例、匀速时间比例、平均车速、平均运行车速和最大速度等。可以看出, 2 个行驶周期的时长、怠速时间比例、加减速时间比例和平均车速差别不大, 但由 GA 算法得到的行驶周期的最高速度大于由 DSPSA 算法得到的行驶周期的平均速度。这是因为行驶周期二包含了 1 个平均速度较高的短行程(第 3 个短行程), 而这个短行程代表了研究城市的快速路的高速交通状况。因此, 从这个角度看, GA 算法得到的行驶周期更优。

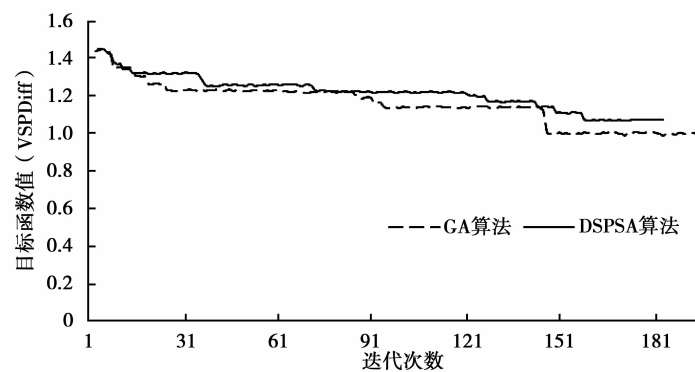


图 6 2 种启发式算法收敛过程

Fig.6 Convergence of Two Heuristic Algorithms

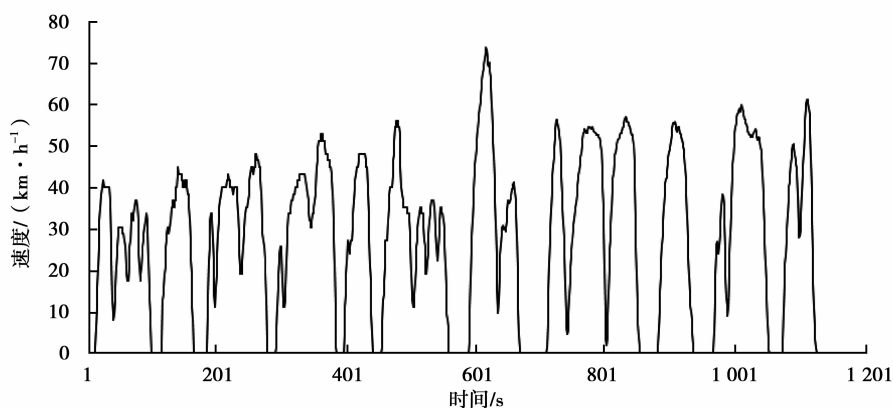


图 7 DSPSA 算法得到的行驶周期

Fig.7 Driving Cycle Developed by DSPSA

表4 2种算法得到的行驶周期的主要特征

Table 4 Major Characteristics of Driving Cycles by Two Algorithms

	DSPSA 算法	GA 算法
短行程个数/个	11	9
长度/s	1 129	1 198
怠速时间比例/%	21.0	23.4
加速时间比例/%	35.2	37.6
减速时间比例/%	29.6	32.1
匀速时间比例/%	35.3	30.4
平均车速/(km·h ⁻¹)	28.22	28.59
平均运行车速/(km·h ⁻¹)	35.72	37.31
最大速度/(km·h ⁻¹)	74.01	101.05

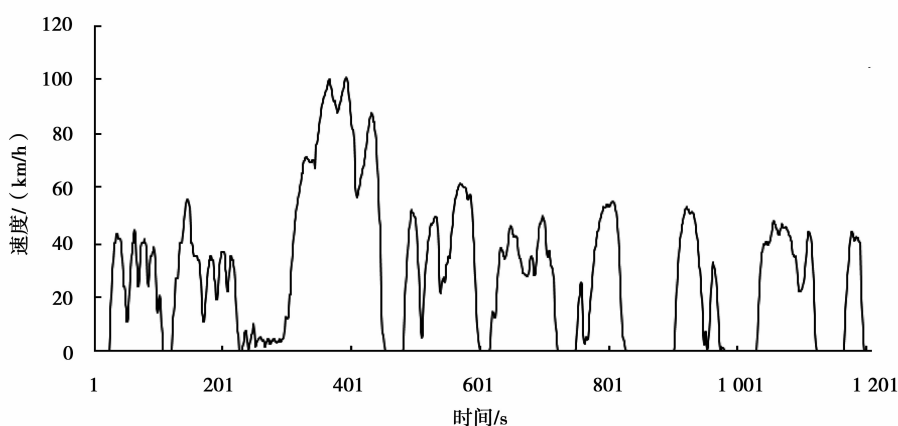


图8 GA算法得到的行驶周期

Fig.8 Driving Cycle Developed by GA

表5列出的是有效性验证结果。可以看出,由行驶周期一和行驶周期二预测得到的排放总量均低于实测值,且GA算法得到的结果的误差更小。选取由GA算法搜索得到的行驶周期最为研究城市的最终行驶周期(如图8所示)。

表5 预测排放总量误差

Table 5 Errors of Predicted Emissions

	实测值	预测值 (行驶周期一)	预测值 (行驶周期二)
排放总量/g	57 067.2	49 249.0	51 303.4
预测误差/%	—	-13.7	-10.1

5 结 论

1)启发式算法GA和DSPSA均能有效地解决行驶周期自动建立问题,克服了传统随机办法的缺点,具有收敛速度快、搜索结果可靠的优点。

2)GA算法比DSPSA算法得到的行驶周期更有代表性。建议将GA算法作为建立其他城市的行驶周期的算法工具。

利用启发式算法 GA 和 DSPSA 建立的行驶周期预测得到的排放总量偏小,这可能是由于文中测试样本小的缘故,如何开发精确度更高的行驶周期是下一步研究的方向之一。

参考文献:

- [1] 鹿建平.降低汽油车排放污染物的调整技术[J].山西交通科技,1999,124(2),51-52.
LU Jianping.Adjust technology of reducing gasoline motor car exhaust emissions[J].Shanxi Science & Technology of Communications,1999, 124(2):51-52.
- [2] Kruse R E, Huls T A.Development for the federal urban driving cycle [J].SAE paper,1973, 730553.
- [3] Lin J, Niemeier D A. Estimating regional air quality vehicle emission inventories; constructing robust driving cycles [J]. Transportation Science,2003, 37(3): 330-346.
- [4] Lin J, Niemeier D A.An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to california's regulatory cycle [J]. Atmospheric Environment,2002, 36(38): 5759-5770.
- [5] Kuhler M, Karstens D.Improved driving cycle for testing automotive exhaust emissions [J].SAE paper,1978, 780650.
- [6] Esteves-booth A, Muneer T, Kubie J, et al.A Review of vehicular emission models and driving cycles [J].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2002, 216(8): 777-797.
- [7] Lyons T J, Kenworthy J R, Austin P I, et al.The development of a driving cycle for fuel consumption and emissions evaluation [J].Transportation Research Part A: General,1986, 20(6): 447-462.
- [8] Watson H C, Milkins E E, Braunsteins J.Development of the melbourne peak cycle[C].SAE/ARRB 2nd Conf.Traffic Energy and Emissions, Melbourne, paper 82148.
- [9] Kent J H, Allen G H, Rule G.A driving cycle for sydney [J].Transportation Research,1978, 12(3): 147-152.
- [10] Kamble S H, Mathew T V, Sharma G K.Development of real-world driving cycle; case study of pune, india [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment,2009, 14(2): 132-140.
- [11] Yu L, Wang Z, Qiao F, et al.Approach to development and evaluation of driving cycles for classified roads based on vehicle emission characteristics[J].Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2008, (2058): 58-67.
- [12] Hung W T, Tong H Y, Lee C P, et al.Development of a practical driving cycle construction methodology; a case study in hongkong [J].Transportation Research Part D: Transport and Environment,2007, 12(2): 115-128.
- [13] Wang Q D, Huo H, He K, et al.Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in chinesecities[J].Transportation Research Part D: Transport and Environment,2008, 13(5): 289-297.
- [14] Yu L, Zhang X, Qiao F, et al.Genetic algorithm-based approach to develop driving schedules to evaluate greenhouse gas emissions from light-duty vehicles [J].Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010(2191): 166-173.
- [15] Zhang X. Development of driving schedules for evaluating greenhouse gas emissions for light-duty vehicles [D]. Texas: TexasSouthernUniversity,2010.
- [16] 裴文文,于雷,杨方,等.北京市机动车行驶周期的建立方法研究[J].交通环保, 2004, 25(3):17-20.
PEI Wenwen, YU Lei, YANG Fang, et al.Development of vehicle driving cycles for beijing[J].Environmental Protection in Transportation, 2004, 25(3):17-20.
- [17] USEPA.Software design and reference manual of draft motor vehicle emission simulator (moves) 2009[R].Publication EPA-420-B-09-007.Office of Transportation and Air Quality, U.S.Environmental Protection Agency, 2009.
- [18] Wang Q, Spall J C.Discrete simultaneous perturbation stochastic approximation on loss function with noisy measurements[C]. Proceedings of the American Control Conference, San Francisco, CA, 2011, 4520-4525.
- [19] Spall J C. Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 1992, 37 (3): 332-341.
- [20] Spall J C.Implementation of the simultaneous perturbation algorithm for stochastic optimization [J].IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1998, 34 (3): 817-823.