

Road Fuel Consumption Monitoring System Based on the Domestic Software*

Jingjing Chi¹, Liying Sui², Lixun Wang²

¹State Key Laboratory of Software Development Environment, Beihang University, Beijing

²Transportation Information Center, Beijing

Email: chijingjing@nlsde.buaa.edu.cn, suiliying@bjjtw.gov.cn, wanglixun@bjjtw.gov.cn

Received: Jul. 21st, 2012; revised: Aug. 13th, 2012; accepted: Aug. 25th, 2012

Abstract: With the rapid increase in the number of vehicles in our country, the exhaust emissions and energy consumption have become a major problem which many cities have to face. According to the practical demand of road energy consumption, this paper firstly does research on the variation law of the road energy. With the method mentioned above, this paper quantify the driving pattern of vehicles (import the variation: distribution of the vehicle specific power and engine stress), put forward a clustering model of road link based on the distribution of vehicle specific power and engine stress and a classifier which decides the VSP-ES distribution of road link by its attribution. The experiments show that this method made a great classification accuracy of 86%. Then considering the driving patterns of the vehicles, the paper proposed a link-based energy consumption model based on the driving patterns of vehicles. At last, the paper implements the road energy consumption monitoring system based on the domestic software (including domestic operating system, domestic database and domestic middleware). The system according to the input data of users (including date, morning peak, evening peak and other times), calculate the road energy consumption through the model promoted above, and show the road energy consumption with three colors (red, yellow, green) which indicate the amount.

Keywords: Energy Saving and Emission Reduction; Road Energy Consumption Monitoring System; Energy Consumption Model

基于国产软件的道路能耗监测系统*

池晶晶¹, 隋丽颖², 王立勋²

¹北京航空航天大学软件开发环境国家重点实验室, 北京

²北京交通信息中心, 北京

Email: chijingjing@nlsde.buaa.edu.cn, suiliying@bjjtw.gov.cn, wanglixun@bjjtw.gov.cn

收稿日期: 2012年7月21日; 修回日期: 2012年8月13日; 录用日期: 2012年8月25日

摘要: 随着我国机动车数量的迅猛增加, 其产生的尾气排放污染和能源消耗已成为许多城市所面临的一个重大问题。本文从道路能耗计算的实际需求出发, 对道路能耗变化规律进行研究, 通过分析机动车的行驶特征, 提出了一种基于机动车行驶模式的道路能耗模型以及建模方法。该模型首先对机动车的行驶模式进行量化表示(引入 VSP-ES 分布), 设计实现了一个基于 VSP-ES 分布的路链聚类算法以及路链属性到行驶模式的分类算法, 实验表明这种分类算法在测试样本集上具 86% 的分类准确性。并在此基础上, 本文实现了基于国产软件(包括国产操作系统、国产数据库以及国产中间件)的道路能耗监测系统, 通过用户输入日期, 以及早高峰、平峰、晚高峰时段来监测道路能耗情况。

关键词: 节能减排; 道路能耗监测系统; 能耗模型

*资助信息: 核高基项目: 特大城市先进交通运行协调指挥平台(No.2010ZX01045-001-009-1); 863 项目: 基于车联网的交通关键技术及应用研究(No.2012AA111903)。

1. 绪论

随着城市化进程的加快，特大型城市的交通问题日益突出，交通运输业已成为我国能源消耗的最大行业之一，随之而来的能源消耗与环境污染问题严重威胁着人类健康与社会的可持续发展。据不完全统计，至 2009 年底，我国机动车保有量接近 1.7 亿辆，与上年相比，增加 3043 万辆，环比增长 17.81%。全国机动车排放污染物 5143.3 万吨，其中一氧化碳 4018.8 万吨，碳氢化合物 482.2 万吨，氮氧化物 583.3 万吨，颗粒物 59.0 万吨^[1]。因此如何有效地控制汽车尾气排放，降低汽车能耗，已成为我国亟待解决的重大问题，推行绿色交通、实施节能减排措施已成为其交通发展的必由之路。

因为对机动车污染评价的需要，机动车能耗的计算一直是交通与环保领域研究的热点，国内外相关学者已对机动车能耗计算的建模进行了大量的研究，并得到了较为准确的机动车能耗计算方法，如加州大学河边分校开发的 IVE 中观能耗模型^[2]和 CMEM 微观模型^[3]以及美国环境保护署研发的 MOVES 模型^[4]。但已有的机动车能耗模型需要输入精确的车辆行驶速度、加速度等数据^[5]，由于受通信技术、隐私保护以及运行成本等多方面因素的影响，目前仍难以实现对机动车行驶数据的大规模实时采集，因而无法直接将已有的机动车能耗模型用于道路能耗的计算。

因此，需要将原有的以机动车为主题的能耗模型转化为以道路为主体的模型，首先，依据道路坡度、道路宽度、路况等道路属性判断车辆在每条道路上的行驶情况(即 VSP 分布)，进而依据机动车的相关参数计算得到车辆行驶经过此道路的能耗。针对此需求，本文从道路能耗计算的实际需求出发，对其变化规律进行研究，通过分析机动车的行驶特征，提出了一种基于机动车行驶模式的道路能耗模型以及建模方法，并在此基础上，实现了基于国产软件(包括国产操作系统、国产数据库以及国产中间件)的道路能耗监测系统。

2. 相关定义与概念

2.1. 机动车比功率

机动车比功率(Vehicle Specific Power, VSP)的物

理意义是机动车移动单位质量所需功率，其等于功能变化、势能变化、克服道路摩擦、克服空气阻力四方面所需功率总和与车辆总质量之比，对其简化后，可以转化成行驶速度与加速度的函数

$$VSP = v[1.1a + 0.132] + 0.000302v^3 \quad (1)$$

式中：v 汽车行驶速度(m/s); a 汽车行驶加速度(m/s²)。

根据机动车比功率的计算公式可知，比功率表示了车辆行驶时的功率需求情况。因为去除了车辆质量对功率需求的影响，所以比功率可以更好的反映不同的行驶速度、加速度对汽车输出功率的影响，从而更为准确的描述机动车的行驶模式。

2.2. 发动机负载

发动机负载(Engine Stress, ES)代表发动机当前运行状态，使用当前速度与最近 20 秒的比功率值计算获得，

$$ES = PRMIndex + (0.08 \text{ ton/KW}) * \text{PreAveragePower} \quad (2)$$

$$\text{PreAveragePower} = \text{Average} (VSP_{t=-5\text{sec to } -25\text{sec}}) \quad (3)$$

$$PRMIndex = \text{Velocity}_{t=0} / \text{SpeedDivider} \quad (4)$$

式中：RPMIndex 发动机转速指数，由行驶速度除以速度因子获得，不同速度、机动车比功率区间对应的速度因子由表 1 所示；PreAveragePower 代表发动机当前平均输出功率，若设当前时间为 t0，PreAveragePower 等于 t-5sec 至 t-25sec 秒机动车比功率均值。

2.3. 行驶模式

以路链作为定义行驶模式的基本单位，将行驶模式定义为车辆经过一条路链的机动车比功率、发动机负载的分布。

Table 1. Cutpoints used in prminex calclations
表 1. 速度因子划分区间

速度区间 (m/s)		比功率区间 (KW/ton)		速度因子 (s/m)
Min	Max	Min	Max	
0.0	5.4	-20	400	3
5.4	8.5	-20	16	5
5.4	8.5	16	400	3
8.5	12.5	-20	16	7
8.5	12.5	16	400	5
12.5	50	-20	16	13
12.5	50	16	400	5

根据不同的比功率、发动机负载所对应的机动车能耗值的差异^[2]，将比功率与发动机负载的取值范围划分为 20 个和 3 个区间，得到共 60 个区间。

第 1 至第 11 个比功率区间对应的比功率范围为 -80 TW/Ton 至 -2.9 TW/Ton，表示车辆处于减速行驶状态，根据比功率的计算公式可知，比功率为负时，越小的比功率代表了越快的减速；第 12 个比功率区间对应的比功率范围为 -2.9 TW/Ton 至 1.2 TW/Ton，此区间对应于缓慢行驶或怠速状态，第 13 至 16 区间对应的区间所覆盖的范围为 1.2 TW/Ton 至 17.7 TW/Ton，对应于中速行驶状态，而 17~20 区间则对应于高速行驶或急加速行驶状态。

3 个发动机负载区间分别对应于低负载、中负载和高负载状态，越高的发动机负载代表了越高的输出功率。

最终，将机动车行驶模式定义为在比功率、发动机负载在 60 个区间的分布：

$$DP = \{Per1, Per2, \dots, Per60\} \quad (5)$$

其中：

$$0 < Per1, Per2, \dots, Per60 < 1;$$

且 $Per1 + Per2 + \dots + Per60 = 1$ 。

Per1, Per2, ..., Per60 依次表示机动车行驶过程中比功率与发动机负载在 60 个区间的统计分布。

如图 1 所示，左图为逐秒的速度曲线图。根据逐秒数据求得加速度，并通过 VSP(公式 1)，ES(公式 2) 以及行驶模式(公式 5)的计算，将机动车在一条路链上的行驶速度、加速度转化为了比功率、发动机负载在离散的 60 个区间的分布，如右图所示。



2.4. 国产软件

本文针对道路能耗监测应用的需求，对国产操作系统、国产数据库、国产中间件等三类国产基础软件进行分析和选型，集成国产操作系统、国产数据库、国产中间件等三类国产基础软件，并进行适应性改造和增强，实现道路能耗监测系统，这对实现交通系统高效、安全、平稳运行也具有重大意义。本文采用的国产操作系统为红旗 Asianux Server 3(32 bit)；国产数据库为神通数据库 V7.0；国产中间件为思讯。

3. 道路能耗模型介绍

道路能耗模型的整体结构如图 2 所示，其构建主要通过三个步骤完成：行驶模式定义，行驶模式获取以及道路能耗计算。

3.1. 行驶模式定义

以道路交叉口为起止点，将道路划分为如图 3 所示的路链序列，以路链作为定义行驶模式的基本单位，选取与机动车能耗具有较高相关关系的变量对机动车行驶模式进行定量表示(如第二节中所述的 VSP-ES 分布)，量化行驶模式间的差异，使得道路能耗模型能够依据此变量确定车辆在不同行驶模式下的能耗。

3.2. 行驶模式获取

依据路测车辆在不同路链的行驶模式，推测车辆在不同类型路链上的行驶情况。

首先以路测获得的车辆行驶数据(包括逐秒的 GPS 行驶轨迹点，速度，加速度，油耗等)为基础，将

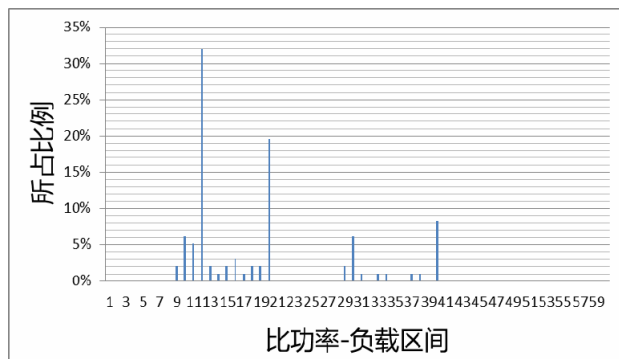


Figure 1. VSP-ES distribution variations with speed and acceleration
图 1. 行驶速度、加速度与比功率-负载区间分布关系



Figure 2. Road-based fuel model
图 2. 道路能耗模型建模方案

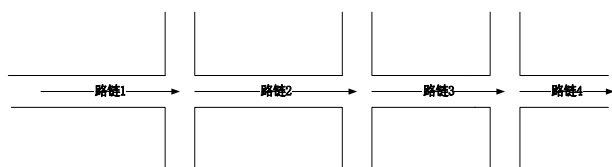


Figure 3. Structure of road link
图 3. 路链结构

层次聚类算法与划分聚类算法相结合^[6-8], 依据路测车辆在所经各条路链的行驶模式之间的相似度, 对路测路链进行聚类, 将每一类路链与一个典型的行驶模式(聚类中心所对应的行驶模式)相对应。例如, 如图 4 所示, 机动车在由起始点 S 到终止点 E 的道路上行驶, 依次经过路链 L1, L2, ..., L12; 按车辆在各路链的行驶模式间的相似性, 将路链集合划分为{L1}、{L3, L5}、{L2, L4, L6, L8}、{L7, L9, L10, L11, L12}四个路链子集, 在同一子集中的路链上车辆的行驶模式都较为相似, 如车辆在路链 L3、L5 上的行驶模式对应为“频繁启停低速行驶”, 而在路链 L2、L4、L6、L8 上的行驶模式对应为“平稳中速行驶”。

由于机动车行驶数据采集的成本较高, 难以实现对路网所有路链的路测, 因此需要依据有限的行驶数据, 根据路测车辆在所经各路链的行驶模式, 推测车辆在其余未经路测路链上行驶的比功率、发动机负载的分布, 为道路能耗的计算奠定基础^[9,10]。路链的道路构造、路面质量、交叉口密度、交通拥堵状况等路链属性都会对车辆的行驶模式产生影响, 因此本文以路链属性为依据, 判断车辆在各条路链的行驶模式^[11]。本文将聚类结果作为分类算法的训练数据, 将路链属性作为条件属性, 路链类别作为决策属性, 使用 PART 分

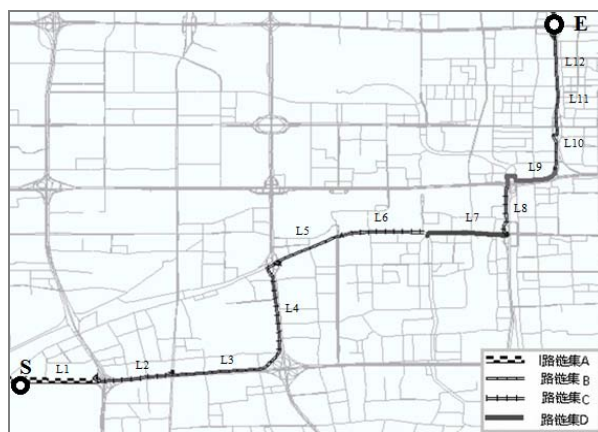


Figure 4. Division of driving patterns
图 4. 行驶模式数据集划分

类算法构造路链分类器, 确定路链属性到路链类别的映射, 从而依据路链的属性判断其所属类别, 得到车辆在此路链上的行驶模式^[12-14]。

3.3. 道路能耗计算

道路能耗模型采用的是首先离线确定机动车基础能耗率等能耗计算参数, 即利用路测获得的历史车辆行驶数据(包括逐秒的 GPS 行驶轨迹点, 速度, 加速度, 油耗等), 通过计算获取对应每一个比功率区间的能耗率, 然后根据历史车辆行驶数据以及道路环境数据(包括道路类型, 道路长度, 道路宽度, 道路收费类型等)来完成道路-行驶模式分类器的构建, 最后使用这个道路-行驶模式分类器针对实时的路况信息进行在线的道路能耗计算。这种离线训练, 在线计算的机制, 保证了模型实时计算的效率。道路能耗的计算分为以下五个步骤完成:

步骤一, 加载机动车基础排放率、能耗计算修正因子以及道路行驶模式分类器, 初始化机动车类型、行驶环境数据和道路属性数据集。其中机动车类型信息由模型使用者制定, 或使用默认类型。温度、相对湿度、海拔三个行驶环境数据则根据当地环境设置。

步骤二, 如需使用新的行驶数据或机动车能耗数据对模型进行调整, 采用动态更新策略, 更新对应的参数或分类器。

步骤三, 将道路属性、实时路况信息输入道路-行驶模式分类器, 预测得到汽车行驶经过各条道路的行驶模式。

步骤四, 根据机动车行驶模式、行驶环境数据,

确定各因素的对应的能耗计算修正因子，将其与所选机动车类型的基础能耗率相乘，得到当前各条道路的道路能耗。完成计算后等待交通信息采集服务系统发布下一时刻路况，进行下一周期道路能耗的计算。

3.4. 模型结果及验证

本文采集了约 240 个小时的逐秒路测行驶数据(包括地理位置信息，逐秒速度加速度信息)，通过数据清洗，道路匹配以及行驶模式计算等提取得到了路测车辆在 3655 条路链上的行驶模式。通过对这 3655 条路链所对应的行驶模式进行聚类，最终将路链划分成为了六类，以每个聚类中心对应的比功率 - 发动机负载的分布作为每类路链的行驶模式的代表，从而确定了与六类路链所对应的六个行驶模式。第一个行驶模式中缓慢行驶和怠速行驶状态占了 70% 的比例，代表了拥堵等情况下的缓慢行驶状态。第二个与第三个模式中低速行驶状态比例减少，代表了相对更高的行驶速度与加速度，第四个与第五个行驶模式中低速比例降低，减速与加速比例增大，代表了中速行驶状态，且行驶速度的波动性更大。而第六个行驶模式所覆盖的区间范围已扩展至中负载区域，同时高速行驶区域与减速区域比例已明显增长，代表了在畅通情况下车辆的高速行驶状态。其次，本文以聚类的结果作为分类器的训练样本数据，使用 Part 算法建立分类器对未知路链的行驶模式进行预测。

在验证方面，本文主要对算法中路链分类器的分

类能力进行测试，采用交叉验证方式测试分类器准确率，具体过程叙述如下。将分类器训练数据随机划分为十份，分别选取其中的九份作为分类器训练数据集，剩余的一份作为测试数据集，进行分类测试；如此，将进行 10 轮有关分类器的生成与测试过程，以 10 次分类准确率的均值评价分类器的准确率。最终得到准确率为 86%，反应了本文模型具有较强的准确性。

4. 系统框架

本文设计的道路能耗原型系统架构如图 5 所示，主要由数据采集模块、行驶模式预测模块、道路排放计算模块、基础支撑模块、数据管理模块、道路排放展示模块以及路径规划模块七部分组成，其中，

数据采集：主要负责行驶环境、实时交通信息、道路属性信息等模型输入数据的获取；

基础支撑：主要为其他模块提供通信、数据库存储等接口；

行驶模式预测、道路排放计算、数据管理与应用：共同完成道路能耗计算、实时道路排放监测、历史道路能耗查询、环保导航功能。

道路能耗监测系统的处理流程图如图 6 所示，系统主要完成初始化、能耗模型更新、道路能耗的存储与展示几个功能。系统的工作流程叙述如下：

1) 模型加载模块加载相关数据，完成系统初始化。

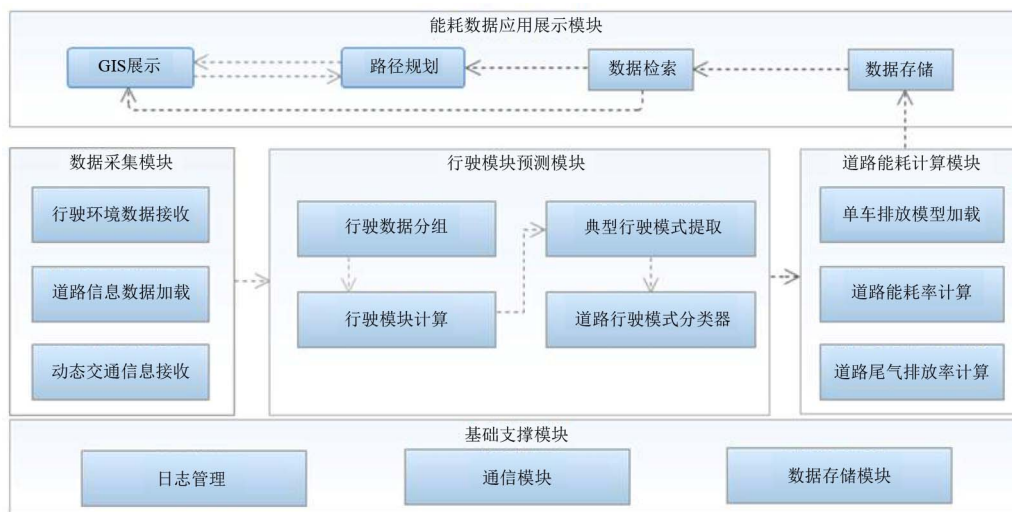


Figure 5. Structure of road fuel system
图 5. 道路能耗系统架构图

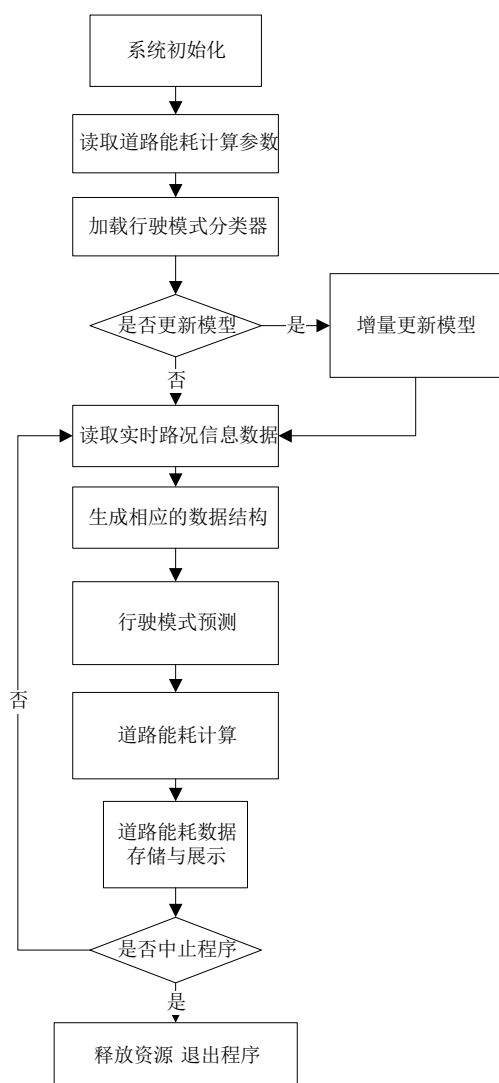


Figure 6. System procedure
图 6. 系统处理流程

2) 道路能耗更新模块首先根据现有机动车的能耗数据, 对模型中原有的机动车基础能耗率、能耗计算修正因子进行调整, 实现能耗计算参数的更新; 而后, 行驶模式分类器以现有机动车行驶数据作为训练集, 重新进行道路 - 行驶模式的分类, 用以记录另一不同类型机动车的行驶习惯下, 道路属性与机动车行驶模式之间的关系。

3) 道路能耗计算模块根据输入分类器的道路属性、路况信息等, 预测汽车行驶经过各条道路的行驶模式, 并通过将其与机动车基础能耗率、能耗计算修正因子相结合, 确定各行驶模式对应的能耗率与尾气排放率, 完成道路能耗计算。

4) 道路能耗存储与展示模块一方面将机动车能耗数据存入数据库, 以供历史数据查询; 另一方面, 在电子地图上对展示道路能耗数据, 以此支持道路能耗的实时监测。

最后, 系统实现的界面如图 7 所示, 通过用户输入日期, 以及早高峰、平峰、晚高峰时段来监测道路能耗情况。

5. 结束语

本文首先对机动车的行驶模式进行量化表示(对应 60 个 VSP-ES 区间上的分布情况), 设计实现了一种基于机动车行驶模式的道路能耗模型以及建模方法, 并在此基础上, 实现了基于国产软件(包括国产操作系统、国产数据库以及国产中间件)的道路能耗监测系统。

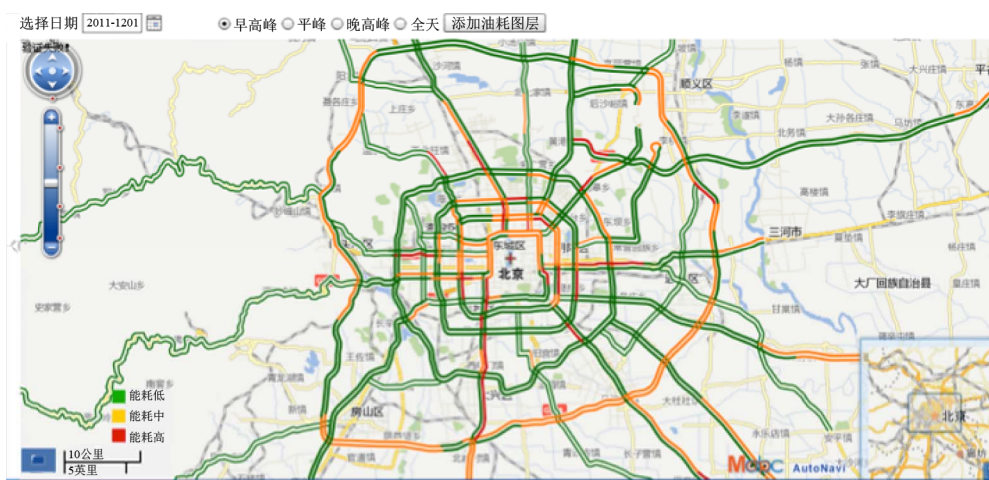


Figure 7. System result
图 7. 系统实现界面

6. 致谢

该研究由核高基项目特大城市先进交通运行协调指挥平台(Megalopolis Advanced Transportation Operate Coordinate Command Platform Program)(No.2010 ZX01045-001-009-1)以及 863 项目基于车联网的交痛节能关键技术及应用研究(No.2012AA111903)支持。

参考文献 (References)

- [1] 环境保护部. 中国机动车污染防治年报[R], 2010.
- [2] N. Davis, J. Lents and M. Osses. Development and application of an international vehicle emissions model. Washington DC: Transportation Research Board 81st Annual Meeting, 2005.
- [3] M. Barth, F. An and T. Younglove. Comprehensive modal emissions model (CMEM), version 2.0, user's guide. Riverside: University of California Riverside, 2000.
- [4] J. Koupal, H. Michaels, M. Cumberworth, et al. EPA's plan for MOVES: A comprehensive mobile source emissions model. US EPA Documentation, 2002.
- [5] International Sustainable Systems Research Center. Characterizing emission variations due to driving behavior from on road vehicles. www.issrc.org/ive
- [6] T. Zhang, R. Ramakrishnan and M. Livny. BIRCH: An efficient data clustering method for very large databases. SIGMOD, 1996: 103-114.
- [7] H. B. Zhai. Regional on-road mobile source emissions characterization for conventional and alternative vehicle technologies. Kurt Sanford: ProQuest, 2007.
- [8] L. Kaufman, P. J. Rousseeuw. Finding groups in data: An introduction to cluster analysis. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- [9] S. Guha, R. Rastogi and K. Shim. ROCK: A robust clustering algorithm for categorical attributes. Sydney: Proceedings of the 15th International Conference on Data Engineering, 23-26 March 1999: 512-521.
- [10] E. Martin, H. P. Kriegel, J. Sander, et al. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. KDD, 1996: 226-231.
- [11] E. Ericsson. Optimizing route choice for lowest fuel consumption potential effects of a new driver support tool. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2006, 14(6): 369-383.
- [12] P. Langley, W. Iba and K. Thompson. An analysis of Bayesian classifiers. Proceedings of AAAI-92, 1992: 223-228.
- [13] G. Q. Chen, H. Y. Liu and L. Yu. A new approach to classification based on association rule mining. Decision Support Systems, 2006, 42(2): 674-689.
- [14] W. M. Li, J. W. Han and J. Pei. CMAR: Accurate and efficient classification based on multiple class-association rules. Washington DC: Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining, 2001: 369-376.