

基于遍历剪枝算法的干线绿波协调控制参数自动计算系统

树爱兵¹ 王婷婷^{1,2} 刘成生^{1,2} 徐新东^{1,2}

¹(公安部交通管理科学研究所 江苏 无锡 214151)

²(无锡华通智能交通技术开发有限公司 江苏 无锡 214151)

摘要 针对当前交通干线绿波协调控制参数求解过程复杂、计算耗时较长等不足,基于遍历剪枝算法和 SVG 技术,构建由干线参数配置、绿波时距图展示、绿波参数自动计算模块等组成的干线绿波协调控制参数自动计算系统。并选取无锡市梁清路 4 个交叉口进行测试应用,实地验证系统的可行性。应用测试结果表明:该系统能够大幅简化干线绿波协调信号配时参数的设置流程,提高配置干线双向绿波协调参数的实施效率。

关键词 剪枝算法 干线 绿波 协调控制

中图分类号 TP3

文献标识码 A

DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2019.04.040

AUTOMATIC CALCULATION SYSTEM OF TRUNK LINE GREEN WAVE COORDINATED CONTROL PARAMETERS BASED ON TRAVERSAL PRUNING ALGORITHM

Shu Aibing¹ Wang Tingting^{1,2} Liu Chengsheng^{1,2} Xu Xindong^{1,2}

¹(Traffic Management Research Institute of Public Security Ministry, Wuxi 214151, Jiangsu, China)

²(Wuxi HuaTong Intelligent Transportation Technology Development Co., Ltd., Wuxi 214151, Jiangsu, China)

Abstract Aiming at the shortcomings of the current traffic trunk line green wave coordinated control parameters, such as complex solving process and long calculation time, we constructed an automatic calculation system of the trunk line green wave coordinated control parameters based on traversal pruning algorithm and SVG technology, which was composed of trunk line parameter configuration, green wave time-distance map display and automatic calculation module of green wave parameters. We selected four intersections of Liangqing Road in Wuxi City for testing and application, and verified the feasibility of the system on the spot. The application test results show that the system can greatly simplify the process of setting the timing parameters of the trunk line green wave coordination signal, and improve the efficiency of implementing the two-way green wave coordination parameters of the trunk line.

Keywords Pruning algorithm Trunk line Green wave Coordinated control

0 引言

交通干线作为城市道路网的主动脉,在城市交通流运行中发挥着关键作用。干线绿波协调控制技术是提高干道通行速度、减少车辆停车延误的有效手段,合理的交通干线信号协调控制将直接影响到交通干线乃至整个城市路网是否能够快速有效运行^[1]。因此提高交通干线信号的协调控制效果对于改善城市道路网的交通运行状况具有举足轻重的意义。

目前常用的干线绿波协调控制方法主要有图解法^[2]、数解法^[3-4]、Maxband^[5-6]法等。其中:图解法依靠人工经验配置,很难确保得到最优解;数解法通过寻找使得系统中各实际信号距理想信号的最大挪移量最小来获得最优相位差控制方案,其计算过程较为复杂;Maxband 法利用混合整数线性规划方法实现信号配时参数的优化求解,计算耗时较长。上述绿波协调控制方法主要适用于交叉口信号相位对称放行的干线交叉口群,对于非对称放行相位和叠加相位的干线双向绿波协调控制适应性较差。

为解决现有技术中存在的不足,本文提出了一种基于遍历剪枝算法的干线双向绿波协调参数自动计算系统,能够进一步简化干线绿波协调信号配时参数的设置流程,提高配置干线双向绿波协调参数的实施效率。

1 遍历剪枝算法

1.1 目标函数

假设某一条交通干线共包含 I_1, I_2, \dots, I_n 的 n 个交叉口, C 为干线绿波协调公共周期, 各交叉口之间的距离分别为 $S_{(1,2)}, S_{(2,3)}, \dots, S_{(n-1,n)}$, 协调相位差分别为 O_1, O_2, \dots, O_n 。各路段之间的正向行驶速度分别为 $V_{(1,2)}^+, V_{(2,3)}^+, \dots, V_{(n-1,n)}^+$, 反向行驶速度分别为 $V_{(1,2)}^-, V_{(2,3)}^-, \dots, V_{(n-1,n)}^-$; 各交叉口的正向协调相位时长分别为 $P_1^+, P_2^+, \dots, P_n^+$, 反向协调相位时长分别为 $P_1^-, P_2^-, \dots, P_n^-$ 。

前序遍历各交叉口 I_1, I_2, \dots, I_n , 计算各交叉口在 $[0, C)$ 区间(以 1 s 为最小步进单位)时, 交通干线上各交叉口 $I_1 \sim I_n$ 的加权公共绿波带宽^[8]:

$$W = aW^+ + bW^- \quad (1)$$

式中: W^+ 为正向公共绿波带宽, W^- 为反向公共绿波带宽; a 为正向绿波权重, b 为反向绿波权重, $a + b = 1$, 其中 $a > b$ 时, 限制 $W^+ > \frac{a}{b}W^-$ ^[9]。

最优解 W_{\max} 为所有遍历绿波带宽 W 中的最大值, $W_{c-\max}$ 为当前遍历绿波带宽 W 值中的最大值。遍历前, $W_{c-\max}$ 赋值为 0, 每次遍历求得 W 值后更新 $W_{c-\max}$:

$$W_{c-\max} = \max\{W_{c-\max}, W\} \quad (2)$$

全部遍历结束后确定 W_{\max} 的值为 $W_{c-\max}$, 此时用于计算得到 W_{\max} 所对应的协调相位差 O_1, O_2, \dots, O_n 的取值为最终确定的各交叉口协调相位差, 所对应的 W^+, W^- 分别为最终确定的正反向绿波带宽。

1.2 带宽计算方法

以交通干线正向绿波 W^+ 的计算过程为例, 交叉口 I_i 在自身时间轴上的正向绿波区间为 $[O_i, O_i + P_i^+]$, 其在上一交叉口 I_{i-1} 时间轴上投影的正向绿波区间为 $[O_i - \frac{S_{(i-1,i)}}{V_{(i-1,i)}^+}, O_i - \frac{S_{(i-1,i)}}{V_{(i-1,i)}^+} + P_i^+]$ 。以此类推, 交叉口 I_i 投影到起始交叉口 I_1 时间轴上的正向绿波区间为:

$$\Omega_i^+ = \left[O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+}, O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+} + P_i^+ \right] \quad (3)$$

将每个交叉口到 I_i 的正向绿波区间取模换算到第

一周期的正向绿波区间结果记作 $\Omega_1^+, \Omega_2^+, \dots, \Omega_n^+$, 则 Ω_i^+ 可表示为:

$$\Omega_i^+ = \left[(O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+}) \bmod(C), (O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+}) \bmod(C) + P_i^+ \right] \quad (4)$$

图 1 为各交叉口在起始交叉口 I_1 时间轴上的正向绿波投影区间。整条干线的正向绿波带宽区间为所有交叉口的零轴投影绿波区间取交集 Ω^+ , 结果为:

$$\Omega^+ = \Omega_1^+ \cap \Omega_2^+ \cap \dots \cap \Omega_n^+ \quad (5)$$

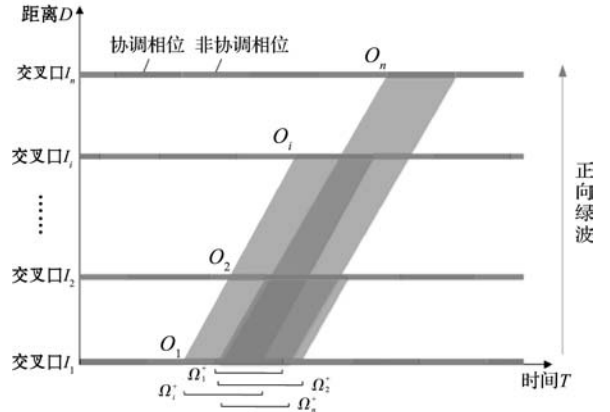


图 1 各交叉口在 I_1 时间轴上的正向绿波投影区间

依据式(4), 定义各交叉口 I_i 的正向绿波区间起始值为 $A_{si}^+, A_{s2}^+, \dots, A_{sn}^+$, 正向绿波区间结束值为 $A_{ei}^+, A_{e2}^+, \dots, A_{en}^+$, 则:

$$A_{si}^+ = \left(O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+} \right) \bmod(C) \quad (6)$$

$$A_{ei}^+ = \left(O_i - \sum_{k=2}^i \frac{S_{(k-1,k)}}{V_{(k-1,k)}^+} \right) \bmod(C) + P_i^+ \quad (7)$$

此时 W^+ 即为 Ω^+ 区间交集跨度值, 若该交集不为空, 则用该交集的上限值减去下限值即得到正向绿波带宽 W^+ , 即:

$$W^+ = \max\{0, \min\{A_{ei}^+\} - \max\{A_{si}^+\}\} \quad (8)$$

同样可得到反向绿波的计算方法。此时 W^- 为 Ω^- 区间交集跨度值, 若该交集不为空, 则用该交集的上限值减去下限值即得到反向绿波带宽 W^- , 即:

$$W^- = \max\{0, \min\{A_{ei}^-\} - \max\{A_{si}^-\}\} \quad (9)$$

交叉口 $I_1 \sim I_n$ 的加权公共绿波带宽 $W = aW^+ + bW^-$, 至此单次遍历结束。

1.3 剪枝优化

设定遍历每步进一次, 加权公共绿波带宽变化值为 ΔW , 以 1 s 为最小步进单位, 则需要在 $[0, C)$ 区间上遍历 C 次, 此时每次遍历公共绿波带宽变化最大值 ΔW_{\max} 为 $a + b$ 。

在遍历时, 每次计算加权公共绿波带宽值 W 与 $W_{c-\max}$ 比较, 若 W 大于 $W_{c-\max}$, 则更新 $W_{c-\max}$ 为此次遍历的 W ; 若 W 小于 $W_{c-\max}$, 则可加大循环遍历步长, 加

大的步长值为 $\lfloor \frac{W_{c-max} - W}{\Delta W_{max}} \rfloor$, 以此来剪枝, 优化循环速度。

$$\text{遍历步长} = \begin{cases} 1 & W \geq W_{c-max} \\ \lfloor \frac{W_{c-max} - W}{\Delta W_{max}} \rfloor & W < W_{c-max} \end{cases} \quad (10)$$

2 系统构建与应用

2.1 系统构建

基于遍历剪枝算法的干线绿波协调控制参数自动计算系统由 6 部分组成, 包括: 干线参数配置模块、配时方案设置模块、绿波时距图展示模块、均衡控制策略模块、绿波参数自动计算模块以及优化方案输出模块。具体如图 2 所示。其中: 均衡控制策略模块用于设置正向与反向绿波带宽权重; 优化方案输出模块用于将绿波信号配时方案保存到 Word 或 Excel。

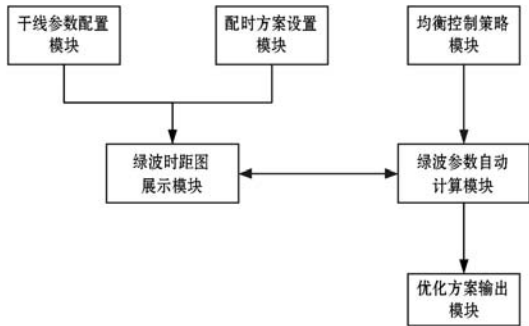


图 2 系统功能模块

2.1.1 干线参数配置模块

干线参数配置模块用于配置干线协调控制参数。干线协调控制参数包括干线绿波协调控制所包含的交叉口、交叉口拓扑结构、交叉口间距、路段行驶速度、进口方向、交通流向。配置模块如图 3 所示。

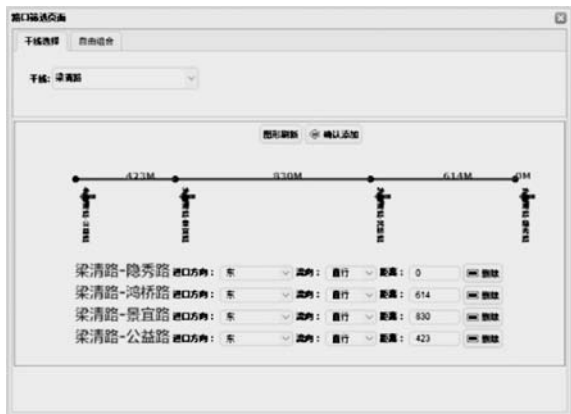


图 3 干线参数配置模块

2.1.2 配时方案设置模块

配时方案设置模块用于设置干线交叉口的配时

信息。配时信息包括交叉口信号配时方案、公共周期、协调相位、非协调相位、相位时长、非对称叠加相位。非对称叠加相位包括在协调相位前叠加单口放行相位和在协调相位后叠加单口放行相位, 如图 4 所示。

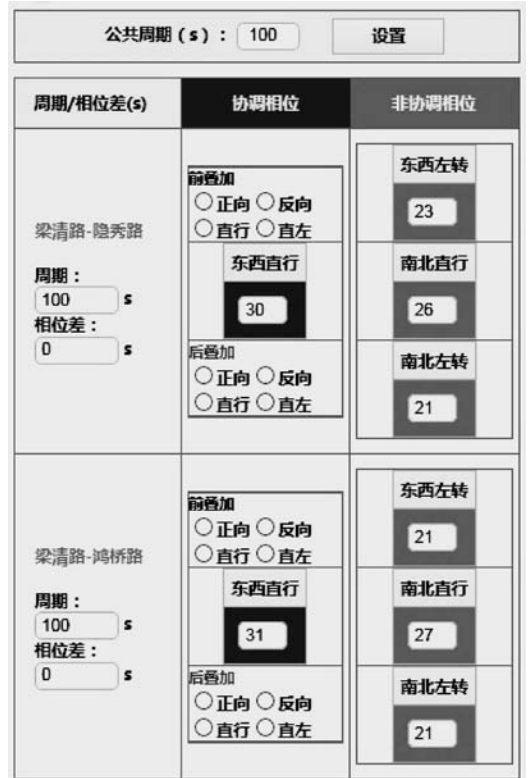


图 4 配时方案设置模块

2.1.3 绿波时距图展示模块

绿波时距图模块根据干线参数配置模块发送的干线协调控制参数和配时方案设置模块发送的干线交叉口的配时信息绘制时距图。均衡控制策略模块将正向与反向绿波带宽权重发送给绿波参数自动计算模块, 时距图模块采用 SVG 技术(可缩放矢量图形 Scalable Vector Graphics)绘制^[10]。展示模块如图 5 所示。

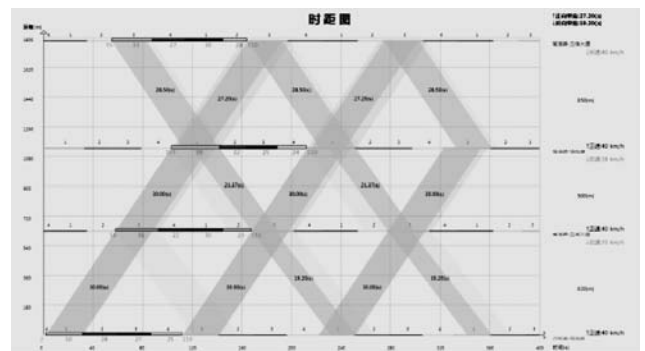


图 5 绿波时距图展示模块

2.1.4 绿波参数自动计算模块

绿波参数自动计算模块计算最优的干线双向绿波参数, 并在计算过程中与绿波时距图模块交互, 实时展

示干线双向绿波参数的自动计算过程及当前最优带宽。计算所得的干线双向绿波参数包括各交叉口协调相位差、正向绿波带宽、反向绿波带宽。

2.2 应用测试

2.2.1 测试干线概述

选择江苏省无锡市梁清路由东向西隐秀路至公益路 4 个信号交叉口进行应用测试。梁清路各路口间的间距较大,平均距离在 500 米以上,其中景宜路至鸿桥路路口间距达到 830 米,如图 6 所示。目前该道路高峰时段流量较大,且公交线路众多,非机动车和行人较多。

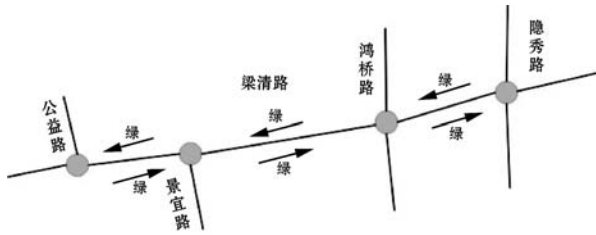


图6 梁清路干线协调交叉口分布示意图

2.2.2 绿波方案实施流程

基于上述干线绿波协调控制参数自动计算系统,配置梁清路干线协调交叉口绿波控制参数,具体操作步骤如下:

步骤1 用户在干线参数配置模块配置干线参数,包括选择干线所包含交叉口,设置交叉口距离,设置路段速度。梁清路-隐秀路至梁清路-鸿桥路之间为 610 m,梁清路-鸿桥路至梁清路-景宜路为 830 m,梁清路-景宜路至梁清路-公益路为 410 m。早高峰路段行驶速度为 40 km/h。

步骤2 调用配时方案设置模块设置干线交叉口配时方案,包括选择交叉口基准配时方案,设置周期与相位时长、叠加相位等。根据梁清路 4 个交叉口基准配时方案和交通流量,设置公共周期为 120 s。当用户操作完步骤 1、步骤 2 时,绿波时距图展示模块将同时在系统界面上展示相应的数据。

步骤3 在均衡策略模块设置正向与反向绿波权重,设置正反向公共绿波带宽差值关联度。

步骤4 绿波参数自动计算模块采用遍历剪枝搜索方法计算最佳干线双向绿波协调参数,同时在绿波时距图展示模块将计算过程实时展现给用户。

步骤5 自动计算模块优化结果输出。优化结果包括:各交叉口协调相位差、公共周期、相位放行灯态、相位时间、正向绿波带宽、反向绿波带宽。输出结果如表 1 所示。

表1 梁清路干线协调交叉口优化结果

交叉口名称	相位差/s	相位信息/s
梁清路-隐秀路	0	东西直行 - 44、东西左转 - 25 南北直行 - 27、南北左转 - 24
梁清路-鸿桥路	55	东西直行 - 49、东西左转 - 26 南北直行 - 23、南北左转 - 22
梁清路-景宜路	109	东西直行 - 66、东左转 - 24 南放行 - 30
梁清路-公益路	53	东西直行 - 58、西左转 - 35 北放行 - 27

2.2.3 应用效果

本次应用测试选择无锡市梁清路 4 个交叉口进行实地测试。通过对干线绿波协调控制系统运用操作,对 4 个交叉口进行协调相位差、正向绿波带宽、反向绿波带宽等的测算。对比分析本文成果应用前后无锡市梁清路的 4 个交叉口的控制效益,早高峰应用本文成果进行配时的 4 个交叉口的平均延误、二次排队长度、平均停车次数分别比应用前减少 6.88%、8.49%、13.10%,干线绿波协调控制效果较好。

本文的干线绿波控制操作简单,界面流程图形化显示,计算速度快,应用效果较好,具有较高的应用价值。

3 结语

本文对交通干线绿波协调控制开展了研究,介绍了基于遍历剪枝算法和 SVG 技术设计的一种干线双向绿波协调控制参数自动计算系统,给出了具体的系统软件实施流程及功能模块实现。通过实际道路的应用测试,进一步验证了系统的可行性及有效性。实地测试结果表明:基于本文研发的干线绿波协调控制自动计算系统计算速度快,结果可信度高,对于非对称放行相位和叠加相位的干线双向绿波协调控制具有较强的实用性,能够大幅简化干线绿波协调信号配时参数的设置流程,提高配置干线双向绿波协调参数的实施效率。

参考文献

- [1] 吴兵,李晔. 交通管理与控制[M]. 4版. 北京:人民交通出版社,2013.
- [2] 徐建闽. 交通管理与控制[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

- [2] Draibach U, Naumann F. A Comparison and Generalization of Blocking and Windowing Algorithms for Duplicate Detection[C]//Proceedings of International Workshop on Quality in Databases, 2009:51-56.
- [3] Bilenko M: Adaptive blocking: Learning to scale up record linkage [C]//International Conference on Data Mining. IEEE Computer Society, 2006:87-96.
- [4] Hernández M A, Stolfo S J. Real-world Data is Dirty: Data Cleansing and The Merge/Purge Problem[J]. Data Mining & Knowledge Discovery, 1998, 2(1):9-37.
- [5] Papenbrock T, Heise A, Naumann F. Progressive Duplicate Detection[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2015, 27(5):1316-1329.
- [6] Ma M, Wang P, Chu C H, et al. Efficient Multipattern Event Processing Over High-Speed Train Data Streams[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2015, 2(4):295-309.
- [7] Yu Z, Kuang Z, Liu J, et al. Adaptive ensembling of semi-supervised clustering solutions [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2017, 29 (8): 1577-1590.
- [8] 郑津杨, 徐坤, 李建强. 用于 RFID 系统数据处理的排序邻居算法性能分析[J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(12):207-210.
- [9] 肖满生, 周浩慧, 王宏. 基于模糊综合评判的相似重复记录识别方法[J]. 计算机工程, 2010, 36(13):51-53.
- [10] 刘雅思, 程力, 李晓. 基于长度过滤和动态容错的 SNM 改进算法[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(1):147-150.
- [11] 杨巧巧, 郭振波, 王开西. 基于聚类分组和属性综合权值的 SNM 改进算法[J]. 工业控制计算机, 2017(9):27-28.
- [12] Draibach U, Naumann F, Szott S, et al. Adaptive Windows for Duplicate Detection[C]//IEEE International Conference on Data Engineering. IEEE, 2012:1073-1083.
- [13] Christen P. A Survey of Indexing Techniques for Scalable Record Linkage and Deduplication[J]. IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering, 2011, 24(9):1537-1555.
- [14] Subramaniaswamy V, Pandian S C. A Complete Survey of Duplicate Record Detection Using Data Mining Techniques [J]. Information Technology Journal, 2012, 11 (8): 941-945.
- [15] 陈爽, 刁兴春, 宋金玉, 等. 基于伸缩窗口和等级调整的 SNM 改进方法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(9):2736-2739.
- [16] 邱越峰, 田增平, 季文贇, 等. 一种高效的检测相似重复记录的方法[J]. 计算机学报, 2001, 24(1):69-77.
- [17] 宋人杰, 余通, 陈宇红, 等. 基于 MapReduce 模型的大数据相似重复记录检测算法[J]. 上海交通大学学报, 2018, 52(2):214-221.

~~~~~  
(上接第 246 页)

- [ 4 ] Nguyen T H, Grishman R. Relation Extraction: Perspective from Convolutional Neural Networks[ C ]//The Workshop on Vector Space Modeling for Natural Language Processing, 2015:39-48.
- [ 5 ] Santos C N D, Xiang B, Zhou B. Classifying relations by ranking with convolutional neural networks [ J ]. Computer Science, 2015, 86(86):132-137.
- [ 6 ] Zhang D, Wang D. Relation classification via recurrent neural network[ EB ]. arXiv:1508.01006, 2015.
- [ 7 ] Zeng D, Liu K, Chen Y, et al. Distant supervision for relation extraction via piecewise convolutional neural networks [ C ]//Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2015:1753-1762.
- [ 8 ] Lin Y, Shen S, Liu Z, et al. Neural relation extraction with selective attention over instances[ C ]//Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2016:2124-2133.
- [ 9 ] Kim Y. Convolutional neural networks for sentence classification[ C ]//2017 XLIII Latin American Computer Conference (CLEI). IEEE, 2014:1746-1751.
- [ 10 ] Liu Y, Wei F, Li S, et al. A dependency-based neural network for relation classification [ EB ]. arXiv:1507.04646, 2015.
- [ 11 ] Manning C D, Surdeanu M, Bauer J, et al. The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit [ C ]//Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations, 2014.

~~~~~  
(上接第 254 页)

- [3] 卢凯, 徐建闽, 叶瑞敏. 经典干道协调控制信号配时数解算法的改进[J]. 公路交通科技, 2009, 26(1):120-124, 129.
- [4] 栗红强. 城市交通控制信号配时参数优化方法研究[D]. 长春:吉林大学, 2004.
- [5] Little J D C, Kelson M D, Gartner N M. MAXBAND: A program for setting signals on arteries and triangular networks [J]. Transportation Research Record, 1981, 795:40-46.
- [6] Gazis D C. Traffic theory[M]. New York: Springer, 2002.
- [7] 何尚秋, 郭海锋, 俞立, 等. 基于剪枝法的交通信号相位优化设计[C]//第三届国际电力电子与智能交通会议. 2010:425-428.
- [8] 中华人民共和国公安部. GB/T 31418-2015 道路交通信号控制系统术语[S]. 北京:中国标准出版社, 2015.
- [9] Lu K, Zeng X, Li L, et al. Two-Way Bandwidth Maximization Model with Proration Impact Factor for Unbalanced Bandwidth Demands[J]. Journal of Transportation Engineering, 2012, 138(5):527-534.
- [10] 王江静, 姜久雷. 可伸缩矢量图形(SVG)[J]. 现代电子技术, 2005, 28(24):32-33.