基于简化路网模型的城市实时路况监控方法*

朱征宇[a,b]，刘　琳[a,b]，郭崇霄[a,b]，崔　明[a,b]
（重庆大学 a. 计算机学院；b. 软件工程重庆市重点实验室，重庆 400030）

摘　要：在城市实时路况监控中，因交叉路口延误时间的采集困难、计算模型复杂，导致路况判别失准。针对该问题，提出了一种基于简化路网模型的实时路况判别方法。该方法通过在道路通行数据采集时将各种类型的交叉口都抽象为一个节点，并将在交叉口的延误时间计入相连道路的通行时间，然后在监控时针对不同类型节点进行反推计算，获得普通道路、环道以及立交桥的路况状态，实现实时监控。最后通过对城市实时路况监控的仿真实验验证了方法的有效性。

关键词：路况监控；简化路网模型；环道；立交桥
中图分类号：TP399　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1001-3695(2013)09-2715-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.09.039

Method of real-time city-traffic monitoring based on simplified road network model

ZHU Zheng-yu[a,b], LIU Lin[a,b], GUO Chong-xiao[a,b], CUI Ming[a,b]
(*a. College of Computer Science, b. Chongqing Key Laboratory of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing* 400030, *China*)

Abstract: In real-time city-traffic monitoring, due to the difficulty in collecting delay time at intersections and the complexity of the computational model of the intersection traffic, it is very difficult to judge the city-traffic accurately. In order to solve the problem, this paper proposed a real-time traffic discrimination method based on simplified network model. In this method, various intersections were abstracted to a node respectively and the delay time at an intersection was added to the travel time of the road connected to it. Then in real-time traffic monitoring, it calculated the traffic state of ordinary roads, roundabouts and overpasses to achieve real-time monitoring of the traffic. Finally, it gave a simulation experiment of real-time city-traffic monitoring to prove its validity.

Key words: traffic monitoring; simplified road network model; roundabout; overpass

0　引言

城市道路交通运行状况信息（路况信息）一直是智能交通运输系统（ITS）中的关键信息，其准确、实时地获取和处理是交通诱导、交通控制等应用的基础。实时交通监控服务将获得的路况信息，以广播、短信、路边电子显示牌等方式提供给出行者，帮助出行者在选择交通路线时能够避开拥塞路段，快捷到达目的地，并可为交警查找道路阻塞路段和安排人力排堵提供帮助。实时路况监控服务不仅要求数据采集的精确性，如何根据采集的数据再现城市道路当前通行状况，包括当前拥堵区域、拥堵路段、拥堵程度等也是一个难题。

目前，智能交通路况监控方法主要有两类：a）基于智能视频的交通监控[1~4]。这些方法主要是用视频采集的方法，利用视频图像处理、模式识别、人工智能等领域的先进技术，对摄像机拍摄的图形序列进行自动分析，实现对交通场景中的车辆、行人等目标的检测、分类和跟踪，并在此基础上对被监控目标的行为进行描述和判别。它们的共同特点是数据采集成本高、硬件设备要求严格、涉及到的技术较复杂。b）路况监控方法是利用固定线圈或浮动车等采集到的原始交通数据，通过设计相应的算法[5~8]，得到路段的平均通行时间或平均行驶速度，以此来表示路段的拥堵信息。与基于视频的路况监控方法相比，基于浮动车（或出租车）数据的路况监控具有成本低、数据采集全面的优点；其缺点在于采集到的数据往往不能准确反映交叉口的延迟情况，在计算路况时或直接忽略交叉口延时，或采用 Webster、HCM85、HCM2000 等模型[9]估计交叉口延误数据，这些传统的延误模型在我国大多数城市道路的实际应用中价值不大，而对于复杂的道路类型，如环道、立交桥等，道路与道路之间的距离近、角度差小，有时投影到平面上几乎是重合的[10]，使得 GPS 数据采集不准确，从而影响到对路况的判别。

本文提出的路况计算方法基于简化路网模型[11]，利用车载 GPS 周期性地（如每隔 5 min）采集到的路段平均通行时间来表示道路的拥堵信息。简化路网模型的特点包括：a）一条道路有不止一个权值，不同的权值代表从不同方向驶入道路所花费的平均通行时间；b）环道与立交桥抽象成一个节点（相当于普通交叉口）。该简化路网模型简化了路况信息的采集，已成功应用于实时交通信息采集[12]、实时车辆导航等领域[13]。本文提出的基于简化路网模型的路况计算方法，在通过简单的算式得到普通路段与交叉口路况的同时，还解决了环道与立交桥等复杂道路模型的路况判别问题，可用于实时路况监控服务

收稿日期：2012-12-17；**修回日期**：2013-01-25　　**基金项目**：国家科技部科技支撑计划重点项目（2011BAH25B041）

作者简介：朱征宇（1959-），男，安徽马鞍山人，教授，博导，主要研究方向为智能交通、电子商务、数据挖掘等（Zhu_zhengyu@cqu.edu.cn）；刘琳（1987-），女，硕士，主要研究方向为智能交通；郭崇霄（1988-），女，硕士研究生，主要研究方向为智能交通、图像处理；崔明（1985-），男，硕士，主要研究方向为智能交通.

和实时车辆导航服务。

1　简化路网模型及优点

简化路网模型[11]，将普通交叉路口、红绿灯交叉路口、立交桥和环道均抽象为节点，两节点之间的单行路段抽象成一条有向弧，两节点之间的双行路段抽象成两条有向弧。在每条有向弧上加权有至少一个时间花费权值 w_{pij}^t，其中 w_{pij}^t 表示从 p 方向驶来的车辆经过路段起点 i 到达路段终点 j 所花费的实际通行时间，即为从 p 方向驶来的车辆经过起点 i 所花费的节点通行时间与经过路段 $\langle v_i, v_j \rangle$ 所花费的路段通行时间的总和。

图 1 为城市路网中典型的相邻路口 A 和 B 的交通连接状况，AB 路段的权值为 w_{NAB}^t、w_{WAB}^t、w_{SAB}^t，它们分别代表 N、W 和 S 方向的车辆在 t 时段经左转、直行和右转绕过路口 A、并行驶至路口 B 的时间，即该时间为从不同方向绕过当前交叉口的时间与在路段上的行驶时间的总和。路段的权值个数取决于能直接到达该路段起点的前驱个数。

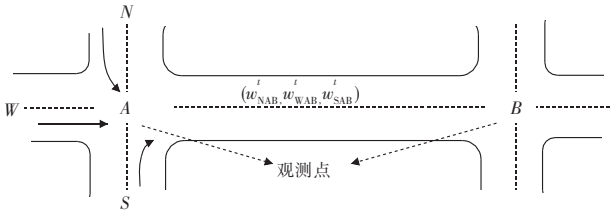


图 1　简化路网模型中相邻路口行程时间关系

简化路网模型采用一种简单的数据采集方式，将不同方向行驶至下游路段通过交叉口的转弯延迟时间、环道的转弯时间加以区别，即考虑不同上游路段绕过交叉口、环道等的时间行驶至下游路段的行程时间是不同的实际交通情况。该简化路网模型隐含地考虑了红绿灯排队等待时间、路段上的堵塞时间等对道路交通状况有影响却难以测量的时间，做到既考虑上述延迟时间的同时又简单地抽象路网模型，为 ITS 的后续工作（如道路实时路况监测、车辆实时路径规划等）打下了良好的基础。

2　基于简化路网模型的路况判别方法

本文将城市道路分为三种类型，分别是普通道路、位于环道内的道路和立交桥上的道路。环道是指交通路网中单向行驶、用于交通流量分流、减少拥堵的环形路段；而立交桥是指在城市重要交通交汇点建立的上下分层、多方向行驶、互不相扰的现代化陆地桥。按相交道路之间有无连接匝道、连接匝道的类型及交通流的组织形式的不同来分，可分为分离式立交桥、完全互通式立交桥、部分互通式立交桥和环形立交桥等[14]。

由于环道、立交桥等类型的道路节点分布密集、节点间距离较短，使得数据采集时交叉口的定位较困难和采集延时导致的误差影响更加明显，容易出现偏移或失准。简化路网模型刚好弥补了这方面的缺陷，它将整个环道与整个立交桥抽象成一个节点，不必采集环道和立交桥内部各弧段的实际通行时间，只需在进入环道和离开环道、进入立交桥和离开立交桥时记录下时刻值，通过简单的路况反算算法就能得出实际通行时间。再将该实际通行时间与理想通行时间进行比较，便可获得环道和立交桥内部各弧段的路况信息。

根据路况的堵塞程度高低将路况分为拥堵状态、微堵状态、缓行状态和畅通状态，且设定用于表征路况的三个临界值 a_1、a_2 和 a_3，其中 $a_1 < a_2 < a_3$，具体值根据不同的城市情况进行调整。路段的理想通行时间为 T_0，$T_0 = L/v_0$，其中 L 为路段的长度，v_0 为该路段的限速（与道路等级相关）。判断标准为：当实际通行时间 $< a_1 \times T_0$ 时表示处于畅通状态，$a_1 \times T_0 <$ 实际通行时间 $\leqslant a_2 \times T_0$ 时表示处于缓行状态，$a_2 \times T_0 <$ 实际通行时间 $\leqslant a_3 \times T_0$ 时表示处于微堵状态，实际通行时间 $> a_3 \times T_0$ 时表示处于拥堵状态，如表 1 所示。

表 1　道路实际行驶时间与交通状态对照

实际通行时间	状态	实际通行时间	状态
$T < a_1 \times T_0$	畅通	$a_2 \times T_0 < T \leqslant a_3 \times T_0$	微堵
$a_1 \times T_0 < T \leqslant a_2 \times T_0$	缓行	$T > a_3 \times T_0$	拥堵

2.1　普通道路路况判别

对普通道路的路况判别需要分别界定出交叉口和路段的拥挤程度。如图 1 所示，由简化路网的定义可知，从不同方向驶入路段 AB 的权值为 w_{NAB}^t、w_{WAB}^t 和 w_{SAB}^t，三者在路段 AB 上的行驶时间可以认为是一致的，其差别仅在于各自在交叉口 A 的转弯时间，即交叉口延迟时间。因此，可通过比较各前驱权值之间的关系来判断道路的通行状况。算法流程如图 2 所示，具体步骤如下：a）将路段最小时间花费权值 $T_{\min} = \min\{w_{pij}^t \mid v_p, v_i, v_j \in V\}$ 与 $a_1 \times T_0$ 进行比较，如果 $T_{\min} < a_1 \times T_0$，则转步骤 b），否则转步骤 c）；b）判断其余时间花费权值中是否存在大于 $a_2 \times T_0$ 的时间花费权值，存在则表示该路段的起始节点处于堵塞状态，不存在则表示路段和起始节点均处于畅通状态；c）判断 $T_{\min}$ 是否小于 $a_3 \times T_0$，若小于则表示该路段处于微堵状态，否则表示该路段处于拥堵状态。

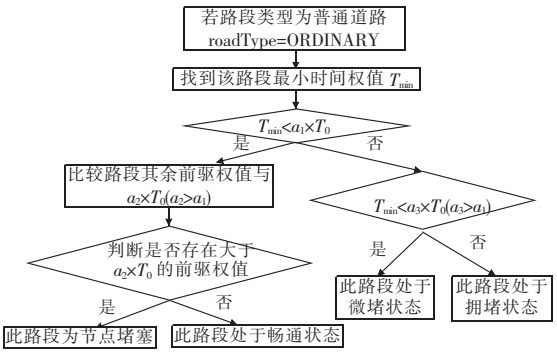
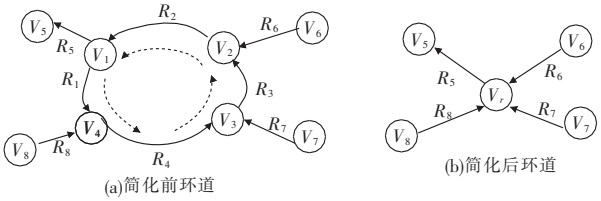


图 2　普通道路路况判别流程

2.2　环道路况判别

在简化路网模型中，环道被抽象成一个节点，如图 3 所示。环道简化前，原始环道根据不同驶入方向将环道 V_r 分成四个弧段：从节点 V_2 至节点 V_1 的弧段 R_2，从节点 V_1 至节点 V_4 的弧段 R_1，从节点 V_4 至节点 V_3 的弧段 R_4，从节点 V_3 至节点 V_2 的弧段 R_3。简化后的环道如图 3（b）所示。



(a)简化前环道　　(b)简化后环道

图 3　环道简化前后对比

以路段 R_1 为例，在有向弧 $\langle V_r, V_5 \rangle$ 上有时间花费权值 w_{6r5}^t、w_{7r5}^t 和 w_{8r5}^t，对照图 3（a），有如下关系式：

$$\begin{cases} w_{6r5}^t = w_{R_2}^t + w_{R_5}^t & (1) \\ w_{7r5}^t = w_{R_3}^t + w_{R_2}^t + w_{R_5}^t & (2) \\ w_{8r5}^t = w_{R_4}^t + w_{R_3}^t + w_{R_2}^t + w_{R_5}^t & (3) \end{cases}$$

式（1）（2）有　　$w_{R_3}^t = w_{7r5}^t - w_{6r5}^t$

式(2)(3)有　　$w^t_{R_4} = w^t_{8t5} - w^t_{7t5}$

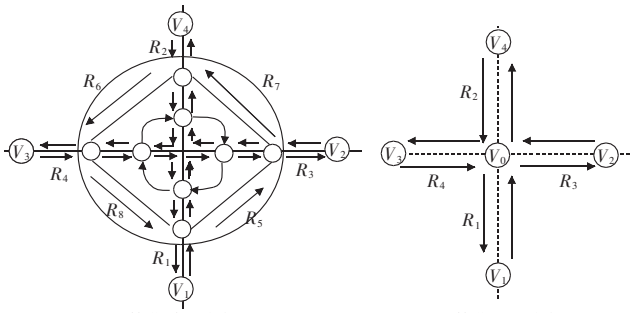
即分别得到了弧段 R_3 和 R_4 的实际通行时间。将计算得到的各弧段的实际通行时间 T 与理想通行时间 T_0 进行比较：$T < a_1 \times T_0$ 表示该弧段处于畅通状态；$a_1 \times T_0 < T \leqslant a_2 \times T_0$ 表示该弧段处于缓行状态；$a_2 \times T_0 < T \leqslant a_3 \times T_0$ 表示该弧段处于微堵状态；$T > a_3 \times T_0$ 表示该弧段处于拥堵状态。以此类推，通过对不同有向弧上的权值两两相减，可得出环道内各路段的交通状况。

2.3　立交桥路况判别

由于立交桥种类繁多，内部结构相差较大，不对立交桥每个匝道都进行路况判别，而是针对立交桥内的路径进行判别。若加权至同一有向弧上的最小时间花费权值为 $T_{\min} = \min\{w^t_{pij} \mid v_p, v_i, v_j \in V\}$，设其对应的前驱节点为 p。在此情况下，经过立交桥相应匝道的时间与在道路上的行驶时间相比通常很小，可设从 p 方向驶来的车辆经过路径的起始节点 i 所花费的节点通行时间为 0(即立交桥的通行时间)，最小时间花费权值 $T_{\min}$ 仅表示车辆经过路径 $\langle v_i, v_j \rangle$ 所花费的通行时间。

有向弧上其余各时间花费权值 w^t_{pij} 与所述最小时间花费权值 $T_{\min}$ 相减，便可得到经过立交桥中其余各路径所花费的实际通行时间 T；将各路径的实际通行时间 T 与畅通通行时间 T_0 进行比较，可得出立交桥中各路径的路况状态。最后标注立交桥上各弧段的状态为其所在路径的状态。

如图 4 所示，除进出立交桥的路段 R_1、R_2、R_3、R_4 等外，其余弧段都为立交桥内部弧段(图 4 简化前立交桥中黑圈内的弧段)。以 R_2 为例，加权至有向弧 $\langle v_0, v_2 \rangle$ 的时间花费权值有 w^t_{1o2}、w^t_{3o2} 和 w^t_{4o2}，设定其中最小的时间花费权值 $T_{\min} = \min\{w^t_{1o2}, w^t_{3o2}, w^t_{4o2}\}$ 中经过节点 v_o 的时间为 0，即经过立交桥的通行时间为 0，则最小时间花费权值 $T_{\min}$ 仅表示车辆经过路段 $\langle v_0, v_2 \rangle$ 所花费的路段通行时间(即路段 R_2 的通行时间)。有向弧 $\langle v_0, v_2 \rangle$ 上各时间花费权值 w^t_{1o2}、w^t_{3o2}、w^t_{4o2} 分别与 $T_{\min}$ 相减，即分别得到从 V_1、V_3、V_4 方向驶入立交桥行至路段 R_2 的各路径在立交桥上花费的实际通行时间。立交桥上弧段的状态即为其所在路径的状态。



(a)简化前立交桥　　(b)简化后立交桥

图 4　立交桥简化前后对比

3　实验结果

对本文提出的基于简化路网模型的实时路况计算方法进行了仿真实验。实验采用 Mapinfo 格式的重庆市某区域地图，开发环境与工具包括：Windows 7 操作系统、Visual Studio 2008 和 MapX 插件。实时交通数据采用文献[11]中的模拟数据。

实验地图路网共有 573 个道路节点和 1 090 条路段，其中环道 2 个，立交桥 5 个。经简化后的路网结构中路段共有 969 条，缩减了 11%，在降低数据采集量的同时，也减少了路网存储空间。路况信息在地图上通过不同颜色加以区分，其中绿色代表畅通；黄色代表缓行；蓝色代表微堵；红色代表拥堵(见电子版)。图 5 为凌晨时路况，路段几乎全部处于畅通状态；图 6 为早上 7:50 的路况，由于此时正值上班上学车流高峰时段，导致多数路段都处于拥堵状态；图 7 为重庆市渝中区牛角沱立交桥 8:30 的路况。

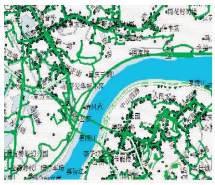


图 5　凌晨 00:00 路况

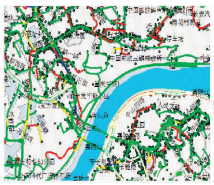


图 6　早上 7:50 路况

图 7　立交桥早上 8:30 路况

4　结束语

本文提出一种面向简化路网模型的路况监控方法，通过比较从不同前驱驶入路段的行程时间，便可实现在电子地图上再现当前的交通状况，且所需要的数据简单易采集，任何具备 GPS 定位功能的车载设备或司机的个人手机都能为信息中心提供数据源，路网的简化也使需要采集的数据量大大减少，这为城市路况信息的采集和处理提供了一条新的思路。通过实验验证了该方法的可行性和有效性。然而，由于目前采集到的 GPS 数据覆盖有限，本文的方法采用模拟数据，待课题组基于 GPS 终端和简化路网模型的采集技术[12]研究成熟后，将进一步验证该方法，根据实际情况调整算法，使路况计算更加精确。

参考文献：

[1] 吴成东，刘濛，张云洲. 智能交通监控技术研究[J]. 道路交通与安全，2009，9(2)：16-19，24.

[2] RODRÍGUEZ T，GARCÍA N. An adaptive，real-time，traffic monitoring system [J]. Machine Vision and Applications，2010，21(4)：555-576.

[3] CHO S Y，QUEK C，SEAH S X，*et al*. HebbR2-Taffic：a novel application of neuro-fuzzy network for visual based traffic monitoring system [J]. Expert Systems with Applications，2009，36(3)：6343-6356.

[4] 王为，姚明海. 基于计算机视觉的智能交通监控系统[J]. 浙江工业大学学报，2010，38(5)：574-579.

[5] 章威，徐建闽，王海峰，等. 基于浮动车技术的城市路况计算方法[J]. 交通运输系统工程与信息，2007，7(1)：43-49.

[6] 姜桂艳，常安德，张玮，等. 基于 GPS 浮动车的自然路段行程时间估计方法[J]. 公路，2009(11)：87-90.

[7] 董红召，吴方国. 基于 FCM 的路段平均行程时间估计[J]. 科技通报，2011，27(3)：426-430.

[8] 董均宇. 基于 GPS 浮动车的城市路段平均速度估计技术研究[D]. 重庆：重庆大学，2006.

[9] 庄焰，曾文佳. 信号交叉口延误计算模型研究[J]. 深圳大学学报：理工版，2006，23(4)：309-313.

[10] 何鹏，史望聪. 基于 3G 技术的浮动车交通信息采集系统研究[J]. 现代电子技术，2009，32(17)：165-167，180.

[11] ZHU Zheng-yu，LIU Wei，LIU Lin，*et al*. A simplified real-time road network model considering intersection delay and its application on vehicle navigation[C]//Proc of the 1st International Conference on Information Technology for Manufacturing System Ⅱ. New York：ACM Press，2011：1959-1965.

[12] 朱征宇. 基于 GPS 终端的面向简化路网模型的实时路况信息采集系统：中国，201210271721.7[P/OL]. (2012-12-05). http://search patentstar. com. cn/cprs 2010/.

[13] 朱征宇. 一种简化交通路网模型及基于此模型的导航方法：中国，201110002841.2[P/OL]. (2011-09-07). http://search patentstar. com. cn/cprs 2010/.

[14] 李占立，邢瑾琪. 公路立交桥的分类与交通标志及其行车规定[J]. 汽车运用，2010(11)：35-36.