

基于无标度摄像机的车流跟踪与速度估计算法

刘萌萌

(安庆师范学院, 安徽 安庆 246011)

摘 要:该算法通过滤波、图像差分、图像逻辑运算得到运动物体,再运用数学形态学的方法去除过于细节的图像信息,恢复图像中部分被去掉的像素点,得到车辆的轮廓。最后在此基础上计算出车辆轮廓的最小外接矩形,得到车辆的质心,实现跟踪并根据图像信息中已知的车身长度来估计速度。实验结果表明,在既没有对摄像机进行直接控制,也没有在场景中放置标度物体的前提下,算法具有一定的有效性与准确性。

关键词:智能交通;数字图像处理;车辆跟踪

中图分类号:TP18;TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)06-0111-04

Algorithm on Vehicle Tracking and Speed Estimating Based on Non-Calibrated Camera

LIU Meng-meng

(Anqing Normal College, Anqing 246011, China)

Abstract: This algorithm extracts moving vehicles using median filter, frame differencing and image Boolean calculation, resumes part of losing pixels using mathematical morphology, calculates the centroids of vehicles by obtaining the minimum exterior rectangle of the moving edges, processes the resulting edge information to obtain quantitative geometric measurements of vehicles. The results presented demonstrate the validity of this algorithm which requires neither direct camera control nor placement of a calibration object in environment.

Key words: intelligent transportation; digital image processing; vehicle tracking

0 引言

近年来,图像处理技术广泛应用于智能交通领域,如:队列侦测、事故侦测、车辆识别和车辆计数等^[1~8]。文中将数字图像处理技术应用于交通场景分析,主要研究使用无标度摄像机在视频帧中进行车流跟踪与速度估计的算法。

该算法通过滤波、图像差分、图像逻辑运算得到运动物体,再运用数学形态学的方法去除过于细节的图像信息,恢复图像中部分被去掉的像素点,得到车辆的轮廓,最后在此基础上计算出车辆轮廓的最小外接矩形,得到车辆的质心,实现跟踪并根据图像信息中已知的车身长度来估计速度。算法的特点在于使用图像帧中的几何关系,即便是摄像机没有明确的标度,也可以对交通场景的物理信息进行恢复,使问题简单化。该算法运作假定图片上的车辆近似于在二维平面上沿着

直线运动。由像素在图像中的不同定位来表示车辆在图像中的运动距离。在跟踪车辆的过程中获得比例系数,再通过一个适合比例系数的线性方程,对实际运动距离进行估计。由实际运动距离和已知的帧率就可以对速度进行估计。由于比例系数是通过车长统计分布图得到的,所以文中所研究的算法主要适用于在一个时段内统计车流的平均速度,而不是每个车辆的精确速度。

1 算法步骤

1.1 图像预处理

图像预处理包括三个步骤,分别是中值滤波、运动物体的提取、数学形态学方法。使用中值滤波器主要起到平滑的作用,它用滤波掩模确定的邻域内像素的中间值去代替图像每个像素点的值(即排序后的第5个像素值^[9]),这种处理减小了图像灰度的“尖锐”变化。由于典型的随机噪声由灰度级的尖锐变化组成,因此,常见的平滑处理应用就是减噪。

为了更准确地侦测物体,文中的算法使用三个连续的图像帧,将帧间差分扩展为三帧差分^[10],对每一

收稿日期:2007-09-01

基金项目:安徽省科研“资助计划”项目(2006jql211)

作者简介:刘萌萌(1980-),女,讲师,研究领域为多媒体技术、数字图像处理。

帧的处理都与其前一帧和后一帧相关联。其中前一帧(时间意义上的)用(I_p)表示,当前帧用(I_c)表示,后一帧(时间意义上的)用(I_n)表示。那么,对此三个连续的图像帧应用公式(1)的算法:

$$\text{Edge_image} = \text{Bw}(I_p - I_c) \& \text{Bw}(I_n - I_c) \quad (1)$$

公式(1)的具体意义如下:

1)求得当前帧的前向差分。

2)求得当前帧的后向差分。

3)分别对前向差分和后向差分的结果进行二值化处理。

4)将步骤3)得到的两帧图像相与。

将前向差分图像和后向差分图像相与会使检测出的区域恢复运动物体的实际尺寸。通过以上操作,就侦测出当前帧的运动物体。使用三帧差分法会去除对象的部分像素信息,为了解决这个问题,得到车辆的轮廓,就需要提高物体边界的质量。这个提高操作采用数学形态学方法来完成。

1.2 车辆几何轮廓提取和质心计算

在运用形态学操作之后,车辆边界被填充,从而形成运动实体。这些运动实体表示车辆在图像中的运动。为了刻画车辆的运动特性,需要计算这些车辆的轮廓和质心,根据质心确定车辆在图像中的位置。质心的取得是通过计算车辆轮廓的最小外接矩形实现的。最小外接矩形和质心的取得是车辆跟踪和速度估计算法中最关键的一步。图1为测试序列中一帧的车辆轮廓及其最小外接矩形,图中给出了质心的坐标。

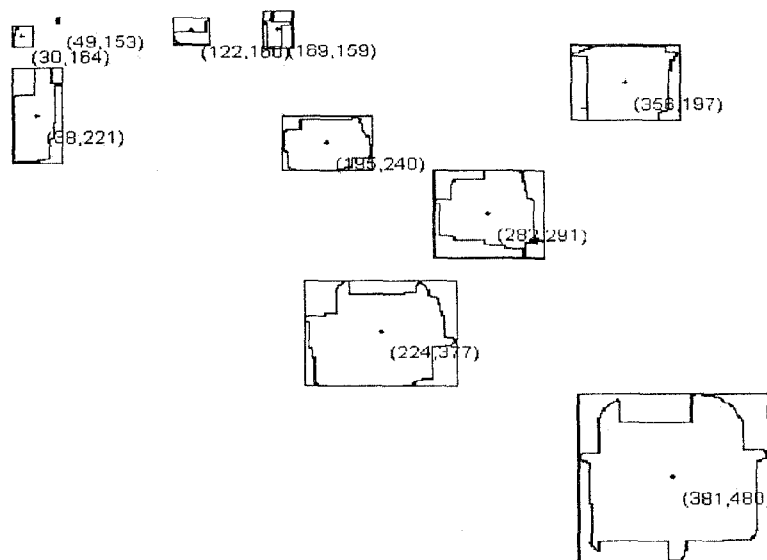


图1 车辆轮廓的最小外接矩形

1.3 车辆跟踪

在实现车辆跟踪的过程中,重点要处理两个方面的问题:

(1)匹配问题。

得到车辆在一系列连续视频帧的最小外接矩形后,要对同一车辆的最小外接矩形进行匹配,以实现跟踪。文中所用到的匹配方法是根据相邻两个最小外接矩形重叠面积的大小,当两个相邻最小外接矩形的重叠面积不小于较小的最小外接矩形面积的50%时,就认为是同一辆车^[11]。

(2)运动方向 α

在跟踪车辆的过程中,需要得到每一辆车的运动方向,以及车辆在不同图像帧的质心最佳连线。首先假定车辆在视频序列中没有突然的运动变化,这样就可以对某一特定车辆进行跟踪^[10]。通过在不同视频帧中计算车辆的质心可以得到车辆的运动轨迹,如图2所示。在计算车辆的运动轨迹时,需要用到一个线性相关系数 r ,正如 Bevington^[12] 提到的,质心间的线性相关系数 r 是决定这些质心是否线性相关的标准,为识别车辆的运动轨迹,需要对线性相关系数取一个极限值。实验证明,当线性相关系数 r 大于 0.90 时,认为该运动物体的跟踪效果是可以接受的^[10]。 r 的计算公式如下:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (2)$$

其中 x_i 和 y_i 是车辆轮廓质心的坐标, n 为质心的个数。

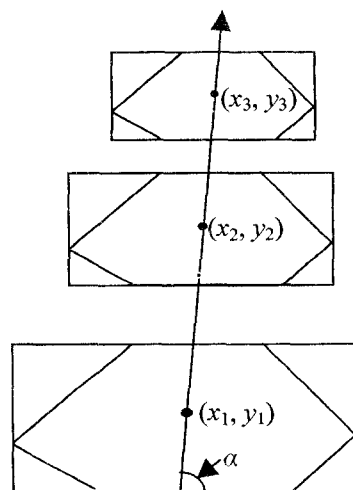


图2 车辆的运动轨迹

通过对比测试序列的一帧(见图3)与实验结果(见图4)可以发现,图3中左上方箭头所示车辆的所在区域属于另外一条公路,已超出摄像机的监测范围,因此这部分的结果可以不予考虑(包括车辆1,2,9,10,11,12;图4中的 Num 值即为车辆编号);另外,车辆3在处理第二

帧时已开出视场范围,这部分的结果也不予考虑(如图3下方箭头所示)。其余各车辆的线性相关系数如表1所示。

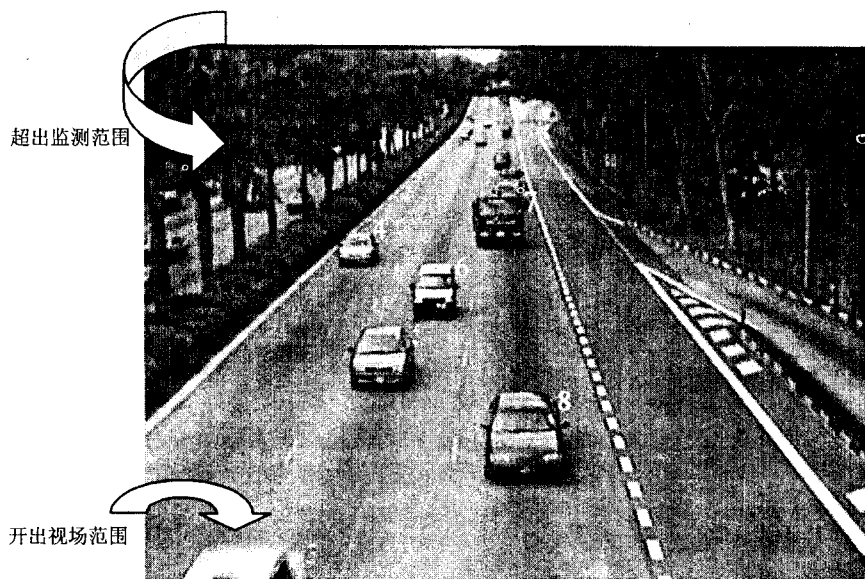


图3 测试序列的第一帧

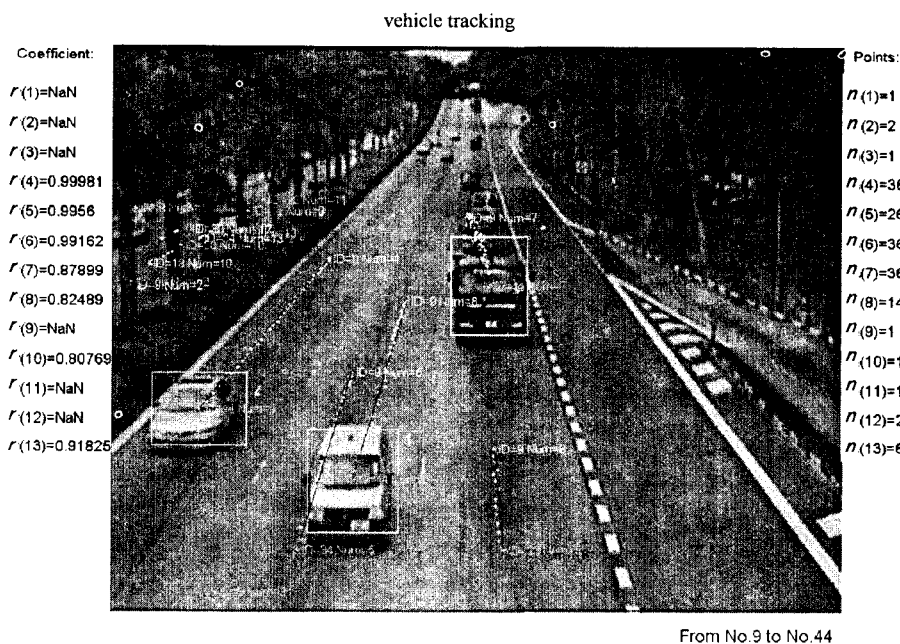


图4 车辆跟踪实验结果示意图

表1 线性相关系数

	Vehicle4	Vehicle5	Vehicle6	Vehicle7	Vehicle8
r	0.99981	0.99686	0.99534	0.92883	0.85187

从表1中可以看出,只有车辆8的线性相关系数值小于0.90,其它车辆的跟踪效果都是不错的,这是因为在测试序列的第一帧车辆8已即将驶出摄像机的视场范围(如图3所示),所以对车辆8的跟踪只有13帧(根据图4右方的 n 值可知。 n 值表示图像中质心的个数,对车辆的跟踪帧数为 $n-1$,另外一帧为初始化

帧),因此最后求得的 r 值偏小。另外,比较车辆7的线性相关系数值与车辆4,5,6的线性相关系数值可以发现,车辆7的线性相关系数值偏小。通过对原测试序列

的分析可以找到原因:正如图3中所显示的,车辆7的车身长度比较大,从摄像机的角度看,车辆7与其后车身长度较小的车辆已连在一起,因此程序在处理时会将其当作一个物体,这是车辆7的线性相关系数值偏小的主要原因。

1.4 几何分析与速度估计

要给出一个在视频帧中进行速度估计的算法,为简化问题可以做一些必要的假设:

1) 车辆的速度是有限的^[13],即有物理上和法律上的极限。

2) 车辆的运动是平滑的^[13],即在视频序列的帧间间隔内没有突然的方向改变。

3) 运动被限制在路面上^[14],即帧序列中车辆的跟踪是二维平面的问题。

4) 比例系数是沿着车辆运动的方向线性变化的。这样的假设限制了车辆朝着摄像机或背离摄像机运动。

5) 图像中车辆的长度是根据已知的车身长度分布实现的。

根据以上假设,图像上的车辆就好像在二维平面上沿着直线运动。由像素在图像中的不同定位来表示车辆在图像中的运动距离。在跟踪车辆的过程中获得比例系数,再通过一个适合比例系数的线性方程,对实际运动距离进行估计。由实际运动距离和已知的帧率就可以对速度进行估计。

在文中的研究中,假定不能控制摄像机的运动,也不能直接获得镜头的焦距、倾斜和角度等信息。并进一步假定摄像机的参数可以随时间改变。所做的工作是监测高速公路,且不允许在路边设置标志。对于文中研究的速度估计算法,精确的标度是没有必要的,文中用到的是图像中可用的几何信息。通过对车身长度分布的研究^[15],得到车身缩放比例,并对路面车流应

用几何学,最终得到速度分布。

对于一个具有 k 帧的视频序列, s_1 为第 1 帧车辆质心处的比例系数, s_k 为第 k 帧车辆质心处的比例系数,在这两个质心之间沿车辆运动轨迹的像素总长度为 n ,那么就可由式(3)计算出比例系数变化量 Δs 。

$$\Delta s = \frac{(s_k - s_1)}{(n - 1)} \quad (\text{m/pixel}^2) \quad (3)$$

接下来就可以得到车辆在这 k 帧中运动的实际总距离 D :

$$D = ns_1 + \frac{n(n-1)}{2} \Delta s - \frac{s_1 + s_k}{2} = (n-1) \frac{(s_1 + s_k)}{2} \quad (\text{m}) \quad (4)$$

由车辆的实际运动距离和已知帧率就可以得到车辆的速度估计值。

这个速度估计算法的特点是用到了基于统计的车身长度分布和无标度的摄像机。在车辆运行过程中根据图像信息得到比例系数,不需要在物理环境中设置任何标度。

2 实验数据

表 2 是根据上述算法得到的车辆 4~8 的速度估计值。由于车辆 4 的车身长度偏小(见图 3),所以其速度估计值较其他车辆的速度估计值偏大;车辆 5 和车辆 6 在同一车道上行驶,且相距不远,因此两车速度应相差不大(从表 2 中可以得到验证);车辆 7 的速度估计值显然存在误差,误差产生的主要原因是其实际车身长度远远大于车身长度分布的期望值;在测试序列的第一帧车辆 8 已即将驶出摄像机的视场范围(如图 3 所示),所以对车辆 8 的跟踪只有 13 帧,这是车辆 8 的速度估计值产生误差的原因之一。

表 2 速度估计值

	Vehicle4	Vehicle5	Vehicle6	Vehicle7	Vehicle8
Speed(km/h)	78.0816	67.7543	66.7687	14.2458	59.4689

3 结束语

由于理论与实践的不足,对于车辆跟踪与速度估计算法的研究和实现还有很多缺陷和不足。在复杂的背景下处理实时交通场景存在很多具有挑战性的问题,笔者认为要在这一方面继续研究,主要可以作以下几个方面的工作:

1)算法中没有考虑阴影的影响,而实际上由于照明条件和自然条件的关系,阴影问题是确实存在且对算法实验结果影响很大的。若能在文中所做工作的基础上对阴影问题做更深入的探讨,将会极大减少该算法的误差。

2)算法中没有考虑交通拥堵的影响,这方面的问题需要进一步的研究。在现实生活中,随着经济的不断增长,交通流量日益增加,交通拥堵已成为 ITS 领域的一个热点研究课题。如何在车流量很大的前提下,准确地提取运动物体也是文中没有进行深入探讨的一个方面。

参考文献:

- [1] Kilger M. Video - Based Traffic Monitoring[C]//International Conference on Image Processing and its Applications. Maastricht, Netherlands: [s. n.], 1992: 89 - 92.
- [2] Fathy M, Siyal M Y. An Image Detection Technique Based on Morphological Edge Detection and Background Differencing for Real - Time Traffic Analysis[J]. Pattern Recognition Letters, 1995, 16(12): 1321 - 1330.
- [3] Hoose N, Willumsen L G. Automatically Extracting Traffic Data From Videotape Using The CLIP4 Parallel Image Processor[J]. Pattern Recognition Letters, 1987, 6(3): 199 - 213.
- [4] Ali A T, Dagless E L. Computer Vision for Automatic Road Traffic Analysis[C]//ICARCV 90, Proceedings of the International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision. Cincinnati: IEEE, 1990: 875 - 879.
- [5] Fathy M, Siyal M Y. Real - Time Image Processing Approach to Measure Traffic Queue Parameters[J]. IEE Proceedings - Vision, Image and Signal Processing, 1995, 142(5): 297 - 303.
- [6] Soh J, Chun B T, Wang M. Analysis of Road Sequences for Vehicle Counting[C]//1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Vancouver, British Columbia, Canada: [s. n.], 1995: 679 - 683.
- [7] Zifeng J. Macro and Micro Freeway Automatic Incident Detection(AID) Methods Based on Image Processing[C]//IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Boston, Massachusetts, USA: [s. n.], 1997: 344 - 349.
- [8] Kudo Y, Yamahira T, Tsurutani T, et al. Traffic Flow Measurement System Using Image Processing[C]//33rd IEEE Vehicular Technology Conference. Ontario, Canada: [s. n.], 1983: 28 - 34.
- [9] Davies E R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities[M]. 2nd Edition. London, England: Academic Press, 1997: 181 - 191.
- [10] Dailey D J. An algorithm to Estimate Vehicle speed Using Un - calibrated Cameras[C]//proceedings of IEEE/IEE/JSAI international conference on intelligent transportation systems. Piscataway, NJ: IEEE, 1999: 441 - 446.
- [11] Masoud O, Papanikolopoulos N P, Kwon E. The Use of Computer Vision in Monitoring Weaving Sections[J]. IEEE Trans-

(下转第 118 页)

下方面的性能要求^[1]:以数据为中心、支持数据融合、基于节点定位、具有可扩展性、鲁棒性和安全性、提供 QoS 支持。

如何提供有效的节能策略是无线传感器网络路由协议需要解决的首要问题。以数据为中心和支持数据融合是绝大多数 WSN 应用的基本要求,可扩展性和鲁棒性则是路由协议应满足的基本要求。在解决主要问题和满足基本要求的基础上,能很好地利用节点的位置信息提供安全性和 QoS 支持的路由协议将有很好的发展前景。

依据上述性能体系对文中描述的 WSN 路由协议进行比较的结果见表 1。

表 1 几种分层路由协议的比较

	LEACH	PEGASIS	分层 PEGASIS	TEEN	APTEEN
路由结构	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)	分层(簇)
路由策略	主动	主动	主动	按需	按需和主动
提供节能策略	是	是	是	是	是
网络生存时间	好	很好	很好	很好	较好
以数据为中心	不是	是	是	是	是
有无数据融合	有	有	有	有	有
是否基于节点定位	不是	不是	不是	不是	不是
维护多条路径	否	否	否	否	否
最佳路径	不是	不是	不是	不是	不是
鲁棒性	较好	较好	较好	较好	较好
可扩展性	好	好	好	好	好
提供安全机制	否	否	否	否	否
基于 QoS 支持	否	否	否	不是	否

表中所列的 LEACH、PEGASIS、分层 PEGASIS、TEEN、APTEEN 均具有分层路由协议的特点,并且后四种都是在 LEACH 基础上改进而来的。仿真结果表明^[1~4,6]:LEACH 协议的方法比直接传输的方法节省 70% 的能量,比最小传输能量路由协议节省能量 40% ~ 80%。PEGASIS 比 LEACH 协议优秀 100% ~ 300%,分层的 PEGASIS 比传统的 PEGASIS 协议高 60%。TEEN 和 APTEEN 在能量分布和网络生存时间指标上均优于 LEACH 协议。APTEEN 的性能位于 TEEN 和 LEACH 之间。

3 结束语

目前无线传感器网络的路由协议的研究主要集中在能量效率上多方位、多角度开展的,通常运用数据命名、数据融合和节点聚类的技术。尽管在路由算法的研究方面取得了很多进展,但还有一些根本性的问题^[1,7]有待进一步研究,使网络具备更好的可伸缩性和更强的适应网络拓扑变化的能力。如:①由于大部分路由只能达到局部优化,不能实现全局最优的目标,则需要在不维护全局信息的前提下,构建能源的全局最优路由策略;②需要解决由实时应用引起的 QoS 问题,设计能量感知的 QoS 路由以保证在整个连接时间内的带宽和对能量高效路径的有效利用;③路由算法的安全与认证机制,因为目前很少有路由协议考虑安全问题;④在能量分布不均衡的前提下,构造有效的路由策略,以延长网络的生存时间。文中比较全面地分析和比较了几种分层路由协议,并为以后的研究给出了方向。

参考文献:

- [1] 于海斌,曾 鹏.智能无线传感器网络系统[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 唐 勇,周明天,张 欣.无线传感器网络路由协议研究发展[J].软件学报,2006,17(3):410-421.
- [3] 江 贺,刘文杰,张宪超.无线传感器网络路由协议研究进展[J].小型微型计算机系统,2007,28(4):594-598.
- [4] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy - Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks[C]//proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. [s. l.]:[s. n.],2000:1-10.
- [5] 李 岩,张曦煌,李彦中. LEACH-EE——基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法[J]. 计算机应用,2007,27(5):1103-1105.
- [6] Lindsey S, Raghavendra C S. PEGASIS: Power - efficient Gathering in Sensor Information System[C]// IEEE 2002. [s. l.]:[s. n.],2002:1125-1129.
- [7] 崔 莉,鞠海玲,苗 勇,等.无线传感器网络研究发展[J]. 计算机研究与发展,2005,42(1):163-174.

(上接第 114 页)

actions on Intelligent Transportation Systems,2001,2(1):18-25.

[12] Bevington, Philip R. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences[M]. New York: McGraw - Hill Book Company,1969:109-166.

[13] Hoose N, Willumsen L G. Real Time Vehicle Tracking Using the CLIP4 Parallel Processor[C]//Seminar on Information Technology in Traffic and Transport. PTRC. Summer Annual

Meeting, IEEE. UK: University of Bath,1987:113-131.

[14] Koller D, Weber J, Malik J. Robust Multiple Car Tracking with Occlusion Reasoning[C]//Proc. Third European Conference on Computer Vision. LNCS 800. Stockholm, Sweden: [s. n.],1994:189-196.

[15] Dailey D J. A Statistical Algorithm for Estimating Speed from Single Loop Volume and Occupancy Measurements[J]. Transportation Research B: Methodological, 1999, 33(5): 313-322.