

一种夜晚道路环境下的后方车辆检测方法

刘 威 文学志 苏上海 袁 淮 赵 宏

(东北大学软件中心, 沈阳 110004)

摘 要 目前,基于视觉传感器的车辆检测已经成为车辆驾驶辅助领域的研究热点。但是迄今为止,大多数研究集中在白天好的光照条件,对夜晚条件下的车辆检测研究较少。本文提出了一种基于车灯的夜晚道路环境下的车辆检测算法,利用摄像机采集实时图像来检测自车后方的车辆。首先,基于亮度信息提取夜晚环境图像中的光亮目标物,然后,对提取的光亮目标物进行验证,去除路灯等干扰光源,从而得到真正的车辆头灯;最后,按照基于知识的方法,对提取到的车灯进行组合,并对组合后的车灯对进行验证,从而检测出夜晚道路环境下的车辆。实验结果表明本文算法易于实现,识别率高,适应性好。

关键词 车辆检测 夜晚场景 车灯 图像处理 辅助驾驶系统

中图法分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)08-1621-06

A Method for Rear Vehicle Detection in Nighttime Road Environment

LIU Wei, WEN Xue-zhi, SU Shang-hai, YUAN Huai, ZHAO Hong

(Software Center, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract Recently, vision sensor based vehicle detection becomes an attractive research area for the driver assistance system (DAS). But most research was carried out in the day time with a good lighting condition and what little research so far done in the night time assumed no interference of light. Hence a headlights based vehicle detection algorithm at nighttime environment is proposed in this paper. The proposed algorithm detects the rear vehicles via real-time image sequence capture. Firstly, bright objects are extracted from the nighttime road scene images. Then the extracted bright objects are verified based on rules to eliminate the interferential light sources and obtain the actual vehicle headlights. Finally, a knowledge-based method is used to cluster vehicle headlights. The clustered headlights are then validated. Experimental results demonstrate the feasibility, effectiveness and robustness of the proposed algorithm on vehicle detection at night.

Keywords vehicle detection, night scenes, vehicle headlights, image processing, driver assistance system

1 引言

基于视觉的车辆辅助驾驶系统是当前的研究热点之一,很多研究机构在运动车辆的实时检测与跟踪方面做了大量的研究,如前方车辆碰撞警告和避免,自车变线辅助等^[1-3],并且取得了许多有价值的

成果。其中,基于视觉的自车变线辅助驾驶系统的目的是利用图像处理和模式识别技术来识别自车后方道路上的车辆、摩托车,避免自车做变线操作时由于驾驶员的忽视观察发生碰撞。然而,迄今为止大部分的研究工作都是集中在白天场景,只有很少的文献提出了夜晚条件下的车辆检测,事实上,夜晚的车辆检测对于辅助驾驶系统来说是个必须面临的

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA11Z221);中国博士后基金项目(20070411076);国际科技合作重要项目计划(2005DFA10260)

收稿日期:2007-11-30; **改回日期:**2008-04-25

第一作者简介:刘 威(1975 ~),男,高级工程师。2005年于东北大学获控制理论与控制工程专业博士学位。研究方向为复杂背景下的对象检测与跟踪。E-mail:lwei@neusoft.com

问题。

在以往的夜晚车辆检测的研究成果中, Taktak 等人利用固定在 20 米高处的摄像机检测夜晚迎面行驶车辆的头灯^[4]。凡是亮斑形状规则即被认为是候选的车灯。如果两个候选车灯的 Y 坐标相差很小并且两个候选车灯之间的图像距离在一个合理的范围之内, 则被认为是车辆的灯对。这种方法只适用于摄像机静止不动的情况。Fanet 等人通过识别车辆尾灯来强调车辆的分类^[5]。一定距离范围内的车辆尾灯将被检测。但是, 他们的方法也没有解决摄像机装在运动车辆上的问题。Kagesawa 等人利用红外图像来检测夜晚的车辆^[6], 利用红外图像可以使夜晚和白天的算法一样, 其研究的重点是车型识别。在文献[7]中, 提出了一种利用两个不同的域值来检测车辆尾灯的方法。在距自车 10 米之内和 10 米之外分别采用不同的域值来检测尾灯。文献[8]提出了基于规则的车辆头灯检测算法, 但该算法仅从车辆头灯自身的形状角度考虑头灯检测, 并没有考虑头灯的多帧运动信息和车辆宽度信息的约束, 并且无法处理车灯地面反光等干扰光源的影响。

在夜晚或者暗的照明条件下, 白天车辆所具有的特征将变得不再明显, 如边缘、车底阴影等, 甚至有时根本检测不到这些特征。不过, 夜晚的车辆也有自己的明显特征: 车辆头灯和尾灯。本文针对夜晚环境提出一种基于车载相机的自车后方车辆的头灯检测算法。首先, 利用改进的 Otsu 最大类间方差方法确定图像分割阈值, 提取出夜晚道路场景中的光亮区域。然后利用透视原理和先验知识对提取的光亮区域进行验证其是否是真正的车辆头灯。最后, 采用基于规则的方法对验证的车灯进行组合, 以便找出属于同一车辆的两个匹配的车灯对。

2 基于亮度的光亮目标物提取

从安装在自车后方的摄像机获取实时的道路场景, 经过帧频转换后, 得到 720×480 的 24 位真彩色输入图像序列, 如图 1(a) 所示。图中包含一辆与自车同向的车辆, 此外, 还有路灯、反光等干扰光源。为便于描述, 将它的车头灯以及干扰光源统称为光亮目标物。

由先验知识可知, 车辆头灯具有以下特点:

(1) 车辆头灯区域的亮度值明显大于夜晚道路环境下的其他区域;



(a) 原图



(b) 提取的光亮目标物

图 1 夜晚道路环境

Fig. 1 Road environment at night

(2) 一般来说, 车辆头灯总是成对出现, 并且, 这一对头灯在面积、大小、形状等方面具有相似性。

首先, 为了定位车辆, 需要根据特点(1)提取夜晚图像中的光亮目标物。为了减少计算量, 在提取光亮目标物之前, 先把输入的彩色图像转换为灰度图, 转换公式为

$$I_g(x, y) = 0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y) \quad (1)$$

式中, $I_g(x, y)$ 为转换后的灰度图, $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ 分别为输入彩色图像 $f(x, y)$ 的 R 通道, G 通道和 B 通道分量。

为了提取出灰度图像中的光亮目标物, 需要根据图像的亮度值进行目标物的分割, 从而把光亮目标物从背景中分离出来, 具体步骤如下:

(1) 根据图像的灰度值, 确定分割车辆头灯的阈值 Th_b 。Otsu 提出了一种基于灰度直方图的最优阈值选择方法^[9], 通过最大化图像上亮区域和暗区域之间的类间方差来确定最优阈值。文献[8]在 Otsu 算法的基础上提出了一种自适应多域值的方法来分割头灯。本文考虑到计算性能, 采用文献[10]提出的基于二分法改进的 Otsu 最大类间方差

方法确定阈值,解决了文献[8]~[9]中的 Otsu 方法要遍历所有灰度级,才能找出最优阈值的问题,减少了迭代次数,节省了分割时间。

(2)扫描灰度图像 $I_g(x, y)$ 的每个像素,如果像素灰度值 v_g 小于阈值 Th_b ,则此像素为光亮点并提取出来,提取光亮目标后的图像(如图 1(b)所示)。

3 基于规则的车灯验证

在提取的光亮区域中,可能会存在各种干扰光源,如地面反光、路灯和信号灯等。所以,需要根据车灯的特征将这些干扰光源去除,保留真正的车灯。

除非特殊说明,以后提到光亮目标物或车灯的属性如高度、宽度和纵横比等都是指最小外接矩形的高度、宽度和纵横比等,最小外接矩形如图 2 中的白色框所示。



图 2 光亮目标物的最小外接矩形

Fig. 2 Minimal enclosing rectangle of bright objects

3.1 基于透视原理的车灯验证

根据透视原理和先验知识可知,在消失线以上不可能有车辆头灯出现。而且,在图像消失线下方任意区域出现的车辆头灯其形状必须满足一定的要求。由此,可以去除部分干扰光源。具体判定规则如下:

(1)判断光亮目标物的位置与消失线的关系,如果在消失线以上,即满足式(2),则认为是干扰光源。

$$C_y(L) < DL_y \tag{2}$$

式中, $C_y(L)$ 为光亮目标物的质心纵坐标位置, DL_y 为消失线的纵坐标位置。

(2)判断光亮目标物的形状(纵横比、面积)是否合理,即是否满足式(3)和式(4)。如果不满足,则认为是干扰光源。

$$H(L)/W(L) \leq Th_{ar} \tag{3}$$

$$A(L) \geq T_{A_{min}} \tag{4}$$

式中, $H(L)$, $W(L)$, $A(L)$ 分别表示光亮目标物 L 的

高、宽和面积; Th_{ar} 表示纵横比阈值,为大于 1 的常数,它的选取可参照真实车辆头灯的纵横比; $T_{A_{min}}$ 为光亮目标物所在区域的最小车灯面积阈值,它与目标车辆与自车的距离相关。

3.2 基于相互位置关系的车灯验证

根据光亮目标物之间的相互位置关系,也可以去除部分干扰光源,这些干扰光源通常为车灯在地面上的反光。具体步骤如下:

(1)首先判断两光亮目标物是否在同一列上,判断规则如下:

$$l(L_2) \leq C_x(L_1) \leq r(L_2) \text{ 或} \\ l(L_1) \leq C_x(L_2) \leq r(L_1) \tag{5}$$

式中, $C_x(L_i)$ ($i=1,2$) 表示光亮目标物 L_i 的质心横坐标; $l(L_i)$, $r(L_i)$ 分别表示光亮目标物 L_i 的最小外接矩形的左右边界的横坐标;如果两光亮目标物不在同一列上,则不需要处理,否则,继续步骤(2)。

(2)假设光亮目标物 L_1 和 L_2 在同一列上,且 L_2 在 L_1 的下方,如果 L_1 和 L_2 满足如下条件,则 L_2 为地面反光。

$$W(L_1) \geq \alpha \cdot W(L_2) \tag{6}$$

$$W(L_2)/H(L_2) \leq Th_{ar} \tag{7}$$

$$A(L_1)/A(L_2) \leq Th_a \tag{8}$$

式中, α 为 0 和 1 之间的常数, Th_{ar} , Th_a 为小于 1 的正常数。

4 基于知识的车辆头灯的组合与拆分

为了准确检测定位车辆,需要根据单灯的位置以及单灯之间的相互关系将单灯组合成灯对。同时,也需要将误组合的灯对进行拆分。在对灯对进行提取时,根据先验知识可知,只存在水平方向的灯对,所以,首先把单灯按水平方向进行组合,即组合的假设产生;然后再利用规则验证该组合,即组合的假设验证,从而保留真正的灯对信息。

4.1 基于知识的灯对组合假设产生

根据两个单灯的形状和位置关系,可以初步判断其是否是同一辆车上的灯对,即灯对组合的假设产生。灯对组合的假设产生规则如下^[8]:

(1)两灯之间的水平距离需要小于最大的车辆宽度,即:

$$D_h(L_1, L_2) < Th_h \tag{9}$$

$$D_h(L_1, L_2) = \max(l(L_1), l(L_2)) - \min(r(L_1), r(L_2)) \tag{10}$$

$$Th_h = \alpha \times \min(W(L_1), W(L_2)) \quad (11)$$

式中, $D_h(L_1, L_2)$ 表示两灯 L_1 和 L_2 之间的距离; L_1, L_2 为车灯; $l(L_i)$ 为灯 L_i 的左边缘; $r(L_i)$ 为灯 L_i 的右边缘; $W(L_i)$ 为灯 L_i 的宽度; α 为大于 1 的常数

(2) 两灯位于图像同一水平位置, 即满足如下条件:

$$P_v(L_1, L_2) < Th_p \quad (12)$$

$$P_v(L_1, L_2) = D_v(L_1, L_2) / \min(H(L_1), H(L_2)) \quad (13)$$

$$D_v(L_1, L_2) = \min(b(L_1), b(L_2)) - \max(t(L_1), t(L_2)) \quad (14)$$

式中, $P_v(L_1, L_2)$ 为两灯的垂直距离, $H(L_i)$ 为 L_i 的高度; $b(L_i)$ 为灯 L_i 的下边缘; $t(L_i)$ 为灯 L_i 的上边缘; Th_p 为小于等于 1 的正常数。

(3) 两灯的形状相似性

$$\min(H(L_1), H(L_2)) / \max(H(L_1), H(L_2)) > Th_{\text{height}} \quad (15)$$

$$\min(W(L_1), W(L_2)) / \max(W(L_1), W(L_2)) > Th_{\text{width}} \quad (16)$$

式中, Th_{height} 为高度相似性阈值; Th_{width} 为宽度相似性阈值。

4.2 基于知识的灯对组合假设验证

灯对的组合假设验证是对假设产生步骤中产生的灯对, 利用知识的方法验证其是否是真正的车辆灯对。灯对的假设验证规则如下:

(1) 灯对组合框的纵横比。灯对组合框指灯对的最小外接矩形, 如图 3 所示, 白框为组合框, 需要满足如下条件:

$$W(B) / H(B) \geq Th_{\text{whratio}} \quad (17)$$

式中, $W(B), H(B)$ 分别表示组合框 B 的宽度和高度, Th_{whratio} 表示纵横比阈值, 为大于 1 的常数, 它的选取可参考真实车辆的头灯之间的距离和头灯高度的比例;

(2) 灯对和组合框的面积比

$$(A(L_1) + A(L_2)) / A(B) < Th_{\text{up}} \quad (18)$$

$$(A(L_1) + A(L_2)) / A(B) > Th_{\text{low}} \quad (19)$$

式中, $A(L)$ 表示灯的面积, $A(B)$ 表示组合框的面积, Th_{up} 表示面积比的上限阈值, Th_{low} 表示面积比的下限阈值。

(3) 车辆宽度限制。真实世界中车辆的宽度范围在 1.2 m 到 2.5 m 之间, 映射到图像中, 其对应的像素宽度也有一定范围, 真正车辆的灯对的图像宽



图 3 车灯的组合框

Fig. 3 Bounding box of vehicle headlights

度必然在此范围内。为了获得车辆在图像上的像素宽度范围, 需要知道车辆下底边在图像中的位置。这里, 用式 (20) 计算车辆的像素宽度:

$$W_p = \frac{W_r \cdot a_x}{d} \quad (20)$$

$$d = \frac{h \cdot a_y}{B_{\text{bottom}} - C_{\text{dis}}} \quad (21)$$

$$B_{\text{bottom}} = C_y(B) - \beta \cdot W(B) \quad (22)$$

式中, W_p, W_r 分别表示车辆的像素宽度和真实宽度; d 表示车辆与自车的距离; h 表示相机的安装高度; a_x, a_y 分别表示相机的径向畸变和切向畸变系数; B_{bottom} 表示车辆的下底边图像位置; $C_y(B)$ 表示组合框的质心纵坐标; β 为常数, 这里 $\beta = 0.6$ 。由于夜晚条件下很难准确地确定车辆的下边缘, 因此, 根据车灯的通常高度范围, 采用式 (22) 大致确定车辆的下边缘。

通过式 (20) ~ 式 (22), 能够获得灯对所代表的车辆在真实世界的宽度范围所对应图像中的像素宽度范围。

(4) 组成灯对的两单灯面积比。同一车辆上的两个车灯的面积之比不能过大, 需要满足如下条件:

$$\max(A(L_1), A(L_2)) / \min(A(L_1), A(L_2)) \leq Th_a \quad (23)$$

式中, Th_a 为车灯面积比的阈值

(5) 两个单灯的速度相似性。同一车辆上的两灯的速度(大小和方向)应该相同, 即满足如下条件:

$$\vec{v}(L_1) \approx \vec{v}(L_2) \quad (24)$$

$$|\vec{v}(L)| = (s(t + \Delta t) - s(t)) / \Delta t \quad (25)$$

式中, $\vec{v}(L_i)$ 表示车灯 L_i 的图像速度, $s(t)$ 表示在 t 时刻

车灯质心的图像位置,在本文算法中 $\Delta t = 1/f$, f 为帧频,考虑到 Δt 为常数,所以速度公式可以简化为

$$|\vec{v}(L)| = (s(t + \Delta t) - s(t)) \quad (26)$$

即用车灯质心在图像上的位移表示车灯速度。如果两个单灯速度相似,则组合成灯对。对于已经组合的灯对,如果其速度不相似,则将其拆成两个单灯,再与其他的单灯重新组合。

4.3 基于位置关系的灯对验证

灯对提取出来以后,由于干扰光源的影响,可能会存在误识别的灯对,如图 4 所示。所以,需要对提取的灯对进行验证,以排除误识别的存在。



白框为误识别灯对,黑框为正确灯对

图 4 误识别灯对

Fig. 4 Wrong headlight pair

具体验证规则如下:

(1)灯对之间不能有单灯。灯对之间如果有其他单灯,此灯对可能是误组合灯对。所以,如果灯对之间还同时有单灯存在,则此灯对属于误识别,需要拆开。判断灯对之间是否有单灯的规则如下:

$$l(B) \leq C_x(L) \leq r(B) \quad (27)$$

$$t(B) \leq C_y(L) \leq b(B) \quad (28)$$

式中, $t(B)$, $b(B)$, $l(B)$, $r(B)$ 为灯对 B 的上下左右位置; $C_x(L)$, $C_y(L)$ 为车灯 L 质心的纵横坐标。

(2)灯对之间不能重叠。如果灯对 $B1$ 处于另一个灯对 $B2$ 范围内,即满足如下条件:

$$l(B2) \leq l(B1) \leq r(B2) \quad (29)$$

$$t(B2) \leq t(B1) \leq b(B2) \quad (30)$$

则灯对 $B1$ 为误识别灯对。

5 实验结果

为测试本文算法,利用车载摄像机拍摄了夜晚不同路况的 video 片段,包括城市道路、乡村道路、高速公路、坡路、无路灯道路等。摄像机安装在自行车后方,高度为 1.20 ~ 1.35 m。图像大小为 720 × 480 像素,颜色为 24 位真彩色。算法测试性能见表 1,算法在不同道路环境下的检测结果如图 5 所示。

表 1 检测算法性能

Tab. 1 Performance of detection algorithm

video 片段	NRR	NDR	NTP	DR (%)	FAR (%)
城市道路无路灯	536	486	475	88.62	2.26
城市道路有路灯	192	186	176	91.67	5.37
高速公路	73	71	71	97.26	0.00
坡路	423	428	398	94.09	7.01



(a) 有路灯的城市道路



(b) 无路灯的城市道路



(c) 有干扰光源的城市道路



(d) 高速公路



(e) 坡路

图 5 不同道路条件下的检测结果

Fig. 5 Detection results in various road conditions

表 1 中各指标含义如下:

NRR (number of reference regions) 表示评估图像集合中出现的参考车辆数; NDR (number of detection result regions) 表示算法检测的车辆数; NTP (number of true positives) 表示算法检测结果中正确检测的车辆数; DR (detection rate) 表示检测识别率; FAR (false alarm rate) 表示误识别率;

$$DR = \frac{NTP}{NRR}, FAR = 1 - \frac{NTP}{NDR}$$

目前, 本文算法在没经过特殊的软件优化的情况下, 在标准 PC (2.8 GHz, 512M RAM) 上能达到 12 帧/秒。

6 结 论

提出了一种基于视觉的夜晚车辆检测算法, 利用车辆的头灯来检测夜晚道路上的车辆。首先, 根据输入图像的亮度值信息提取出光亮目标物, 然后利用知识的方法假设产生和假设验证组合灯对。实验结果表明本算法能够根据车灯有效地检测出夜晚道路环境上的车辆。不过, 由于夜晚环境的复杂性, 算法在实验中仍有未能正确检测的车辆和错误检测的车辆。下一步将继续优化算法性能, 并结合雷达等其他传感以增加算法的可靠性。

参考文献 (References)

- 1 Van Dijk T, Heijden van der G A J. VisionSense: an advanced lateral collision warning system [A]. In: Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium [C], Las Vegas, Nevada, USA, 2005:296-301.
- 2 Dagan E, Mano O, Stein G P, *et al.* Forward collision warning with a

single camera [A]. In: Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium [C], Parma, Italy, 2004:37-42.

- 3 Broggi A, Bertozzi M, Fascioli A, *et al.* Visual perception of obstacles and vehicles for platooning [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, **1**(3):164-176.
- 4 Taktak R, Dufaut M, Husson R. Vehicle detection at night using image processing and pattern recognition [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Austin, TX, USA, 1994:296-300.
- 5 Liu Bo, Zhou He-qin, Wei Ming-xu. Vehicle detection at night using color and motion information [J]. Journal of Image and Graphics, 2005, **10**(2):187-191. [刘勃, 周荷琴, 魏铭旭. 基于颜色和运动信息的夜间车辆检测方法 [J]. 中国图象图形学报, 2005, **10**(2):187-191.]
- 6 Kagesawa M, Ueno S, Ikeuchi K, *et al.* Recognizing vehicles in infrared images using IMAP parallel vision board [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, 2001, **2**(1):10-17.
- 7 Betke M, Haritaoglu E, Davis L S. Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle [J]. Machine Vision and Applications, 2000, **12**(2):69-83.
- 8 Wu B F, Chen Y L, Chen Y H, *et al.* Real-time image segmentation and rule-based reasoning for vehicle head light detection on a moving vehicle [A]. In: Proceedings of Signal and Image Processing [C], Honolulu, Hawaii, USA, 2005:15-17.
- 9 Otsu. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Transactions System Cybernet, 1979, **9**(1):62-66.
- 10 Sun Guang-ling, Zhou Qing-song, Fang Chuan-gang. A fast threshold segmentation arithmetic based on the minimum interclass variance [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science), 2005, **25**(1):39-42. [孙光灵, 周庆松, 方传刚. 基于最小类内方差的快速阈值分割算法 [J]. 安徽理工大学学报 (自然科学版), 2005, **25**(1):39-42.]