

# 类红外线影像在高承载车辆 侦测系统之应用研究

范俊海<sup>1</sup> 陈仁政<sup>2</sup> 林森基<sup>2</sup>

(1. 淡江大学运输管理系, 台湾新北市, 25137)

(2. 东山科技有限公司, 台湾新北市, 23544)

**摘要** 高承载车辆侦测之发展, 利用类红外线传感器以及雷射定位仪截取影像, 辨识部份采取自适应性增强以及阶层式分类器(AdaBoost + Cascade Classifier) 来当成分类算法。本研究经实地测试, 在自由车流下成功率达 73.3%, 可以证明 HOV 系统实用性。

**关键词:** 高承载车辆、类红外线、阶层式分类器

**中图分类号:** U491.1+16

## An Application Study of High Occupancy Vehicle Detection System with Near Infrared Image

FAN, CHUN-HAI<sup>1</sup> CHEN, JEN-CHENG<sup>2</sup> LIN, S. C.<sup>2</sup>

(1. Department of transportation of Tamkang University, New Taipei City, 25137, Taiwan)

(2. Eastern Science & Technology Co. LTD, New Taipei City, 23544, Taiwan)

**Abstract** The development of High Occupancy Vehicle (HOV) Detection system is adopted NIR sensing and laser positioning technology for catching in-vehicle images. Occupant's recognition subsystem is finished with AdaBoost and Cascade Classifier algorithms. In field test, it has 73.3 percent successful rate for free flow condition. The results have won the approval of practical applicability on HOV system.

**Keywords:** High Occupancy Vehicle, Near Infrared, Cascade Classifier

### 1 绪论

高承载车辆的侦测是高承载运输策略必要的工具, 所谓高承载车辆是指一般小客车能够搭乘 2 至 3 人以上的运载行为称其为高承载车辆(High Occupancy Vehicle), 简称为 HOV。由于道路容量的限制, 希望驾驶小客车皆能提高其运能, 以期降低车道上车辆的拥挤程度, 因此对于车辆内乘坐的人数如果能够透过科

技的侦测技术侦测得知的话, 则可以进行交通政策的管制作用。

高承载车辆的侦测包含几点重要的特性: 第一是车辆快速移动, 在高速路的车辆, 常行驶于 100 公里/小时以上。第二是车辆窗户的透明度问题, 大部份的车辆因为要避免阳光的照射, 在车窗上常贴上隔热纸以防止车内温度的上升, 而大部份的隔热纸会挡掉可见光的进

入，从外表看上去窗户呈现黑色。第三是外在光线的变化无常，有云有雨有雾，晚上的光线不足，这些都是侦测的挑战。第四是交通执法的基本要求，「眼见为凭」这是民众信服的证据，因此留下影像是执法必须的要件，所以在侦测的技术上图像处理是重要的考虑方向。第五是人员的侦测部份，热侦测与形像侦测的考虑，热侦测的考虑是人的温度可以被侦测，但是车辆上有太多的热源，干扰热的反应，而车窗阻隔其侦测效能就变成不可能。而形像侦测是指人的外型侦测，最重要是人脸的侦测是被考虑的重点，然而前提是要看得到人才可以。

前段叙述窗户效应的隔热纸障碍，而且也考虑夜间光线的问题，加上一定要有影像以作为执法的依据，类红外线或称近红外线(Near Infrared, NIR)感测成像装置成为重要的考虑的工具。所谓近红外线是指波长 800~2000 nm(Nanometer)的光线，因在可见光红光之外称之为红外线。隔热纸的隔离电磁波(光是电磁波中的一种)靠的是隔热纸中散布的金属细粉，这金属细粉浓度的比率决定透光率，这金属细粉对所有波长的电磁波是一视同仁，所有波长的电磁波穿透率是相同的。而根据隔热纸出产公司的实验声称可以对红外线有 97%的阻隔率，而剩下的 3%穿透率变成本研究所依靠的希望。

## 2 HOV 侦测系统架构

从上面所述五项特性，衍生诸多待解决的问题，以表 1 来表示其问题以及可行的方式。对于窗户效应、夜间、以及光线不稳定的问题，兼顾眼见为凭的执法要求采取类红外线的侦测器，成为本系统最重要的限制。

而根据前段的探讨，对于各阶段的问题解决，连接为整个系统来开发，因为 HOV 的侦测系统是与警方执法系统相互连接，所以必须考虑违规举发的部份，这个地方必须加入车道侦测、车速侦测以及车牌侦测的辨识子系统，

架构图如图 1 所示。而图 2 是说明高乘载的人员侦测流程，以及连动于警方的取缔。

表 1. 侦测问题与解决方式

(Table 1. Detection Problems and Solutions)

| 特性         | 问题              | 解决方式        |
|------------|-----------------|-------------|
| 车辆快速移动     | 触发侦测、计算机算法处理时间短 | 高速高精雷射定位侦测器 |
| 车辆窗户的透明度问题 | 人在车内对比弱、阻绝效应明显  | 类红外线影像侦测器   |
| 外在光线的变化无常  | 夜间、下雨、强光效应      | 类红外线影像侦测器   |
| 眼见为凭       | 影像显示、巨大储存需求     | 影像保留        |
| 人员的侦测部份    | 侦测人数、特征不明显      | 人脸侦测分类法     |

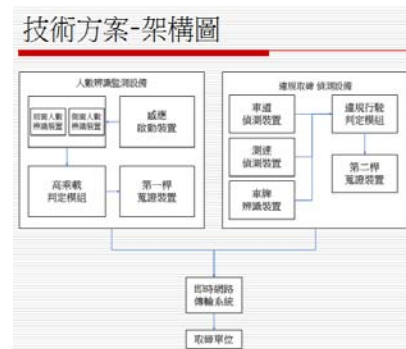


图 1. HOV 侦测系统架构图

Fig. 1. The Structure of HOV Detection System



图 2. 乘员数辨识流程

Fig. 2. The Flowchart of Occupants Recognition System

## 3 HOV 乘客人数侦测算法

在系统取得经过的车辆影像后，接下来则

会交由辨识程序去辨识车内的乘员人数。计算方式是以在照片中有清楚呈现的人脸数目为依据，因此为此我们开发了一个人脸侦测系统。由于台湾汽车普遍装有隔热纸，以及车窗玻璃容易反光等因素。因此 HOV 系统不适合使用可见光的影像，因此需要改采近红外线 (near-infrared bandwidth) 摄影的方式。且使用近红外线摄影也可以有避免闪光灯使驾驶分心而造成民怨甚至发生车祸的疑虑。

本系统的人脸侦测算法是基于 Viola 与 Jones 所发表的 Haar-Cascade 架构[1]，方法大致上就是先建立一个人脸侦测的分类器，然后扫描照片的各个不同的区域，然后由分类器来判断这些区域是否为人脸。随着区域大小与位置的不同，一张照片最多可能会被分割成超过一千万个不同的区域。一般的人脸侦测系统在普通照片上大致上会有约 80~90% 的侦测率。但是如果照片中人的脸部受光不平均、脸部偏斜、或是脸部被遮蔽等情形都会严重影响侦测效果。再加上近红外线影像与可见光影像的不同，都是会大幅使得人脸侦测的效果大打折扣。所以 HOV 系统中的人脸侦测必须针对近红外线影像来特别收集广泛且不同环境下的实际影像当成训练数据，并修改算法来适合这些特殊的需求。下面则将人脸侦测系统的开发重点分成几个部分来描述：

### (1) 训练资料收集

由于近红外线的影像与一般可见光的影像有差异，且比较容易有噪声，所以直接使用一般的脸部侦测算法与辨识模块会使得脸部侦测准确度大幅的降低。因此必须要派人在现场架设机器，并收集过往车辆的近红外线影像来当成训练用模板。之后将这些照片随机分成训练组与验证组各约数千张，并将训练组的照片交由人工将照片中的人脸部分全部框选并标记出来，这些标记出来的人脸影像就是系统用来训练人脸侦测分类器时所需的训练数据。验证组的照片则是保留到后面进行分类系统

训练时的测试与参数调整使用。接下来，再用软件将这些训练用的人脸影像全部正规化到一样的大小。

### (2) 数据前处理

在取得训练的人脸影像数据后，由于这些影像的原始数据只是每个像素的亮度数值，直接使用这些数值当成训练数据并不是很妥当。需要进一步的进行资料的前处理工作，才能从像素数据里面萃取出比较有意义的特征，如此才会有比较好的分类效果。一般来说人脸的影像在特定的位置会有一些的特征，譬如眼睛跟嘴巴区块的颜色相对皮肤的部分亮度会比较深。因此使用影像中区块的颜色对比来当成特征会是一个理想的方法。所以这里我们采取 Harr-like 的特征撷取方式。

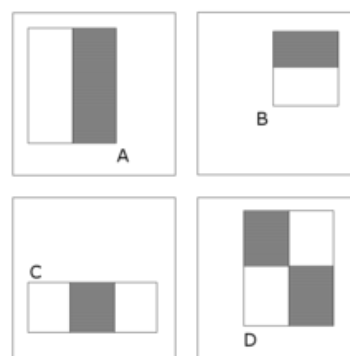


图 3. 影像分割方式(参考文獻[1])

Fig. 3. The forms of Segmented Image(Reference[1])

如图 3 所示，我们分别将影像切割成如同 ABCD 各种不同的分割方式。每种分割方式分别计算白色区块与黑色区块的颜色平均值当成特征值。随着切割类别、大小与位置的不同，我们可以从每张人脸的训练影像中的到许多的特征值。这些特征值则可以搭配各种不同分类算法来建立辨识模块。在我们的系统中总共使用了大约 26 万个不同的特征。

### (3) 人脸侦测分类算法

由于一张照片在进行人脸侦测时，会在照片中逐步扫描并分割成超过一百万个不同的影像区域来辨识，所以需要选择一种合适的分

类算法来辨识每个区域是否为人脸。因为需要辨识的区域太多了，因此不能使用类似支持向量机(Support Vector Machine, SVM)这类强效但是运算时间过长算法。在此系统中是采用以判定树为基础的分类算法。为了加强判定树的分类效果，所以加入了自适应性增强(Adaptive Boosting, AdaBoost)的机制并搭配阶层式分类器(Cascade Classifier)来进行分类。

自适应性增强(AdaBoost)是一种加强学习效果的算法，他的目的是结合几个分类效果较弱的算法来共同进行决策。虽然单一的分类器正确性比较低，但是经由分类器间的群体决策后可以加强整体的分类效果。因此可以采用比较简单但是快速的分类器以加速辨识的时间。

由于在侦测人脸的时候，一张照片会被分割成一百万个以上的区域的子图藉由分类器来辨识是否为人脸。而绝大部分的子图都不会是人脸，因此这个分类器的所产生的误正率(false-positive rate)必须非常小。单使用一组自适应性增强(AdaBoost)分类器无法达到需要的准确性，所以再加入了阶层式分类器(Cascade Classifier) 在整个人脸侦测分类算法中。

阶层式分类器(Cascade Classifier)的概念是同时使用许多层的分类器来逐步筛选人脸。开始先使用一个分类器来进行分类，第一个分类器只做初步的分类，但是它的目的是要将明显不是人脸的影像来区分出来。这时分类器不需要太高的侦测率(detection rate)大约 85~95%左右，但是需要极低的误正率(false-positive rate)，大约要小于  $10^{-5}$  或  $10^{-6}$ 。因此这个分类器预测为非人脸的准确性会非常高，所以当分类器分类为非人脸时，就会直接判断并输出结果为非人脸。否则则继续交由下一个分类器来分类。之后每一层的分类器都比照第一个分类器的原则，维持非常低的误正率，然后只判断是否为非人脸。如果无法确认为非人脸则再交由下一个分类器来进行判断。之后每一层的分类器都会承接上一层的分类结果，再进行更细

致的分类。直到最后一个分类器都不认为是非人脸时，才会将分类结果输出为人脸。

#### (4) 车窗侦测系统

前面所建立的人脸侦测系统会扫描整张影像来判断人脸出现在这张影像的数目。虽然已经针对此应用的特殊性而采用自适应性增强以及阶层式分类器(AdaBoost + Cascade Classifier) 来当成分类算法[2]。但是如果能够缩小照片中扫描的范围，可以加速辨识速度且增加正确性。因此我们特别又建立了一个车窗的侦测系统，可以侦测车窗在照片中位置与大小。由于乘员一定只会出现在照片的车窗范围内，所以人员侦测系统只需在车窗的范围中去扫描并侦测乘员数目及可。

## 4 HOV 系统实作与测试

### 4.1 HOV 侦测系统实作

#### 4.1.1 硬设备

本系统之开发，为了侦测车内人员的人数，以及为了克服车速过快的困难，对于车辆取像的方式采取雷射触发设备，而类红外线的取像必须加强车内人员的红外线补光部份，因此特别加入了补光单元及照相单元。而为了执法以及显示之作用，也加入了车牌辨识系统以及可变标志系统的设置，其硬件的设备如下：

- (1) 人员侦测传感器、触动侦测器设备
  - (a) 触发设备：MDL公司之ILM模块
  - (b) 补光单元：Gardasoft VCubed VTR2
  - (c) 照相单元：Point Grey CMLN-13S2M/C
- (2) 其他设备厂牌清单如表 2 所示。

#### 4.1.2 系统实作

经过硬件的检测以及软件的开发，直接到达高速道路实测现场架设，有太多值得分享的成果，本文只提供图 4 实验测试图以及图 5 实验影像图，做为参考。

表 2. HOV 系统设备表

(Table 2. HOV System Facility)

| 项目             | 厂牌型号                      |
|----------------|---------------------------|
| 人员侦测服务器        | Dell(Dell PowerEdge R410) |
| 交流不断电设备        | 伊顿飞瑞(C-6000R)             |
| 手提测试机          | ASUS(U24E)                |
| 警用车上计算机        | ASUS(Pad TF300T)          |
| 信息可变标志(8x1 字)  | 上崴                        |
| 信息可变标志终端控制器    | 上崴                        |
| 200 万像素 IP 摄影机 | ACTI(KCM-5611)            |
| 录像监控主机         | Dell(Dell PowerEdge R710) |
| 磁盘阵列           | QNAP(TS-1679U-RP 机架式)     |
| 标准机柜           | 熊创                        |
| 户外型交换式集线器      | 研华(EKI-7559SI-AE)         |
| Ethernet 光电转换器 | 研华(EKI-2541SI-AE)         |
| 电源供应器          | 明纬                        |
| 户外型无线基地台       | D-Link(DAP-3690)          |
| 高速以太网网络交换器     | ZyXEL(ES2024A+ENC-1)      |
| 自动车牌辨识器        | 硕铨                        |

- 觸發設備：MDL公司之ILM模組
- 補光單元：Gardasoft VCubed VTR2
- 照相單元：Point Grey CMLN-13S2M/C



图 4. 实验测试图

Fig. 4. Experiment's Test



图 5(a)



图 5 (b)



图 5 (c)



图 5 (d)

图 5. 实验影像图(a)(b)(c)及(d)

Fig. 5 Experiment's Image (a)(b)(c) and (d)

#### 4.2 HOV 系统的测试

参考 Georgia 技术研究所曾帮乔治亚州运

输部(GDOT)发展高乘载侦测系统的研究计划,在其研究计划中成功地利用雷达触发车辆,可捕捉速度达 80 英里/小时的车辆。报告中特别提到英国 VOL 系统以及 GTRI-HOV 两套系统,英国 VOL 系统在 2005 年,于英国的 United Kingdom HOV 车道对 Cyclops 系统进行测试,结果宣称其有侦测 95%的成功率。但是根据美国加州大学 PATH 2010 年 7 月 30 日道路实测结果,辨识成功率只有 4.2%而已。加州大学也对此系统分析其原因:(1)系统准确度极低,显见尚未建置完成,(2)测试结果显示,系统仍未研发成功,发展亦尚未了解现场环境,(3)遮蔽及相机精准定位问题待解决。

GDOT 对 GTRI-HOV 的测试中,针对车窗定位的正确率高达 97% [3],而对于侦测成功率也达到 87%,稳定度受到肯定,最重要一点的是,本文所建置的系统与 GTRI-HOV 系统设备相仿,由于过去本研究团对在雷射定位方面有更多的经验,因此车辆定位以及触发的情况进行得更有把握。

本系统在人数辨识方法与前面几种系统皆有所不同,因此根据本团队测试分为自我测试以及自由车流测试,所谓自我测试指的是指定好高乘载与非高乘载车辆进行模拟测试,结果正确率有 81.89%以及误报率为 6.81%。另外自由车流测试是完全开放系统自由测试,在整天历经白天与晚上的不同状况的测试,结果正确率为 73.3%,而误报率上升为 15.02%。

#### 4.3 HOV 准确性评估

由于 HOV 系统中是以人脸的出现数目来判别车辆里的人员数量,因此下面几种情形都有可能造成人员数目的识别错误:

- (1) 车辆布帘会影响到乘客照片的拍摄。
- (2) 车速过快会使得照片清晰度不足。
- (3) 儿童或正躺下休息的人,会因为近红外线影像无法穿透车壳,所以不会在照片中出現,因此就不会被辨识出来。
- (4) 照片中人脸有被遮蔽的情形,如果被遮

蔽的比例过大,则无法顺利辨识。

- (5) 车辆中有假人或布偶出现时。因为照片质量与目前计算机的指令周期的限制,系统尚且无法分辨假人与真人的差异。如果要能够进行分别,则需要再提高照片的质量到能够清楚的辨识脸部的材质。如此会大幅的提升程序的复杂性与运算能力的需求,以目前计算机的运算能力可能无法达到实时辨识的要求。同时也可能会有将真人辨识成假人的机率,进而降低整体的辨识率。

## 5 结论与建议

### 5.1 结论

高乘载(HOV)的议题已经不是新鲜的议题,但是车窗效应以及光线不稳定的因素,加上车速的限制,让 HOV 侦测技术发展上并不是很顺畅。这里面包括了雷射定位的技术、车辆变换车道追踪技术、车牌辨识系统、类红外线成像技术、人脸辨识技术,加上车速引起算法无法运算过久的限制,每个环节都是值得突破的研发,本研究可以得到下列几点结论:

- (1) 本系统从实作中印证系统是可以运作的。
- (2) 本系统在自由车流下有 73.3%的正确率,从学术上是更进一步接近成熟,另外一方面从辅助警方管制上,有其重大的贡献。
- (3) 采用自适应性增强以及阶层式分类器(AdaBoost + Cascade Classifier) 来当成分类算法,对于乘客人数的应用是成功的尝试。而此种自我学习的算法系统是有学习的能力,当失败的例子被纳入训练的样本,系统的成功率将会越来越高。

### 5.2 建议

高承载车辆侦测的最大挑战是隔热纸的使用,类红外线是为了突破窗户效应而采取的

手段，但是镜面全反射的隔热纸将完全阻隔光线的透入，类红外线的使用又会面临无效的结果，过多穿透性的光线或多或少对人体都会有些影响，因此在窗户上黏贴完全镜面的隔热纸是应该适当立法规范的。

在高速中侦测车内的人数有如军事上的科技，瞬间 0.1 秒的误差，要截取的影像消失不见，建议实施的地点选择在车速较慢的地点才进行侦测，甚至可考虑在 HOV 车道入口处，而 HOV 车道也可以采用实体分隔，让守法民众能有所遵循。

HOV 侦测失败原因很多，除了窗户效应外，还有强光反射效应，侦测器上感测太强的光源让影像完全过曝，光线晕开，所以在设置取相设备上必须注意到光源与侦测器角度的关系。

依靠外形的显像侦测人脸来决定人数，过多的杂物也会造成误判，为了避免扰民，系统的使用是要以辅助执法人员为主，若无法据于判断其非高承载，执法者采取的策略应采保守方式，而对于明确违规之车辆也必须采取径行告发的方式，交户使用民众自然会遵守高承载的规定。

## 参考文献

- 1 Paul Viola and Michael Jones, Robust Real-time Object Detection, Second International Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision – Modeling, Learning, Computing, and Sampling, pages 1-25, VANCOUVER, CANADA, JULY 13, 2001.
- 2 Paul Viola and Michael Jones, Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features, In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 511-518, Kauai, HI, USA, 2001
- 3 Georgia Tech Research Institute, Sensing System Development for HOV (High Occupancy Vehicle) Lane Monitoring, GDOT Research Project No. RP 07-26, 2011.

作者数据表

|                   |  |       |                         |
|-------------------|--|-------|-------------------------|
| 姓名                | 范俊海  | 职称/学位 | 副教授/博士                  |
| 单位                | 淡江大学运输管理系  | 电子邮件  | chunhai@mail.tku.edu.tw |
| 电话                | +886-2-26299501  | 手机    | +886-935-545030         |
| 地址（邮编）            | (25137) 新北市淡水区英专路 151 号  |       |                         |
| 论文题目              | 类红外线影像在高承载车辆侦测系统之应用研究  |       |                         |
| 所属主题              | ITS 理论、技术及应用   |       |                         |
| 作者简介<br>(限 150 字) | 台湾大学土木研究所博士，专长在于智能型运输系统、车流理论以及交通控制等方面。对于智能型执法有广泛地接触，对于交通安全也涉入颇深。 |       |                         |