

疲劳驾驶状态检测系统的设计

刘静霞

(成都电子机械高等专科学校, 四川 成都 610031)

摘要: 司机疲劳驾驶容易引起严重的交通事故, 疲劳状态检测系统的研究成为计算机应用研究的重要领域。为了满足疲劳状态检测系统实时性要求, 选择实时性较好的 Adaboost 算法来识别人眼, 采用单位时间内眼睛闭合时间所占的百分率来判断疲劳状态, 应用该算法后进行疲劳驾驶训练和识别研究。选择 DSP 移植方案并将疲劳状态检测算法移植到 DSP 中。经过实时检测实现的系统基本能满足实时检测疲劳驾驶的要求。

关键词: 疲劳状态; 实时检测; Adaboost

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)18-0092-03

Fatigue detection system design

LIU Jing Xia

(Chengdu Electromechanical College, Chengdu 610031, China)

Abstract: Driver fatigue can trigger serious driving accidents, and fatigue detection system is an important area of computer application. In order to meet real time fatigue detection system requirements, select a good real-time adaboost algorithm to identify the human eye. After application of the algorithm, training and recognition of driver fatigue, DSP transplant program is chosen and careful selection of fatigue detection algorithm is used. The system can satisfy the requirements of real-time detection of driver fatigue.

Key words: fatigue; real-time detection; adaboost

为了减少由于司机疲劳而导致的交通事故, 国内外的许多研究工作者都在研究司机疲劳状态检测系统。例如美国卡内基梅隆大学的 Richard Grace 领导的 Copilot 工程开发的疲劳检测装置, 浙江大学的驾驶防磕睡装置, 北京航空航天大学的眼动测量系统。目前, 疲劳驾驶的检测技术主要有两大类, 一类是采集脑电信号的生理参数 EEG 来检测^[1], EEG 生理参数能准确地反映出人的疲劳状态, 但检测设备较复杂昂贵, 应用推广难度较大; 另一类是对采集的面部图像信息进行识别^[2]。图像信息检测中, 有的利用较昂贵的红外摄像机检测信号^[3], 有的利用普通摄像机进行检测^[4]。普通摄影机安装和使用较方便, 利于推广应用, 但对图像处理技术要求较高。由于疲劳状态实时检测系统要求很高的实时性和可靠性, 目前为止, 还没有出现满足实际需要的非强迫性检测系统。

表 1 中列出了几种疲劳状态检测的方法, 并对性能进行了比较。通过比较可以发现, 这几种方法中基于身体反应的检测方法性能较好。PERCLOS (Percentage of

表 1 疲劳检测方法对比

检测方法	实时性	检测的准确性	可扩展性
基于身体反应的检测方法	很好	好	很好
基于操控行为的检测方法	很好	好	很差
基于汽车行为的检测方法	很好	好	很差
基于驾驶员反应的检测方法	很差	好	很好
基于行驶条件的检测方法	好	很好	很差
基于生理信号的检测方法	很差	很好	一般

Eye Lid Closure Time) 是在单位时间内眼睛闭合时间所占的百分率。弗吉尼亚大学的 Walt Wierwille 从 20 世纪 70 年代开始研究眼睛光学变量与疲劳的关系, 研究表明与疲劳有关的主要因素有缺乏睡眠、瞳孔直径、注目凝视、眼球快速转动、眉眼扫视、眨眼睛等, 并且发现 PERCLOS 是最具潜力的疲劳测定方法之一, 由 PERCLOS 得出的数据可以真正反映驾驶疲劳, 是对疲劳进行估价测定的最好方法。

通过摄像头获取司机的实时视频,获得驾驶员的视频图像后,利用图像处理与模式识别技术分析人脸特征图像信息,从图像中找到驾驶员面部所在位置,检测出人眼并分析人眼状态(睁开或闭合),然后统计一定时间内眼睛闭合持续总时间,将其与某固定阈值比较,以确定司机瞌睡与否。

1 人脸和人眼特征的检测

疲劳状态检测要准确地检测和跟踪眼睛的状态。采用先确定人脸区域,然后再在人脸区域内进一步检测、定位人眼的方法,这样可以使得眼睛的检测与定位更加准确和快捷。眼睛的识别检测方法可分为基于统计和基于知识两种类型。基于统计的方法将人脸和人眼图像视为一个多维向量,从而将人脸和人眼检测问题转化为多维空间中分布信号的检测问题;而基于知识的方法则利用人脸和人眼特征知识建立若干规则,从而将人脸检测问题转化为假设和验证问题,例如人脸肤色和几何结构等。基于知识建模的方法一般对建模的假设条件依赖性强,而基于统计的方法精度较高、鲁棒性强,但运算量大。驾驶室光照复杂多变,振动环境也较复杂,选择基于统计的方法能更有效地进行检测。

Paul Viola 和 Michael Jones 于 2001 年提出机器学习领域分类精度较高并且识别速度快的 Adaboost 算法^[5-6], Adaboost 算法是一种高效的迭代算法,在人眼的快速检测方面有着非常重要的应用。它针对同一个训练集训练出不同的弱分类器,然后把把这些弱分类器组成强分类器,进而形成级联分类器。训练方法描述如下:

(1)按公式初始化训练样本误差权重 $w_{1,i} = \frac{1}{N}$, $w_{t,i}$ 为第 t 次循环中第 i 个样本的误差权重;

(2)权重归一化,使得 w_t 为 $w_{t,i} = \frac{w_{t,i}}{\sum_{i=1}^n w_{t,i}}$;

(3)对于每个特征 j ,训练出其弱分类器 h_j ,也就是确定阈值 θ_j 和偏置 p_j ,使其目标函数 $\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n w_{t,i} |h_j(x_i) \neq l_i|$ 达到最小,第 j 个特征的弱分类器由一个阈值 θ_j ,一个特征 f_j 和一个指示不等式方向的偏置 p_j (只有 ± 1 两种情况)构成:

$$h_j(x_j) = \begin{cases} 1, & p_j f_j < p_j \theta_j \\ 0, & \text{其他} \end{cases};$$

(4)弱分类器中,找出一个具有最小错误 ε_t 的弱分类器 h_t ,更新每个样本所对应的权重 $w_{t+1,i} = w_{t,i} \exp(-\alpha_t l_i h_t(x_i))$, $\alpha_t = 0.5 \ln[(1-\varepsilon_t)/\varepsilon_t]$;

(5)形成的强分类器为: $h(x) = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^T \alpha_i h_i(x) \geq 0.5 \sum_{i=1}^T \alpha_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

设计的系统采用麻省理工的 MIT CBCL 人脸库作为训练库,然后利用 Adaboost 算法训练人脸检测分类器。MIT CBCL 数据库中的训练样本集共有 2 429 幅人脸样

本图像和 4 554 幅非人脸图像,包括各种光照条件和人体姿态。利用人眼检测程序进行了大量图片检测,发现人眼检测正确率高,只要能够正确定位人脸,人眼检测都能准确识别。经过分析发现,人眼特征简单、模板小,不像人脸特征多、变化大。人眼的搜索区域为先前定位的人脸区域,搜索区域小;而人脸搜索区域为整幅图像。特征简单、搜索区域小,致使人眼检测正确率高,不会出现误检。

2 检测算法移植

疲劳状态检测算法运行在 PC 机上的检测帧速率约为 3~4 帧,不能满足检测算法的实时性要求。为了提高实时检测速度,将检测算法移植到 DSP 芯片上运行可以有效地提高系统的实时性。DSP 系统具有强大的数据并行处理能力,能提高检测算法的运算速度,从而获得实时检测的效果。DSP 具备普通微处理器所强调的高速运算和控制功能,移植过程中还要针对实时数字信号处理,在处理器结构、指令系统、指令流程上做相应的改动。系统采用 TI 公司的 TMS320DM642 芯片作为嵌入式芯片平台,检测算法的移植在台达公司的 SEED-VPM 开发板上进行。

TMS320DM642 是建立在 C64x DSP 核基础上,采用了德州仪器公司开发的第二代高性能超长指令字结构 Velocity 1.2TM,在每个时钟周期内可执行 2 个 16×16 bit 的乘法或 4 个 8×8 bit 的乘法。TMS320DM642 内包含了 6 个算术逻辑单元,在每个时钟周期内都可执行 2 个 16 bit 或 4 个 8 bit 的加减、比较、移动等运算。在 600 MHz 的时钟频率下,DM642 每秒可以进行 24 亿次 16 bit 的乘累加或 48 亿次 8 bit 的乘累加。这样的运算能力,使得 DM642 可以进行实时的多视频处理和图像处理。TMS320DM642 通过 64 bit 的 EMIF 和 3 个 8/16 bit 宽度的视频口来连接板上的外设(如 SDRAM、Flash、FPGA 和 DART)。TMS320DM642 还在 C64x 的基础上增加了很多外围设备和接口。

疲劳状态检测识别系统是运行在 DSP 芯片上的数字信号处理系统,视频数据的处理流向如下:视频数据从摄像机输入进来,输入的格式为 PAL/NTSC 模拟电视广播信号格式,经过模拟数据经视频解码芯片 SAA7115 解码,可以得到标准 BT.656 并行数据,BT.656 并行数据从 DM642 视频口 1 输入,视频口 1 提取 YCbCr 数据之后,分别存放在内部的缓冲器中,独立于 CPU 的 EDMA 将视频口 buffer 中 YCbCr 数据搬移到大容量外部 SDRAM 存储器中,SDRAM 中存放着连续的 3 帧图像数据,同时 EDMA 将其中一帧图像数据,不停地搬移到 DM642 内部 RAM,在内部 RAM 存放着两行连续视频数据供 CPU 使用,CPU 处理过的数据输回到内部 RAM 中暂时保存,后续数据输出步骤与前面介绍的数据输入步骤正好相反。

DSP 采用多总线的哈佛结构,相同的系统复杂程

度, DSP 比一般的微处理数据处理速度快 2 个数量级。多总线结构使得 DSP 结构复杂, 工作频率较低, 对外部存储器的访问速度只有 133 MHz, 从而造成数据瓶颈, 严重地制约了处理速度, 移植过程中, 要减少片内外的数据传输、提高片内数据的利用率。Adaboost 检测算法要求较大的数据计算量, 将其移植到 DSP 中, 可以通过提高二级高速缓存 Cache 命中率、优化算法等措施来减少片内外的数据传输, 减少程序运算量。

移植完成后, 对算法进行一系列优化, 最终达到 18 S/s 的帧速率, 满足了实时性要求, 如表 2 所示。

表 2 疲劳检测算法 DSP 系统时间消耗

	正积分图计算	斜积分图计算	Adaboost 检测算法
人脸检测部分/s	0.000 563	0.000 951	0.026 5
人眼检测部分/s	0.000 742	0.000 947	0.023 9
检测程序总耗时/s	0.053 2 (18 帧)		

3 检测结果与分析

检测时, TMS320DM642 工作频率为 600 MHz, 视频输入图像大小为 724×576, DSP 将其缩放为 CIF 图像(356×298 像素), 然后进行疲劳驾驶检测, 系统检测速率基本达到 18 帧/s。通过采集多人图像视频进行检测, 分析得到人脸检测率为 90.5%, 人眼检测率 90.3%, 人眼状态分析正确率为 86.7%。算法达到 18 帧/s 的帧速率, 基本满足了系统实时检测的性能要求。但是由于实验设备环境与时间限制, 检测系统还存在缺陷和有待完善的地方。例如由于样本库的原因, 人脸检测算法对倾斜人脸的检测存在先天不足, 可以加入倾斜人脸样本或在检测

阶段采用旋转视频图像方法解决该问题。

参考文献

- [1] VUCKOVIC A, POPOVIC D, RADIVOJEVIC V. Artificial neural network for detecting drowsiness from EEG recordings[C]. Proc. IEEE Seminar on Neural Network Applications in Electrical Engineering, Belgrade, Yugoslavia. Sept. 2002: 155-158.
- [2] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing. Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2002.
- [3] JI Q, ZHU Z, LAN P. Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue[J]. IEEE Trans. Veh. Tech., 2004, 53(4): 1052-1068.
- [4] DONG W, WU X. Driver fatigue detection based on the distance of eyelid[C]. Proc. IEEE VLSI Design and Video Technology, Suzhou, China, pp. 365-368, May 2005.
- [5] VIOLA P, JONES M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features[C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), ISSN: 1063-6919, 2001(1): 511-518.
- [6] VIOLA P, MICHAEL J. Robust real-time face detection[J]. International Journal of Computer Vision. 2004, 57(2): 137-154.

(收稿日期: 2010-04-21)

作者简介:

刘静霞, 女, 1972年生, 讲师, 主要研究方向: 智能信息系统。