

文章编号:1001-9081(2007)02-0349-02

基于模糊融合的驾驶员眼睛状态识别

张 恒,吴晓娟,董文会

(山东大学 信息科学与工程学院,山东 济南 250100)

(zhangheng14110@mail.sdu.edu.cn)

摘 要:提出了一种基于模糊融合的驾驶员眼睛状态识别方法,利用多特征融合来判断眼睛状态,从而克服只利用单一特征识别的不完善、不准确以及不确定性等缺点。实验结果表明利用多特征融合方法的识别率明显高于只利用单一特征的识别率。

关键词:模糊融合;眼睛识别;多特征融合

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Drivers' eyes state recognition based on fuzzy fusion

ZHANG Heng, WU Xiao-juan, DONG Wen-hui

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: This paper proposed a method for drivers' eyes state recognition based on fuzzy fusion by using multi-feature to recognize the states of eyes, which can overcome the disadvantage of using single feature which is half-baked, inexact and uncertain. The test result shows the recognition rate by using multi-feature fusion is much higher than that by using single feature.

Key words: fuzzy fusion; eye recognition; multi-feature fusion

0 引言

驾驶疲劳是引发恶性交通事故的重要因素之一,因此,有效地检测和防止驾驶员疲劳驾驶有着十分重要的现实意义。研究表明眼睛的状态与驾驶疲劳有着高度的相关性,故可用摄像机实时拍摄司机面部,通过计算机视觉或图像处理方法提取司机的眼睛特征来检测驾驶疲劳。所以,提取眼睛状态的准确性直接影响到最终的结果。

现有多种方法可以识别眼睛状态,但是都是使用单一特征识别^[1,2],由于其有着不完善性、不准确性以及不确定性等缺点,因而识别率不高。在研究了驾驶员眼睛的状态特点之后,我们提出了一种基于模糊融合的方法,通过融合上眼睑曲率和上下眼睑距离共同判断眼睛状态。实验表明,使用多特征融合可以克服使用单一特征识别的缺点并且识别率有明显的提高。

前期的工作^[3]主要介绍了眼睛的检测、跟踪和上下眼睑距离的计算,这里我们将进一步计算上眼睑的曲率以及进行模糊融合。

1 上眼睑曲率的计算

在获得驾驶员的眼睛图像(图1(a))之后,便可以计算上眼睑曲率。由于上眼睑是眼睛区域边缘的一部分,并且灰度值的差异比较大,我们使用 sobel 算子来提取眼睛边缘(图1(b))。从图1(b)中可以看出上眼睑基本上位于边缘图的最上部,故可按列扫描图像,取出每列的最上面的点,即为上眼睑(图1(c))。由于噪声干扰,在边缘图像中可能存在一些孤立点对提取造成影响,在检测出某一列取出的点的行数与其前一点相差过大时,将该点的行数取其前一点的值。若这种

点较多,则丢掉该幅图像。

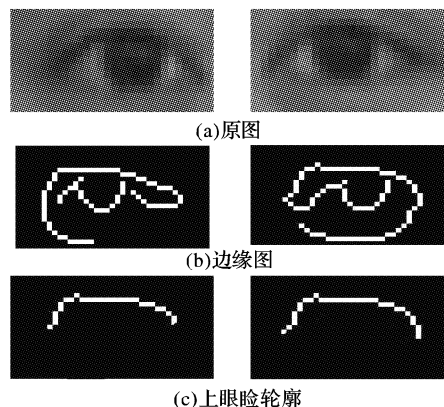


图1 上眼睑的提取

在研究大量眼睛睁闭过程之后,发现眼睑的中间部分能比较准确地反映眼睛的状态而眼睑两端容易突变,故我们只取中间部分来计算眼睑曲率。

1.1 中点的计算

依次扫描眼睑上各点,计算其上任一点沿眼睑到两端的长度之差,其中的最小者为眼睑的中点。

1.2 边界点的计算

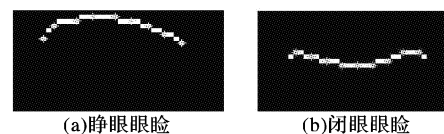


图2 眼睑边界

以中点为边界点,分别计算左半部分和右半部分的中点,同样再以该中点为边界分别计算左右各部分的中点,依次进

收稿日期:2006-08-14;修订日期:2006-10-12 基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Y2002G04)

作者简介:张恒(1983-),男,山东泰安人,硕士研究生,主要研究方向:信息与信号处理; 吴晓娟(1944-),女,湖南安化人,博士生导师,主要研究方向:模式识别、图像处理; 董文会(1981-),女,山东枣庄人,硕士研究生,主要研究方向:信息与信号处理。

行下去就得到了各个边界点(如图2用圆点标出了其各边界)。

1.3 曲率的计算

可利用如下公式计算曲率:

$$\bar{k} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta s} \quad (1)$$

其中 $\Delta\varphi$ 表示曲线段切线变化的角度, Δs 为弧长。

为了减少计算量,可用近似公式代替公式(1)来计算曲率。利用图3中曲率来近似眼睛睁开和闭合,当点A、B、C等间隔选取时,使用如下公式计算曲率:

$$\bar{K} = \frac{BD}{AC} \quad (2)$$

睁眼和闭眼时眼睑弯曲方向不同,是判断睁闭的一个重要特征。用B和AC的相对位置来描述其方向,睁眼时B在AC的上方,闭眼时B在AC的下方。故可定义当B在AC的上方时曲率为正,反之曲率为负。

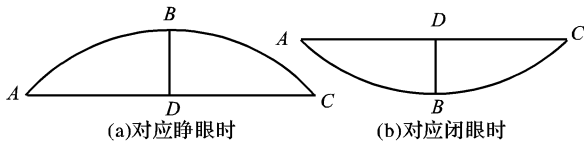


图3 近似曲线

2 模糊融合

2.1 基于归纳推理的隶属度函数确定

确定隶属度函数是关键的一步。本文选用归纳推理法来确定隶属度函数,用于训练的是在视频图像中获取的200幅连续图片,人工将其分为3类,睁眼集、半睁闭集、闭眼集。由于三角隶属度函数能满足一般要求,且计算简单,故我们的隶属度函数是三角形的。

基于归纳推理的隶属度函数确定方法是用熵最小值法确定一个阈值线,然后开始分割过程,首先分成两类,通过将第一次分成的两类再次分割,可以得到三个各不相同的类。这样,用计算的阈值重复分区可将该数据集分成若干类或模糊集。其具体过程如下:

设数据的范围为 $[x_1, x_2]$, x 为此区间内的任一点。

1) 计算 $[x_1, x_i + x]$ 和 $[x_i + x, x_2]$ 上 k 类样本的条件概率:

$$p_k(x) = \frac{n_k(x) + 1}{n(x) + 1} \quad (3)$$

$$q_k(x) = \frac{N_k(x) + 1}{N(x) + 1} \quad (4)$$

式中 $n_k(x)$ 为位于 $[x_1, x_i + x]$ 中 k 类样本的数目, $n(x)$ 位于 $[x_1, x_i + x]$ 中的样本的总数, $N_k(x)$ 为位于 $[x_i + x, x_2]$ 中的 k 类样本的数目, $N(x)$ 为位于 $[x_i + x, x_2]$ 中的样本的数目。

2) 计算 $[x_1, x_i + x]$ 和 $[x_i + x, x_2]$ 上所有样本的概率:

$$p(x) = \frac{n(x)}{n} \quad (5)$$

$$q(x) = 1 - p(x) \quad (6)$$

其中 n 为位于 $[x_1, x_2]$ 中的样本总数。

3) 求出 x 在 $[x_1, x]$ 和 $[x, x_2]$ 上的总熵:

$$s(x) = p(x)s_p(x) + q(x)s_q(x) \quad (7)$$

其中:

$$s_p = -[p_1(x)\ln p_1(x) + p_2(x)\ln p_2(x)]$$

$$s_q = -[q_1(x)\ln q_1(x) + q_2(x)\ln q_2(x)] \quad (8)$$

4) 计算 x 每个位置的熵,具备最小熵值的 x 为初级阈值,记为 x^* ,将 $[x_1, x_2]$ 一分为二。

5) 在 $[x_1, x^*]$ 和 $[x^*, x_2]$ 区间重复1)~4)确定二级阈值。依次得到各级阈值。

这样,可以得到上眼睑曲率和上下眼睑距离的隶数函数图(图4)。

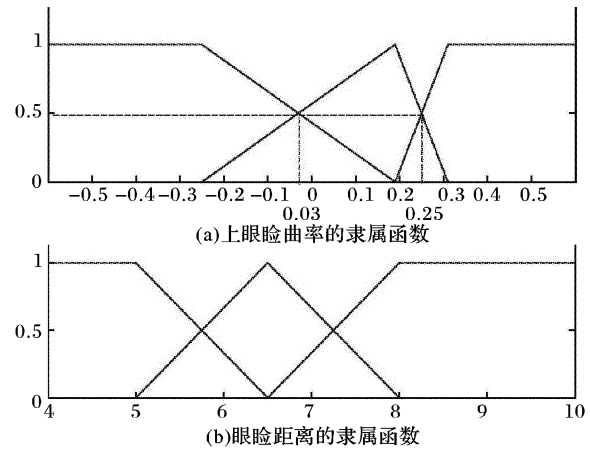


图4 隶属函数的确定

2.2 基于模糊的信息融合

本文采取决策级融合,先利用各特征(眼睑曲率,眼睑距离)的隶属函数对眼睛的状态做出初步判断,然后进行融合得出最终判断。过程如图5所示。

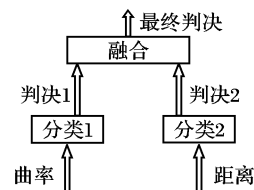


图5 信息融合

在融合过程中我们设计了一般均值操作子,其定义为:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n; p, w_1, w_2, \dots, w_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i x_i^p \right)^{1/p} \quad (9)$$

其中 p 为模糊子, p 越大结果越模糊, x_i 为子判决, w_i 为每一个子判决的权重,表明对结果的影响且满足如下公式:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (10)$$

该融合算子有以下性质:

1) $\min(a, b) \leq \text{mean}(a, b) \leq \max(a, b)$

2) 当 p 在 $(-\infty, \infty)$ 变化时,可取到 $[\min, \max]$ 之间的任意数。

我们认为眼睑曲率和上下眼睑距离作为特征判断眼睛状态效果等同,故取 $w_1 = w_2 = 1/2$, p 的取值直接影响模糊融合结果,在大量的实验后我们确定其值为3。

2.3 解模糊过程

表1 判决规则

	睁	半睁	闭
睁	睁	半睁	拒识
半睁	半睁	半睁	闭
闭	拒识	闭	闭

在得到了融合判决结果后需清晰化,我们选用变种的 α

(下转第354页)

CBMRP 后网络总体能耗比采用单跳方式也要少。因此采用 CBMRP, 不仅能够均衡节点能耗, 还能够减少网络的总体能耗, 延长网络的生命周期。

3.2 网络规模的可扩展性与网络健壮性

采用与基站直接通信的基于聚簇的路由协议在网络规模扩展上具有很大的局限性。当网络规模扩大后, 由于部分簇首节点的最大射频无法覆盖基站, 导致簇首无法与基站进行直接通信, 使得这些簇成为“死亡簇”。但采用 CBMRP, 如果这些簇首存在候选网关, 就可以通过网关将数据逐步导出直至基站, 即使不存在网关进行转发, 还可以通过局部扩散的方法将数据采用多跳方式传送到基站。因此, 采用 CBMRP 后网络具有良好的可扩展性。

在簇间路由组织阶段, 各簇首节点建立的路由表中具有多条候选路径, 当其中某一路径失效时, 不必立即重新分簇或者考虑直接将数据传送到基站, 可以从其他路径中选择一条相对优化的路径。当某一网关剩余能量小于一预设门限值时, 立即发送一个简短的信号给所属簇域簇首, 通知簇首将路由表中与该网关相关的表项删除, 从而避开该网关节点。另外, 还可以引入节点的负载作为参数, 当某网关承载大量簇首节点数据的转发时, 可以通知该网关所属簇域的其他簇首节点暂时避开该网关选择其他网关节点进行转发。CBMRP 协议采用的上述策略在一定程度上提高了网络的健壮性。

4 结语

CBMRP 支持簇内以及簇间数据的融合, 有效地消除了数据的冗余, 减少了数据的传输量, 通过引入与簇首和基站之间距离相关联的簇标识 CLID, 使得簇首节点可以建立起临时路由表, 不仅避免了路由环路产生还可以使数据转发路径的选择具有一定启发性。在数据具体传输过程中, 可综合考虑邻接簇首与基站的距离以及所经网关节点的剩余能量, 选择一条优化路径将融合后的数据以多跳方式传送到基站。该协议有效均衡和降低了节点的能耗, 提高了网络的健壮性, 能

整体上延长网络生命周期, 且适用于大规模无线传感器网络的应用。

参考文献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282 - 1291.
- [2] 范新运, 王福豹, 任丰原. 无线传感器网络的路由协议[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(9): 1010 - 1013.
- [3] WENDI B. HEINZELMAN. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks[J]. IEEE Transactions On Wireless Communications, 2002, 1(4): 660 - 670.
- [4] MANJESHWAR A, AGRAWAL DP. TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks. In Proceedings of 15th Parallel and Distributed Processing Symposium[J]. IEEE Computer Society. 2001: 2009 - 2015.
- [5] RAICU I, SCHWIEBERT L. E3D: An energy-efficient routing algorithm for wireless sensor networks[R]. Melbourne: IEEE ISSNIP, 2004.
- [6] HEINZELMAN W, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless micro-sensor networks[A]. Proceedings of the 33th Hawaii International Conference on System Science[C]. 2000.
- [7] YOUNIS O, FAHMY S. HEED: a hybrid energy-efficient distributed clustering approach for ad hoc sensor networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 660 - 669.
- [8] YOUNIS M, YOUSSEF M, ARISHA K. Energy-aware routing in cluster-based sensor networks[A]. Proceedings of the 10th IEEE/ACM Int'l Symp. On Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems[C]. 2002: 129 - 136.
- [9] GANERIWAL S, KUMAR R, SRIVASTAVA MB. Timing-sync protocol for sensor networks [A]. Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems[C]. Los Angeles, 2003. 138 - 149.
- [10] 滑楠, 史浩山, 吴健, 等. 无线传感器网络簇间路由算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(30): 125 - 129.

(上接第 350 页)

分割法。在传统的 α 分割法中 α 值是固定的, 一般取 0.5。而本文中 α 值是不固定的, 取每次得到的隶属度值的最大值。当最大隶属度值不唯一时, 采用表 1 中的规则作判断。

3 实验结果

对只使用上眼睑曲率、上下眼睑距离的单一特征识别方法以及我们提出的模糊融合方法的结果进行了对比, 如表 2 所示。从表 2 中可以看出当只使用上眼睑曲率、上下眼睑距离的单一特征时正确率分别只有 84% 和 83.94%, 但是如果使用模糊融合方法正确率能达到 92.1%, 明显高于其他两种方法。

表 2 三种方法结果对比

	总数	判断 正确数	错误 判断数	拒识	正确率 %	错误率 %	拒识率 %
距离	713	599	100	14	84	16	2
曲率	713	598	115	0	83.94	16.06	0
融合	713	657	40	16	92.10	5.61	2.38

4 结语

本文提出了一种基于模糊融合的眼睛状态识别方法, 融

合了上眼睑曲率和上下眼睑距离来共同判别眼睛的状态。实验结果表明, 使用多特征融合方法可以克服使用单一特征的缺点, 并且正确率有了明显的提高。

参考文献:

- [1] HORING W-B, CHEN C-Y, YANG Y, *et al.* Driver Fatigue Detection Based on Eye Tracking and Dynamic Template Matching[A]. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference Networking [C]. Sensing & Control Taipei, Taiwan, March 21 - 23, 2004. 7 - 12.
- [2] SINGH S, PAPANIKOLOPOULOS N. Monitoring Driver Fatigue Using Facial Analysis Techniques[A]. Proceeding of the International Conference on Intelligent Transportation Systems[C]. Tokyo, Japan, October 1999. 314 - 318.
- [3] DONG WH, WU XJ. Driver Fatigue Detection Based on the Distance of Eyelid[A]. IEEE Int. Workshop VLSI Design & Video Tech[A]. Suzhou, China, May 2005. 28 - 30.
- [4] ZHANG YM, JI Q. Active and Dynamic Information Fusion for Facial Expression Understanding from Image Sequences [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(5): 643 - 650, 365 - 368.