

# 一种基于 Gabor 小波的驾驶员眼部状态识别方法的研究

王荣本 郭克友 储江伟

(吉林大学交通学院, 长春 130025)

**摘 要** 近年来,由于驾驶员疲劳驾驶导致的交通事故逐年递增,所以有必要规范驾驶员的行为。由于驾驶员的疲劳状态可由眼睛状态表达出来,为了对眼睛状态进行有效监测,介绍了一种在车辆上安装 CCD 监测驾驶员行为的新方法,并介绍了一种采用计算机视觉对驾驶员的眼睛状态进行识别的技术方法。该方法是根据驾驶员在正常驾驶、瞌睡驾驶及疲劳驾驶 3 种状态下的眼睛张开程度有一定的区别的这一特点,提出的一种利用 Gabor 小波提取眼角处的纹理走向特征值,并将由所有特征值组成的特征矢量作为三层神经网络的输入,以输出对应 3 种不同精神状态的眼部状态的识别方法。试验结果表明,该网络可快速有效地识别出驾驶员眼部状态。

**关键词** 模式识别(520·2040) 行为监测 Gabor 小波 BP 神经网络 图象处理

**中图法分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)09-1043-05

## Study on Method of Recognizing Driver's Eye State Base on Gabor Wavelet in Driver Behavior Surveillance

WANG, Rong-ben, GUO Ke-you, CHU Jiang-wei

(Transportation College of Jilin University, Changchun 130025)

**Abstract** This paper describes a new method of the driver behavior surveillance by using a camera mounted on the test car. Recently, one of the important issues to heavy traffic accident in the world is that many drivers steer tiredly or are absent-minded when steering car. This situation usually decreases the attention of drivers. Hence, traffic accident occurs. Thus it is very important to surveille the drivers' behavior, especially the eyes' state recognition to drivers. As a matter of fact, investigation statistics indicates the degree of the drivers eyes' opening is different to some extent on the various occasions of the driver normal driving, the drowsing driving and the fatigued driving. So when the car runs, we obtain two-dimensional image through a on-board camera, from which we can get the eyes' state data. Based on this point, we have developed an effective algorithm to count the frequency of blinking. This algorithm uses Gabor wavelet to pick up the texture character of the canthus. And the eigenvector that composed of eigenvalue is the input of the ANN. We also have performed outdoor experiments to make sure that our algorithm works effective.

**Keywords** Driver behavior surveillance, Gabor wavelet, BP neural network, Image processing

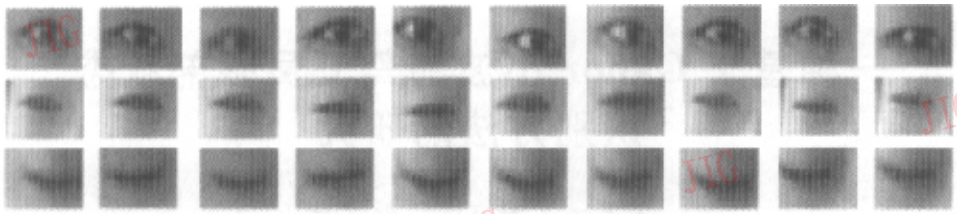
## 0 引言

据英国汽车协会的统计,英国因车祸死亡的人数中,有十分之一是因为司机疲劳驾驶引起的事故造成的。同时有资料表明,高速公路上发生的交通事故

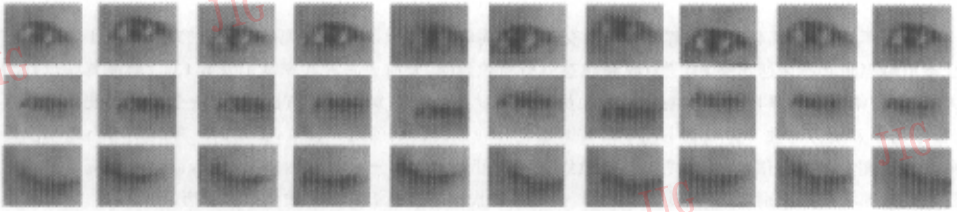
故中有 50% 以上也是由于长时间驾驶造成疲劳或由所见目标单调而形成注意力不集中、甚至打瞌睡等原因造成的。而在出现这些现象的过程中,眼睛部位的形状将同时发生明显的变化(如图 1 所示)。大家知道,眼睛作为一个重要的信息传递功能组织,它不仅把外界的各种信息反映给大脑,同时也把人的

基金项目:教育部科学技术研究重点项目(00037)

收稿日期:2002-10-10; 改回日期:2003-03-18



(a) 左眼的3种状态



(b) 右眼的3种状态

图1 驾驶员眼睛的3种常见状态(上、中、下分别为精神饱满、精神萎靡、睡眠3种状态)

内在精神状态形象地表达出来。如精神饱满时,眼睛会睁得很开;精神萎靡时,眼睛会睁得很小;睡眠时,眼睛会完全合上,而且眼睛区域在以上3种情况下的外形有明显区别。

随着计算机图象处理技术的飞速发展,利用图象处理技术来监控驾驶员的行为已经成为可能。因此利用摄像机持续不断地观察司机的眼睛、耳朵、鼻子和下颌的方位,然后根据图象处理的结果来判断驾驶员是否疲劳驾驶,很明显具有重要的研究价值。为了能够根据监测图象对眼睛进行正确疲劳判别,首先必须解决驾驶员眼睛状态的判别问题。

## 1 Gabor 小波

如今 Gabor 小波已广泛地应用于计算机视觉、纹理分析和目标识别等领域。一维 Gabor 滤波器理论最早见于文献[1]。Daugman 在 1985 年提出了二维 Gabor 滤波器理论[2],并指出二维 Gabor 滤波器可以同时为空域、频域和方向上获得最佳的分辨率;同时还指出二维 Gabor 滤波器可以很好地模拟哺乳动物的视觉神经简单细胞感受的视野轮廓。Daugman 还认为:尽管 Gabor 滤波器的基函数不能构成一个完备的正交集,但 Gabor 滤波器仍可以看作是一种小波滤波器[3]。

由于纹理表现出准周期性的统计特征,且纹理有一个主要频率和其他一些次要频率分量,其频带

宽度一般较窄,同时由于 Gabor 小波是一组窄带通滤波器,其在空间域和频率域均有较好的分辨能力[4],并有明显的方向选择和频率选择特性,因此适合于分析、处理纹理图象。二维 Gabor 函数的脉冲响应表达式如下:

$$P_k(x) = \frac{k^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{k^2}{2\sigma^2} x^2\right) \left\{ \exp(ikX) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \right\} \quad (1)$$

式中,  $k$  为特征小波向量;  $\sigma$  为尺度因子;  $i$  为复数单位。

由式(1)可以看出,二维 Gabor 函数是一个复函数。展开式(1)可得到它的实部函数和虚部函数

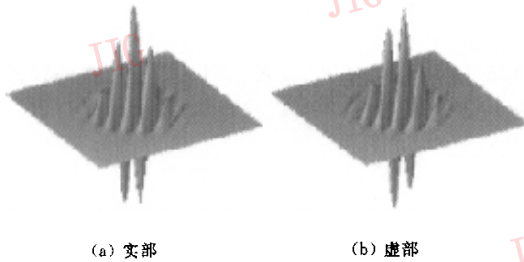
$$G_{\text{real}} = \frac{K_v^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{K_v^2}{2\sigma^2} x^2\right) \times \left\{ \cos[K_v(x\cos\varphi_v + y\sin\varphi_v)] - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right) \right\} \quad (2)$$

$$G_{\text{imag}} = \frac{K_v^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{K_v^2}{2\sigma^2} x^2\right) \sin[K_v(x\cos\varphi_v + y\sin\varphi_v)] \quad (3)$$

式中,  $\sigma$  为尺度因子;  $K_v$  为调制频率;  $\varphi_v$  为旋转角度。  $u=0,1,\dots,4; v=0,1,\dots,7$ 。

从外形上看, Gabor 小波被封装在一个 Gaussian 分布的形状中,而且它的积分为零。若将 Gabor 滤波器用三维图象显示出来,则如图 2 所示。图 2(a)是实部偶函数外形,图 2(b)是虚部奇函数外形。

实际应用中,应选择适当的  $\sigma$ 、 $K_v$  和  $\varphi_v$  来使 Gabor 小波滤波器对不同纹理区域的主要频率分量有较大的响应,以便获得所需的纹理特征值。经过实验,选择采用如下参数来获取所需的滤波器:



(a) 实部 (b) 虚部

图 2 Gabor 滤波器三维显示

$$\sigma = \pi; K_v = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{8}; \varphi_0 = 0, \frac{\pi}{6}, \frac{2\pi}{6}, \frac{3\pi}{6}, \dots, \frac{5\pi}{6} \quad (4)$$

这样就获得了 18 个不同的 Gabor 滤波器,且每一个滤波器都具有各自的频率选择和方向选择特性.实际应用中,可只采用式(1)的虚数部分,即用奇对称 Gabor 滤波器来对输入图象进行如下 Gabor 变换

$$C(i, j) = \|I(i, j) * G(k, l)\| \quad (5)$$

即将获取的 Gabor 滤波器与输入图象进行卷积.

当滤波器参数取  $\sigma = \pi; K_v = \pi/4, \varphi_0 = \pi/2$  时,图 1 驾驶员眼部图象的处理结果如图 3 所示.在这里仅列出部分图象的处理结果.

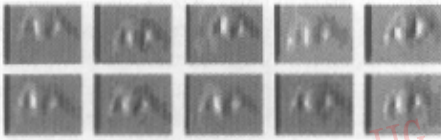


图 3 滤波结果显示(部分)

## 2 图象特征值的获取

仔细分析图 1 中的图形可以看出,眼睛区域的 3 种形状区别明显,如果找出能够表征眼睛区域形状的特征值,并输入到神经网络分类器,则利用神经网络分类的优势就可以识别出驾驶员 3 种不同的精神状态.

由于驾驶员眼部的外形信息可以由两个眼角处的眼角纹理走向来描述,因此可选择眼睛内、外眼角和内、外眼角的中心点 3 个点处的 Gabor 小波特征值作为输入矢量.对于每一个点,多尺度、多方向的 Gabor 小波滤波器将被计算出来.这样,每个点有 18 个特征值,3 个点共有 54 个特征值组成的输入矢量输入到神经网络用于识别.实际应用中发现,54 个特征值中,有 18 个特征值对整个输入矢量影响权重非

常微小,为精简网络结构,故将这 18 个特征值省去.

## 3 神经网络分类器

### 3.1 基于 BP 网络的神经网络分类器

BP 网络是一种较成熟网络,在图象处理和模式识别中应用较多.虽然其存在着训练长、易陷于局部最小等缺点,但在实际使用中可以通过优化其网络结构、离线训练等措施提高其使用性能.

### 3.2 BP 网络的结构

论文使用的 BP 神经网络为 3 层结构,输入层有 36 个神经元,隐层有 12 个神经元,输出层有 3 个神经元.隐层均采用 Sigmoid 函数作为传递函数,网络结构如图 4 所示.

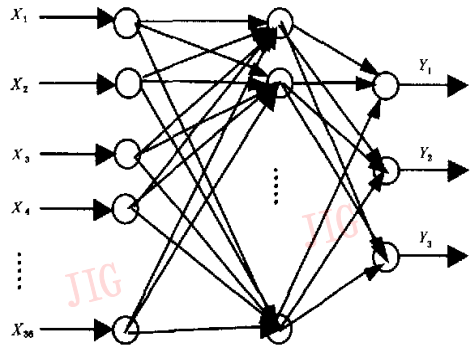


图 4 BP 神经网络结构

### 3.3 BP 网络的学习算法

采用改进的 BP 算法对网络进行训练设,训练样本集  $(p_1, p_2, \dots, p_n; t_{p,k})$  中样本  $p$  的误差函数为

$$e_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (t_{p,k} - y_{p,k})^2 \quad (6)$$

式中,  $t_{p,k}$  为网络期望输出值,  $y_{p,k}$  为网络实际输出值.

设向量  $W_{i,j}$  表示隐层  $i$  神经元与输入层  $j$  神经元的连接权值,  $\theta_i$  表示隐层  $i$  神经元的阈值,  $W_{k,i}$  表示输出层  $k$  神经元与隐层  $i$  神经元的连接权值;沿着误差函数  $e_p$  随  $W$  变化的负梯度方向对  $W$  进行修正,设  $W$  的修正值为  $\Delta W$ , 则  $\Delta W$  如下:

$$\Delta W^{(n)} = -\eta \frac{\partial e_p}{\partial W} + \alpha \Delta W^{(n-1)} \quad (7)$$

式中,  $\Delta W^{(n)}$  为第  $n$  次迭代计算时,  $W$  的修正值,  $\Delta W^{(n-1)}$  为第  $n-1$  次迭代计算时  $W$  的修正值,  $\alpha$  为动量因子,取 0.92;  $\eta$  为学习率,取 0.3,按下式对  $W$  进行修正:

$$W = W + \Delta W \quad (8)$$

### 3.4 左、右眼分别训练网络

由于左、右眼的情况并不统一,所以分左眼、右眼两种情况单独训练网络.训练眼本为:左眼 73 个,

右眼 73 个.经过训练,得到针对左、右眼神经网络隐层的权值矩阵  $W_1$  和阈值向量  $B_1$ ,输出层的权值矩阵  $W_2$  和阈值向量  $B_2$ ,这里仅列出如下右眼的权值矩阵、阈值向量

右眼

$W_1 =$	0.0391	0.0165	0.0073	0.0170	0.0092	0.0051	0.2951	-0.0391	-0.0106	0.0045	-0.0028	0.0212
	-0.0199	0.0156	0.0034	-0.0016	-0.0098	0.0017	0.0648	0.0627	-0.0000	0.0112	-0.0129	0.0608
	0.0138	-0.0013	0.0037	0.0058	0.0013	0.0053	-0.1101	-0.0278	-0.0237	-0.0131	0.0224	0.0267
	0.0040	0.0022	0.0011	0.0100	0.0040	-0.0018	0.1969	-0.0347	0.0303	-0.0091	-0.0312	-0.0147
	0.0431	0.0207	-0.0005	0.0007	-0.0104	-0.0048	0.0465	0.0488	0.0040	0.0132	0.0156	0.0365
	0.0243	0.0137	0.0010	0.0027	0.0081	-0.0093	-0.0542	0.0341	-0.0040	0.0114	0.0318	-0.0315
	-0.0022	-0.0055	-0.0130	-0.0062	-0.0125	-0.0096	0.1912	-0.0529	-0.0001	0.0047	0.0295	-0.0098
	-0.0419	0.0121	0.0048	0.0033	0.0054	-0.0037	0.1050	-0.0603	-0.0096	0.0029	0.0177	0.0533
	0.0261	-0.0235	-0.0117	-0.0071	-0.0077	-0.0007	0.2919	0.0551	-0.0054	0.0162	-0.0046	0.0270
	0.0030	0.0046	0.0181	0.0136	0.0122	-0.0007	0.3981	-0.0368	-0.0127	-0.0185	-0.0000	-0.0362
	0.0109	0.0067	-0.0070	-0.0035	-0.0011	0.0035	0.0217	-0.0290	0.0039	0.0046	-0.0197	0.0466
	0.0282	-0.0059	0.0107	-0.0005	0.0025	-0.0029	0.3235	0.0209	0.0184	-0.0161	0.0073	0.0174
	0.0011	0.0090	0.0084	-0.0068	-0.0173	-0.0053	0.0322	-0.0242	-0.0191	-0.0114	-0.0573	-0.0125
	-0.0017	-0.0166	-0.0224	-0.0253	-0.0322	-0.0097	0.0134	-0.0247	-0.0496	0.0365	0.0039	-0.0120
	0.0038	-0.0123	-0.0236	-0.0151	-0.0103	-0.0152	0.0251	-0.0070	0.0161	0.0391	0.0894	0.0064
	0.0034	0.0033	-0.0022	0.0047	-0.0163	-0.0096	-0.0374	0.0257	0.0159	0.0684	-0.0399	0.0073
	0.0100	0.0037	-0.0126	-0.0184	0.0054	-0.0124	-0.0228	0.0004	0.0509	0.0509	0.0321	0.0174
	0.0024	-0.0021	0.0054	0.0012	-0.0087	0.0086	0.0237	0.0264	0.0067	-0.0206	-0.0243	0.0023
	-0.0138	-0.0206	-0.0117	0.0124	-0.0034	0.0190	-0.0080	-0.0050	-0.0113	0.0206	0.0304	0.0319
	-0.0020	-0.0055	-0.0054	-0.0180	0.0069	-0.0103	0.0265	0.0037	-0.0296	0.0318	0.0414	-0.0028
	-0.0268	-0.0147	-0.0034	0.0060	0.0003	0.0079	0.0132	-0.0076	0.0120	-0.0506	-0.0247	-0.0308
	0.0212	0.0069	0.0063	0.0074	-0.0144	-0.0148	0.0154	-0.0044	0.0229	0.0594	-0.0244	0.0172
	-0.0246	-0.0155	-0.0062	-0.0078	-0.0029	0.0096	-0.0152	0.0292	-0.0152	0.0114	0.0397	0.0557
	0.0129	0.0103	0.0030	-0.0015	-0.0083	-0.0131	-0.0188	-0.0306	-0.0449	0.0203	0.0656	0.0266
	0.0059	-0.0091	-0.0023	-0.0205	0.0129	-0.0112	0.0394	0.0435	0.0207	-0.1422	-0.1438	0.0406
	-0.0005	-0.0005	-0.0168	-0.0065	0.0350	0.0007	0.0137	0.0400	-0.1027	-0.0893	0.0503	-0.0488
	0.0060	0.0007	0.0162	0.0241	0.0123	-0.0052	0.0265	-0.0054	-0.0391	-0.1662	0.0614	-0.0165
	0.0055	-0.0047	0.0127	-0.0267	0.0300	0.0087	-0.0588	0.0141	0.0280	-0.0868	-0.0668	0.0061
	0.0009	-0.0097	0.0112	0.0345	0.0270	-0.0066	-0.0118	0.0639	-0.0743	-0.1979	-0.0752	0.0262
	-0.0023	0.0016	-0.0251	-0.0697	-0.0486	-0.0112	-0.0160	0.0177	0.0275	-0.1068	0.0653	0.0093
	0.0104	0.0178	0.0377	0.0096	-0.0043	0.0007	-0.0460	-0.0303	-0.0577	0.0075	0.0940	-0.0076
	0.0122	0.0140	-0.0021	-0.0048	0.0061	-0.0162	0.0420	-0.0172	0.0197	0.1909	0.1393	-0.0082
	-0.0124	-0.0045	0.0090	-0.0071	0.0091	0.0251	0.0462	-0.0464	-0.0000	-0.1928	-0.0064	-0.0557
	0.0187	0.0055	-0.0139	-0.0062	-0.0515	-0.0019	-0.0052	0.0007	-0.0082	-0.3398	0.1144	0.0110
	0.0021	-0.0121	0.0128	-0.0016	-0.0484	0.0064	0.0620	-0.0159	0.0082	-0.0575	-0.0155	-0.0161
	0.0090	0.0072	-0.0067	-0.0130	-0.0002	-0.0074	-0.0406	0.0002	0.0923	-0.0248	0.0850	-0.0289

右眼

$W_2 =$	0.4286	0.6594	-0.8995	-0.4277	-0.7414	0.6982	-0.8401	-0.3591	-0.2578	-0.8977	0.0445	-0.2474
	-0.5429	0.9347	0.5090	-0.4971	0.8808	-0.5806	0.7012	-0.2511	-0.8511	0.1350	-0.7640	0.6471
	-0.0988	0.2910	0.7905	0.8658	0.4013	-0.0869	0.1224	0.7370	-0.6014	-0.7526	0.5396	-0.9031

右眼

$B_1 =$	-0.0972	-0.0018	1.7922	-0.0261	-0.4388	-1.0657	0.2283	1.5040	-1.3180	-0.9735	-0.6715	-0.2627
---------	---------	---------	--------	---------	---------	---------	--------	--------	---------	---------	---------	---------

## 右眼

$$B_2 = (0.1983 \quad 0.8968 \quad -0.4211)$$

## 3.5 试验结果

为了验证本文方法的效果,采用上述方法对3种眼部状态各124幅图象进行了仿真试验.其中,正常状态下有112幅图象能正确识别,识别率为90.3%;迷糊状态下,有101幅图象能正确识别,识别率为81.5%;闭眼状态下有109幅图象正确识别,识别率为87.9%.试验表明,3种状态中,由于迷糊状态的界定标准无法统一,所以识别率较低,这可通过增加训练样本的数量及种类来加以改进;而睁眼、闭眼两种状态界定明显,眼角纹理走向区别较大,识别率相对较高.在实际应用中,由于只需测出驾驶员的眨眼频率,且仅仅对睁眼、闭眼两种状态进行识别,所以,该方法完全可以用于实际检测.

## 4 结论

目前,由于驾驶员疲劳驾驶导致的交通事故逐年递增,因此对驾驶员的驾驶状态进行监控十分必要.若有一种方法,当驾驶员打瞌睡、视线不注视前方、与别人聊天时能给出警告,则能较好地解决这一问题,据研究,利用摄像机及计算机可望解决这一问题,为此给出了一种基于Gabor小波的眼部状态识别算法,实验证明,该算法具有实时性好、准确率高等特点,可为下一步对驾驶员驾驶状态进行实时监控创造必要的前提条件.

## 参 考 文 献

1 Gabor D. Theory of communication[J]. Journal of the IEEE, 1946, 9(3):429~457.

- 2 Daugman J G. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filter[J]. Journal Optical Society America, 1985, 2(7):1160~1169.
- 3 Daugman J G. Complete discrete 2-D Gabor transforms by neural networks for image analysis and compression[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech, and Signal Processing, 1988, 16(7):1169~1179.
- 4 Teuner A, Pichler O, Hosticka B J. Unsupervised texture segmentation of images using Gabor filters [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(6):863~870.



王荣本 1946年生,吉林大学交通学院教授、博士生导师.主要从事汽车自主导航、车辆安全与辅助驾驶、物流自动引导车(AGV)方面的研究.



郭克友 1975年生,2000年毕业于吉林大学交通学院,现为吉林大学交通学院博士研究生.主要研究方向为安全车辆驾驶.



蒋江伟 1962年生,吉林大学教授.目前的主要研究领域为智能车辆、模式识别、机器视觉技术应用等.发表相关研究论文10余篇.