

# 精神疲劳识别的可拓模型与策略生成

陈云华 陈平华

(广东工业大学计算机学院 广州 510006)

**摘要** 精神疲劳识别中普遍存在着方法的侵扰性、实时性与识别准确率之间相矛盾的问题。为此,引入可拓理论和方法来建立问题的可拓模型,针对矛盾主体建立关联函数和策略优度函数。结合领域知识,通过拓展分析、可拓变换对矛盾进行转化,生成多种同时满足非侵扰性、实时性和识别准确率特征和识别策略,并对策略优度进行计算和分析。实验研究验证了本方法的有效性。本研究为计算机模拟人类思维进行算法研究和创新奠定了基础。

**关键词** 精神疲劳识别,面部特征,矛盾问题可拓模型,可拓策略生成,可拓方法

**中图法分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.5.061

## Extension Model and Strategies Generating Mechanism for Mental Fatigue Recognition

CHEN Yun-hua CHEN Ping-hua

(School of Computer Science and Technology, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

**Abstract** There are contradictions between the non-intrusive, real-time requirements and recognition rate in facial feature-based mental fatigue recognition algorithms which hinder the practical application of the algorithms. To solve these problems, extension theories and methods were introduced to build an extension model of the contradiction problem. A dependent function used to measure contradictions degree of the problem and a function for strategies evaluation were proposed. Extension analysis and extension transformation were used to generate solving strategies for mental fatigue recognition. Research results show that, based on models and strategies raised in this paper, we can develop a variety of feature extraction and mental fatigue recognition algorithms that both meet the non-intrusive, real-time requirements and recognition rate. At the same time, the value of the strategy can be quantified and compared. Results of this study can improve the intelligence of mental fatigue recognition method, and provides a good example to solve the widespread conflicts between computational complexity and accuracy existing in pattern recognition algorithms.

**Keywords** Mental fatigue recognition, Facial features, Extension model for contradiction problems, Extension strategies generating, Extension methods

精神疲劳,又称脑力疲劳(mental fatigue),是指一种缺乏动机与警觉的主观感觉<sup>[1]</sup>,主要表现为头脑昏沉、注意力不易集中、思考困难、健忘、工作效率低下、易出差错等。随着脑力劳动在人类生产生活中所占的比重越来越大,精神疲劳所产生的负面影响几乎涉及到社会经济、军事、日常生活的各个方面,对精神疲劳进行识别和预测,能产生巨大的社会效益和经济价值<sup>[2,3]</sup>。

基于面部特征的精神疲劳识别利用现有的计算机视觉技术实时获取被测者的面部视频,通过对眼睛、嘴巴等关键部位的定位、特征提取、行为分析等,来对精神疲劳状态进行识别。这类方法相较于问卷调查、生化指标等方法具有客观性和非侵入性,因而成为研究的热点<sup>[4-6]</sup>。其中,融合包括眨眼、哈欠、打瞌睡等行为特征和工作生活压力等背景信息的人体精神疲劳识别被认为是准确性最高的方法<sup>[4]</sup>。例如, Ji Q 等提出的以面部动态特征融合被测者背景信息的动态贝叶斯网络

模型<sup>[4]</sup>的识别准确率达到 95.3%,但其却存在模型复杂、计算复杂度高,以及需要侵扰式地获取被测者的工作生活背景信息等问题。另一方面,计算复杂度低的算法往往准确率有限,如最早提出的基于 PERCLOS<sup>[5]</sup>特征的阈值法计算较为简单,对面部呈现出的“打瞌睡”状态能够较好地识别,但该方法对不同年龄人群的适应性较差,因而准确率较低。

显然,人们希望算法的侵扰性尽可能低,实时性和准确率尽可能高。但实际情况是,在方法的侵扰性与实时性之间、侵扰性与识别准确率之间、实时性与准确率之间普遍存在着对立性矛盾。因此,若研究能对这些矛盾进行形式化、定量化和转化,从而得到解决问题的策略的方法或机制,对于创新算法和算法的推广应用均具有重要意义。为此,本文基于可拓理论和方法<sup>[7]</sup>建立精神疲劳识别方法的矛盾问题模型,通过拓展分析、可拓变换等方法对矛盾进行转化,同时生成精神疲劳面部特征的求解及识别策略。最后,基于优度函数对多种策略进行了比较和分析。

到稿日期:2014-05-20 返修日期:2014-08-20 本文受广东省自然科学基金项目(2014A030310169),广东省教育部产学研资助项目(2012B091000058),广州市科技计划项目(2014Y2-00211)资助。

陈云华(1977-),女,博士,讲师,CCF 会员,主要研究方向为视频图像处理、智能计算、可拓数据挖掘, E-mail: chenyh\_winy@163.com; 陈平华(1967-),男,硕士,教授,主要研究方向为推荐系统、云计算。

## 1 建立问题的可拓模型

对于“融合背景信息特征的精神疲劳识别”这一问题，目标是人的精神疲劳状态，条件是特征提取和疲劳识别算法。根据领域知识，精神疲劳状态是通过对被测者的眨眼、哈欠等面部动态特征和生活压力、睡眠质量、环境噪音等背景信息特征的识别来实现的。因此，设

$$g_0 = (\text{人 } A, \text{精神疲劳状态 } c, x) \quad (1)$$

$$g_1 = (\text{人 } A, \text{面部动态特征 } c_1, x_1) \quad (2)$$

$$g_2 = (\text{人 } A, \text{工作生活压力 } c_2, x_2) \quad (3)$$

其中， $x$  表示人  $A$  的特征“精神疲劳状态  $c$ ”的取值， $x_1$  表示人  $A$  的特征“面部动态特征  $c_1$ ”的取值， $x_2$  表示人  $A$  的特征“工作生活压力  $c_2$ ”的取值。则有如下蕴含关系：

$$g_0 \Leftarrow \begin{cases} g_1 \\ g_2 \end{cases} \quad (4)$$

设  $l_0 = (\text{算法 } B, \text{处理对象 } c_l, \text{图像特征 } v_{img})$ ，则问题的可拓模型为

$$P = G * L = \begin{bmatrix} \text{识别, 支配对象, } g_0 \\ \text{施动对象, 计算机} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \text{工具, 类型, } l_0 \\ \text{年代, 当前} \end{bmatrix} \quad (5)$$

在生活压力、睡眠质量、环境噪音等背景信息中，由于人的睡眠质量主要取决于生活压力，环境噪音对人体疲劳产生的影响则可在面部动态特征中体现出来，因此，本文选用生活压力特征作为背景信息的特征，面部动态特征（眨眼哈欠等）作为疲劳识别对象的主要特征。上述问题的核问题  $P = g_0 * l_0 = (g_1 \wedge g_2) * l_0$  可分解为两个子问题：面部动态特征子问题  $P_1$  和工作生活压力子问题  $P_2$ ：

$$P_1 = g_1 * l_0 = (\text{人 } A, \text{面部动态特征 } c_1, v_{c_1}) * l_0 \quad (6)$$

$$P_2 = g_2 * l_0 = (\text{人 } A, \text{工作生活压力 } c_2, v_{c_2}) * l_0 \quad (7)$$

## 2 构建关联函数与优度函数

选取评价特征  $c_{11} = \text{“单帧图像处理时间”}$ ， $c_{12} = \text{“疲劳识别准确率”}$  为条件  $l_0$  关于对象“人  $A$ ”的  $c_1$  所需要的特征， $X_{11} = [0, t_0]$ ， $X_{12} = [r_0, 1]$ 。选取评价特征  $c_2 = \text{“特征提取非侵扰性”}$  为条件  $l_0$  关于对象“人  $A$ ”的  $c_2$  所需要的特征， $X_2 = \{1\}$ 。其中， $t_0$  表示在实时精神疲劳识别中单帧图像特征提取所能接受的最大时间， $r_0$  表示在实时精神疲劳识别中所能接受的最低识别率。 $c_2$  的值在目标的特征提取具有非侵扰性时取 1，否则取 -1。记

$$g_1 = \begin{bmatrix} \text{人 } A, & c_{11}, & x_{11} \\ & c_{12}, & x_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_A, & c_{11}, & v_{11} \\ & c_{12}, & v_{12} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$g_2 = (\text{人 } A, c_2, x_2) = (O_A, c_2, v_{c_2})$$

$$l_0 = (O_B, c_l, v_{img}) \quad (9)$$

则问题  $P_1$  的核问题为

$$P = P_1 \wedge P_2 = (g_1 \wedge g_2) * l_0 = \left( \begin{bmatrix} O_A, & c_{11}, & v_{11} \\ & c_{12}, & v_{12} \end{bmatrix} \wedge (O_A, c_2, v_{c_2}) \right) * (O_B, c_l, v_{img}) \quad (10)$$

分别以  $X_{11}, X_{12}, X_2$  为正域，建立可拓集

$$\tilde{E}(T) = \{(g, y, y') \mid g \in T_d d, y = k_{11}(x_{11}) \wedge k_{12}(x_{12}) \wedge k_2(x_2) \in I, y' = T_k K(T_k g) \in I\} \quad (11)$$

其中，关联函数为

$$k_{11}(x_{11}) = \frac{t_0 - x_{11}}{t_0} \quad (12)$$

$$k_{12}(x_{12}) = \frac{x_{12} - r_0}{1 - r_0} \quad (13)$$

$$k_2(x_2) = \begin{cases} 1, & \text{当 } x_2 \text{ 具有非侵扰性} \\ -1, & \text{当 } x_2 \text{ 具有侵扰性} \end{cases} \quad (14)$$

设  $y_1 = k_{11}(x_{11}), y_2 = k_{12}(x_{12}), y_3 = k_2(x_2)$ ，用  $y$  来衡量综合优度，则有

$$y = \begin{cases} (y_1 + y_2) / 2, & \forall y_i > 0 \\ y_1 \wedge y_2 \wedge y_3, & \exists y_i < 0 \end{cases} \quad (15)$$

其中， $i=1, 2, 3$ 。即当实时性、准确率、侵扰性三者之一不满足给定限制条件（如  $t_0, r_0$  等）时，算法的优度取关联函数最小值。当实时性、准确率、侵扰性三者均满足给定限制条件时，优度取实时性和准确率关联函数的均值。

## 3 精神疲劳特征求取的可拓策略

### 3.1 面部动态特征求取策略

依据基元的拓展分析方法，对目标进行拓展分析。

#### 3.1.1 目标拓展分析

对问题  $P_1$  的目标进行拓展分析。设

$$g_{11} = \begin{bmatrix} \text{哈欠, 张口度}(c_{MO}), & v_{MO} \\ \text{张口持续时间}(c_{MOT}), & v_{MOT} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$g_{12} = \begin{bmatrix} \text{眨眼, 持续时间}(c_{BD}), & v_{BD} \\ \text{频率}(c_{BF}), & v_{BF} \\ \text{PERCLOS}(c_{per}), & v_{per} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$g_{13} = (\text{瞌睡点头, 频率}(c_{DF}), v_{DF}) \quad (18)$$

则有如下蕴含关系：

$$g_1 \Leftarrow \begin{cases} g_{11} \\ g_{12} \\ g_{13} \end{cases} \quad (19)$$

由条件物元  $l_0$  可拓展出  $l_1$ ：

$$l_1 = \begin{bmatrix} \text{图像, 颜色, } v_{color} \\ \text{纹理, } v_{texture} \\ \text{形状, } v_{shape} \\ \text{灰度代数直, } v_{g-a} \\ \text{灰度统计直, } v_{g-s} \end{bmatrix} \quad (20)$$

#### 3.1.2 特征筛选

根据专家经验，按照评价特征  $c_3 = \text{“鲁棒性”}$ 、 $c_4 = \text{“视频采集设备的普及性”}$ ，对拓展出的特征进行筛选，由  $c_3$  可筛选掉  $c_{DF}$ ，由  $c_4$  可筛选掉  $c_{per}$ ，筛选后  $g_{11}$  不变， $g_{13}$  消失， $g_{12}$  变为  $g'_{12}$ 。筛选后得到的动态特征参数如图 1 所示。

$$g'_{12} = \begin{bmatrix} \text{眨眼, 持续时间}(c_{BD}), & v_{BD} \\ \text{频率}(c_{BF}), & v_{BF} \end{bmatrix} \quad (21)$$

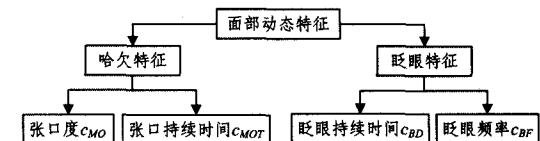


图1 筛选后得到的动态特征参数

#### 3.1.3 可拓变换及策略生成

前述拓展分析过程使我们找到了求解问题的思路。对面部动态特征求取的关键是以面部视频为基础，找到可拓变换  $T_{g_1}$ ，使得  $K(T_{g_1} g_1) > 0$ 。

文献[8]针对精神疲劳监测中虹膜定位的实时性要求较高、背景较为固定以及可能存在头部扭转与脸部倾斜和遮挡等特点,利用肤色模型快速定位与检测人脸,椭圆拟合进行人脸姿态估计与倾斜矫正,方差投影粗定位眼睛,直方图统计和自定义窗函数获取自适应虹膜分割阈值对虹膜进行准确分割和定位,形成一种实时虹膜定位与分割方法。文献[9]针对疲劳分析中哈欠检测具有嘴角点定位困难、嘴巴张开大小及持续时间因人而异的特点,提出一种基于嘴巴内轮廓角点检测与曲线拟合的哈欠检测方法。上述两种方法用可拓变换  $T_{basic} \cdot T_{det\_com}$  来表示。

文献[10]针对采用确定性阈值法分析眨眼特征进而识别疲劳存在准确性差的问题,提出了一种基于不确定性  $F_R$  模型理论<sup>[16]</sup>的眼动参数描述方法,实现眨眼特征的量化、融合以及最后疲劳状态的判定。该方法用可拓变换  $T_1$  来表示。

文献[9]基于嘴唇内轮廓曲线和张口度生成张口度曲线,对其进行时间维度的分析,采用双阈值法对哈欠进行判别。该方法用可拓变换  $T_2$  来表示。

文献[11]针对仅根据嘴巴形态进行哈欠识别准确率低、采用阈值法分析眨眼参数适应性较差、无法对疲劳状态的过渡进行实时识别等问题,采用滑动窗口分段法在张口度曲线的基础上构建哈欠特征(M)时序,该方法用可拓变换  $T_3$  来表示。采用HMM建模方法在虹膜似圆比曲线的基础上构建眨眼持续时间(BD)时序,该方法用可拓变换  $T_4$  来表示。

求解动态特征的策略如图2所示。

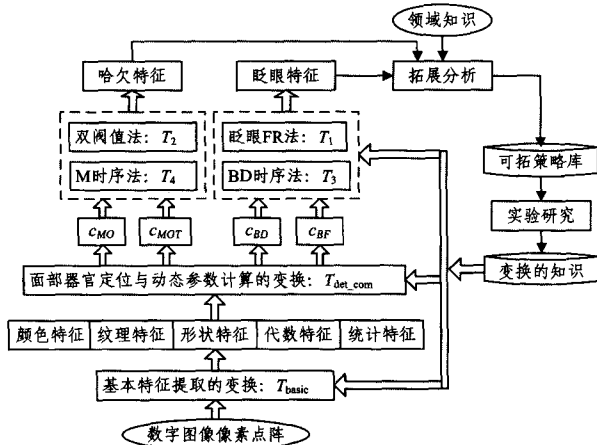


图2 从数字图像到动态特征的求解策略

特征间的变换关系如下:

$$\text{眨眼特征} = (T_1 \oplus T_3)(C_{BD}, C_{BF}) \quad (22)$$

$$\text{哈欠特征} = (T_2 \oplus T_4)(C_{MO}, C_{MOT}) \quad (23)$$

令

$$T = (T_1 \oplus T_2 \oplus T_3 \oplus T_4) \cdot T_{basic} \cdot T_{det\_com} \quad (24)$$

分别以KNN、SVM算法作为模式分类算法,经过实验验证,可找到在给定实时性和识别率要求下的:

$$k_{11}(T_{g_{11}}) \wedge k_{12}(T_{g_{12}}) > 0$$

因此,  $T_{g_1} = (T_1 \oplus T_2 \oplus T_3 \oplus T_4) \cdot T_{basic} \cdot T_{det\_com}$  即为所求的可拓变换。

### 3.2 生活工作压力特征求取的可拓策略

#### 3.2.1 工作生活压力拓展分析

面部动态特征能够反映精神疲劳状态,获取被测者工作生活压力信息则有助于提高基于动态特征进行精神疲劳识别的准确率。然而,对工作生活压力特征( $c_2$ )进行分析后发现,

$c_2$  的值无法直接从面部视频获取到,即  $k_3(v_2) = -1$ 。工作生活压力对睡眠状况有着重要的影响,而睡眠状况不佳会导致面部的外观和表情发生变化。经中医科专家对伴有严重睡眠障碍的慢性疲劳(Chronic Fatigue Syndrome with Sleep Disorder, SD\_CFS)者的面部视频进行研究后,发现SD\_CFS者面部存在一些如肤色暗淡、卧蚕突出、印堂“川”字形纹理和嘴角下压等面部慢性疲态特征。其中,卧蚕<sup>[12]</sup>指的是紧邻睫毛下缘一条约4~7mm的带状隆起物,看起来就像一条蚕宝宝横卧在下睫毛的边缘,笑起来更明显,卧蚕的大小与睡眠是否规律有很大的关系。由此可进行下面的拓展分析:

由  $g_2$  可拓展出  $g_3$ :

$$g_3 = (\text{人 } A, \text{睡眠状况}, v_{1g}) \quad (25)$$

由  $g_2, g_3$  相关分析得到:

$$g_4 = \begin{bmatrix} \text{面部, 外观, } v_{uppe} \\ \text{表情, } v_{FE} \end{bmatrix} \quad (26)$$

由  $g_4$  拓展分析得到:

$$g_{41} = \begin{bmatrix} \text{面部, 肤色 } C_{S\_color}, v_{S\_color} \\ \text{卧蚕 } C_{WC}, v_{WC} \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$g_{42} = \begin{bmatrix} \text{面部, 皱眉 } C_{Frown}, v_{Frown} \\ \text{撇嘴 } C_{MC}, v_{MC} \end{bmatrix} \quad (28)$$

物元间的拓展关系如式(29)所示:

$$g_2 - |g_3 \sim g_4 \leftarrow \begin{cases} g_{41} \\ g_{42} \end{cases} \quad (29)$$

对工作生活压力进行拓展分析,结果如图3所示。

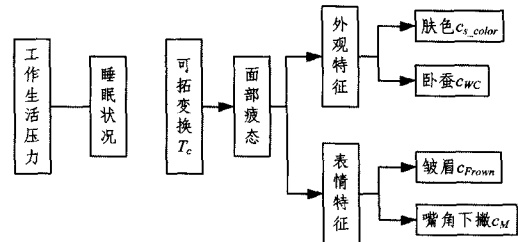


图3 工作生活压力的拓展分析

#### 3.2.2 矛盾转化的可拓变换

问题转变为寻求一个可拓变换  $T_{g_2}$ , 使得:

$$K(T_{g_2} g_2) > 0 \quad (30)$$

由第2节内容可知,要使式(29)成立,首先要使

$$k_2(T_{c_2} v_{c_2}) > 0 \quad (31)$$

可拓学给出了置换、增删、扩缩、分解、复制等变换的模型。中医专家认为,慢性疲劳者面部精气神与健康者有明显差异,因此,定义一种置换变换如下:

$$T'_{c_2} = \begin{bmatrix} \text{置换, 接受对象, } c_2(\text{工作生活压力}) \\ \text{变换结果, } c_2'(\text{面部精气神}) \\ \text{置换方法, 变换论域} \end{bmatrix}$$

更进一步,分析  $c_2'$  发现,其值也无法直接从面部信息获取到。但是,对慢性疲劳患者面部视频研究后发现面部精气神变化导致面部肤色、卧蚕、皱眉、撇嘴等面部外观与表情的改变,本文将这种长期缓慢形成的面部形态称为“面部慢性疲态”。因此,再次对  $c_2'$  进行置换变换,对应的变换描述如下:

$$T''_{c_2} = \begin{bmatrix} \text{置换, 接受对象, } c_2'(\text{面部精气神}) \\ \text{变换结果, } c_2''(\text{面部慢性疲态}) \\ \text{置换方法, 变换论域} \end{bmatrix}$$

$$T_{c_2}''' = \left[ \begin{array}{l} \text{分解, 接受对象, } c_2'' \text{ (面部慢性疲态)} \\ \text{变换结果, } c_2''' = \{c_{S\_color}, c_{WC}, c_{Frown}, c_{CM}\} \end{array} \right]$$

因此,

$$T_c = T_{c_2}''' \cdot T_{c_2}'' \cdot T_{c_2}' \quad (32)$$

由于  $c_{S\_color}$ 、 $c_{WC}$ 、 $c_{Frown}$ 、 $c_{CM}$  等的识别可通过计算机视觉和模式识别技术自动进行,相对于问卷调查等需要用户配合的方法,对被测者具有非侵扰性,因此,

$$k_2(T_c v_{c_2}) = k_2(v_{c_2}) = 1 \quad (33)$$

至此,利用可拓学的理论和方法将计算机程序无法计算的工作生活压力等转化为了可以用计算机程序计算的面部慢性疲态特征。子问题  $P_2$  的相容性取决于关联函数  $k_{11}$ 、 $k_{12}$  的值。

### 3.2.3 可拓变换及策略

由 3.2.1 节的拓展分析可知,面部疲态特征主要包括肤色、卧蚕、皱眉、嘴角下撇等外观和表情特征。首先根据人脸结构比例关系<sup>[13]</sup>对面部进行分块,对应于可拓变换  $T_{blk}$ 。

在 RGB 和 CIELab 双颜色空间提取图 4 中浅灰色块区域面色特征。基于 Gabor 小波提取图 4 中黑色块和渐变块卧蚕和皱眉特征。采用二次曲线拟合提取深灰色块区域中嘴唇中缝线特征。上述方法用可拓变换  $T_{basic}$  来表示。

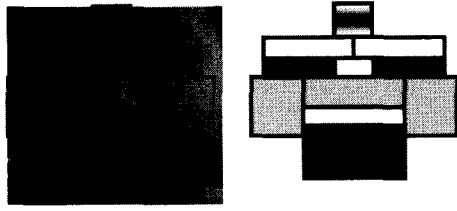


图 4 面部区域分块示意图

将分块特征融合成一种混合特征,用可拓变换  $T_5$  来表示。采用流形保持投影<sup>[14]</sup>进行特征选择和降维,用可拓变换  $T_6$  来表示。求解面部疲态特征的策略如图 5 所示。

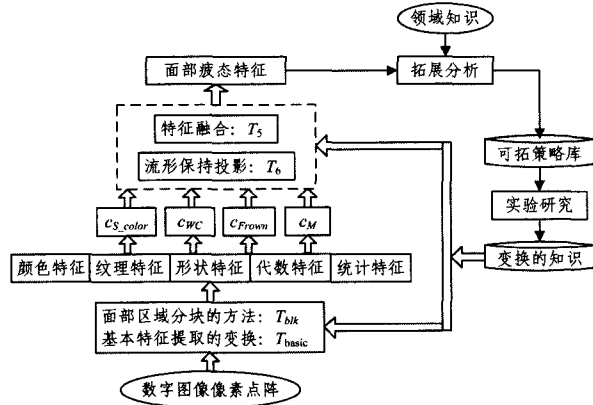


图 5 从数字图像到面部慢性疲态特征的求解策略

特征间的变换关系可表示为:

$$\text{面部疲态特征} = T_5 \cdot T_6 (c_{S\_color}, c_{WC}, c_{Frown}, c_{CM})$$

$$\text{令 } T' = T_6 \cdot T_5 \cdot T_{basic} \cdot T_{blk}$$

分别以 KNN、SVM 算法作为模式分类算法,经过实验验证,可找到在给定实时性和识别率要求下的:

$$k_{11}(T_{g_1} \oplus T'_{g_2}) \wedge k_{12}(T_{g_1} \oplus T'_{g_2}) > 0$$

因此,  $T_{g_2} = T' = T_6 \cdot T_5 \cdot T_{basic} \cdot T_{blk}$  即为求解面部疲态特征的可拓变换。

## 3.3 精神疲劳识别

以上述面部动态特征、面部动态特征结合面部疲态特征为基础,分别采用 KNN 和 SVM 等经典分类算法进行精神疲劳识别。

## 4 实验验证

### 4.1 实验数据准备

从 47 人的 705 段视频中截取含有“瞌睡”或者哈欠的视频 300 段,截取既无哈欠也无“瞌睡”的视频 300 段,作为实验视频。

将精神状态分为 3 种状态:1:警醒,2:警醒过渡到疲劳,3:疲劳,记为  $Mf_i$  ( $i=1,2,3$ )。以  $T_{best}$  为时间间隔进行样本的标注,采用被测者主观评价、专家评价、PVT 测试值三者结合的方式进行标注,取 1、2、3 中与三者平均值最接近的值作为样本的类别标注。其中,PVT 测试值为被测者在  $T_{best}$  时间内鼠标点击特定图案的次数归一化后的值进行均值平移后的结果。将该结果量化为 3 类。专家打分的规则如下:采取  $n$  名专家投票的方式标注  $N$  个样本中每一个样本的疲劳值。对第  $k$  个样本的标注结果记为  $Mf^k$  ( $1 \leq k \leq 3$ ),精神状态类别为  $i$  的票数记为  $cnt_{Mf_i}$ ,标注的规则如下:

$$Mf^k = \arg \max_{Mf_i} \{cnt_{Mf_i}\} \quad (34)$$

式中,  $i$  代表精神疲劳状态号,  $i=1,2,3$ 。

$T_{best}$  为获取原始特征值序列的固定时长,其值的选取依据文献<sup>[15]</sup>的研究成果。文献<sup>[15]</sup>对各种与驾驶疲劳相关的特征参数统计的时间间隔进行了研究,结果表明,取 60 秒连续视频进行特征参数统计,疲劳识别效果最好。

### 4.2 策略优度比较

为表述方便,将面部动态特征记为 DF (Dynamic Feature),将面部动态特征与面部疲态特征结合记为 DCF (Dynamic and Context Feature)。按照式(15)计算出的几种精神疲劳特征和识别方法的优度如表 1—表 5 所列。表中,  $x_{11}$  表示单帧视频处理时间(ms);  $x_{12}$  表示方法识别疲劳的正确率;  $r_0$  表示在实时精神疲劳识别中,所能接受的最低识别率;  $t_0$  表示在实时精神疲劳识别中,单帧图像特征提取所能接受的最大时间;  $y_1$  表示在给定  $t_0$  值的情况下,单帧视频处理时间  $x_{11}$  的满意度;  $y_2$  表示在给定  $r_0$  值的情况下,方法识别准确率  $x_{12}$  的满意度;  $y$  表示方法的综合优度。

表 1  $t_0=25, r_0=0.85$  时的优度

特征与方法	$x_{11}$ (ms)	$x_{12}$ (%)	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$
DF+KNN	20	89.3	0.20	0.29	1	0.25
DF+SVM	20	89.5	0.20	0.30	1	0.25
DCF+KNN	22	91.0	0.12	0.40	1	0.26
DCF+SVM	22	92.3	0.12	0.49	1	0.31
文献[4]	24	95.3	0.04	0.67	-1	-1

表 2  $t_0=25, r_0=0.90$  时的优度

特征与方法	$x_{11}$ (ms)	$x_{12}$ (%)	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$
DF+KNN	20	89.3	0.2	-0.07	1	-0.07
DF+SVM	20	89.5	0.2	-0.05	1	-0.05
DCF+KNN	22	91.0	0.12	0.10	1	0.11
DCF+SVM	22	92.3	0.12	0.23	1	0.18
文献[4]	24	95.3	0.04	0.53	-1	-1

表3  $t_0=21, r_0=0.85$  时的优度

特征与方法	$x_{11}$ (ms)	$x_{12}$ (%)	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$
DF+KNN	20	89.3	0.05	0.29	1	0.17
DF+SVM	20	89.5	0.05	0.30	1	0.18
DCF+KNN	22	91.0	-0.05	0.40	1	-0.05
DCF+SVM	22	92.3	-0.05	0.49	1	-0.05
文献[4]	24	95.3	-0.14	0.67	-1	-1

表4  $t_0=21, r_0=0.90$  时的优度

特征与方法	$x_{11}$ (ms)	$x_{12}$ (%)	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$
DF+KNN	20	89.3	0.05	-0.07	1	-0.07
DF+SVM	20	89.5	0.05	-0.05	1	-0.05
DCF+KNN	22	91.0	-0.05	0.10	1	-0.05
DCF+SVM	22	92.3	-0.05	0.23	1	-0.05
文献[4]	24	95.3	-0.14	0.53	-1	-1

表5 取消非侵扰性限制,  $t_0=25, r_0=0.90$  时的优度

特征与方法	$x_{11}$ (ms)	$x_{12}$ (%)	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y$
DF+KNN	20	89.3	0.2	-0.07	-	-0.07
DF+SVM	20	89.5	0.2	-0.05	-	-0.05
DCF+KNN	22	91.0	0.12	0.10	-	0.11
DCF+SVM	22	92.3	0.12	0.23	-	0.18
文献[4]	24	95.3	0.04	0.53	-	0.29

从表1—表5可看出:

(1)在评价指标相同的情况下,策略的优度与各评价指标正域的取值密切相关。即同样的策略,当限制条件或者目标变化时,策略的优度随之发生变化,这符合事物发展的客观规律。当限制条件较为宽松时,算法的优度普遍较高,见表1;当限制条件较为严格时,算法的优度普遍较低,见表4。

(2)在给定的几种方法中,文献[4]中方法的识别准确率最高,实时性最低,需要交互式地获取工作负担等背景信息,因而并不彻底满足非侵扰性。如果不考虑侵扰性指标,则该方法的综合优度最高。而在同时满足3种指标的条件下,本文所提出的 DCF+SVM 策略优度最高。

**结束语** 本文对基于面部特征的精神疲劳识别算法中存在的矛盾问题进行了分析和建模,并以其为基础,推导出精神疲劳面部动态特征、面部姿态特征获取及精神疲劳识别的可拓策略。以非侵扰性、实时性与准确率作为评价指标,构建了策略的优度函数,为策略的自动生成、评估和选择奠定了基础。模式识别领域普遍存在着算法计算复杂度和识别准确率之间的矛盾。没有一种算法是完美的,只能找到满足特定条

件的最优算法。本文的主要贡献在于基于可拓理论和方法将人类研究和创新算法的思维过程进行了形式化,使得计算机模拟人类思维自动找到满足限制条件的问题最优求解策略成为可能。而后者对于提高计算系统的智能性具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 曹雪亮. 脑力疲劳的注意特征及主观评定方法的实验研究[D]. 西安:第四军医大学,2003
- [2] 朱炳初,汪丰. 疲劳识别研究现状与发展[DB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>
- [3] 王磊,吴晓娟,巴本冬. 一种基于视觉的 PERCLOS 特征提取方法[J]. 计算机工程与科学,2006,28(6):52-54
- [4] Ji Qiang, Lan Pei-lin, Looney C. A Probabilistic Framework for Modeling and Real-Time Recognition Human Fatigue [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 2006, 36(5):862-875
- [5] 郑培民,宋正河,周一鸣. 基于 PERCLOS 的机动车驾驶员驾驶疲劳的识别算法[J]. 中国农业大学学报,2002,7(2):104-109
- [6] 王琼,王欢,赵春霞,等. 基于眼睛状态识别的驾驶员疲劳识别[J]. 南京理工大学学报:自然科学版,2010,34(4):448-453
- [7] 杨春燕,蔡文. 可拓工程[M]. 北京:科学出版社,2007
- [8] 陈云华,张灵,严明玉. 面向精神疲劳监测的实用虹膜定位方法[J]. 微电子学与计算机,2013,30:17-20
- [9] 谢国波,陈云华,张灵,等. 基于嘴巴特征点曲线拟合的哈欠检测[J]. 计算机工程与科学,2014,36(4):731-736
- [10] 丁伍洋,陈云华,高素文,等. 基于眼动参数云融合模型的疲劳检测方法[J]. 计算机工程与设计,2013,34:4067-4071
- [11] 陈云华,张灵,丁伍洋,等. 精神疲劳实时监测中多面部特征时序分类模型[J]. 中国图象图形学报,2013,18:953-960
- [12] Keiko. 微笑密码:眼袋 VS 卧蚕[J]. 医学美容(蜜, Me), 2011(21):76-79
- [13] 陈云华,余永权,张灵,等. 基于面部特征的精神疲劳可拓辨识模型[J]. 计算机科学,2013,2(40):284-288
- [14] 张伟,夏利民,罗大庸. 基于流形保持投影的驾驶疲劳识别[J]. 信息与控制,2011,40(1):119-123
- [15] Sandberg D. The performance of driver sleepiness indicators as a function of interval length[C]// Proceedings of 14th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Washington, DC, USA, IEEE, 2011:1735-1740
- [16] 李德毅,杜鹤. 不确定性人工智能[M]. 北京:国防工业出版社, 2005:143-147

(上接第276页)

- [2] Santo F. Community detection in graphs [J]. Physics Reports, 2010,486(3-5):75-174
- [3] 李莉杰,陈瑞兵,王冠楠. 有向网络重叠社区的快速划分算法[J]. 计算机科学,2014,41(6A):258-261
- [4] Fang Wei, Wei Ning-qian, et al. Detecting Overlapping Community Structures in Networks [J]. World Wide Web, 2009, 12: 235-261
- [5] Chen Zhang-zhang, Hendrix W, Samatova N F. Community-based anomaly detection in evolutionary networks [J]. J Intell Inf Syst, 2012, 39:59-85
- [6] 刘微,张大为,嵇敏,等. 基于共享邻居数的社团结构发现算法[J]. 计算机工程,2011,37(6):172-174
- [7] 贾宗伟,崔军,王晓芳. 复杂网络中社团结构的快速探测方法[J]. 科技通报,2013,29(1):132-135
- [8] 方平,李芝棠,涂浩,等. 复杂网络局部社区挖掘的节点接近度算法[J]. 计算机工程与应用,2013,49(17):38-42
- [9] 周德志,刘怀亮,张倩. 基于复杂网络的文本语义社区的构建[J]. 情报杂志,2013,32(10):136-140
- [10] 谢凤宏,张大为,黄丹,等. 基于复杂网络社团划分的文本聚类方法[J]. 计算机工程与设计,2011,32(3):1059-1061
- [11] 罗明伟,姚宏亮,李俊照,等. 一种基于节点相异度的社团层次划分算法[J]. 计算机工程,2014,40(1):275-279
- [12] 黄振,张宇,张宏莉. 面向大规模应用层拓扑的社团发现技术[J]. 智能计算机与应用,2013,3(4):34-38
- [13] 李琳,李生红,陆松年,等. 基于 PCA 的社团结构谱聚类改进算法[J]. 计算机工程与设计,2013,34(10):3448-3452
- [14] Chen Duan-bing, Fu Yan, Shang Ming-sheng. A fast and efficient heuristic algorithm for detecting community structures in complex networks [J]. Physica A, 2009, 388(13):2741-2749
- [15] 张珊. 复杂网络的节点重要性及社区结构研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2013