

基于眼动仪的飞行员疲劳判定相关属性研究

樊 玮, 鲁胜华

(中国民航大学 计算机科学与技术学院, 天津 300300)

摘 要: 飞行员驾驶疲劳是影响飞行安全的重要因素之一。眼动仪已被尝试应用于驾驶人员的疲劳检测, 但眼动仪采集数据属性较多, 且缺乏明确的疲劳判定决策属性, 故将 PVT(精神运动警戒任务) 测量所得疲劳程度组合进眼动仪测量数据中, 作为决策属性, 采用基于二元信道互信息的粗糙集属性约简方法, 进行针对疲劳判定的眼动仪属性知识约简, 并在约简前后, 分别采用 BP 神经网络进行分类计算。结果表明, 将二元信道互信息作为启发式信息, 进行以疲劳判定为目标的眼动仪属性约简, 能有效提取反映飞行员驾驶疲劳的主要属性。

关键词: 驾驶疲劳; 粗糙集; 属性约简; 二元信道; 精神运动警戒任务

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)06-0015-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.004

Research on Related Attribute of Pilot Fatigue Based on Eye Tracker

FAN Wei, LU Sheng-hua

(School of Computer Science & Technology, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: Pilot's driving fatigue is one of the important factors that affect flight safety. Eye tracker has been trying to apply to driver fatigue detection, but eye tracker collects too many data attributes, lacks of a clear decision attribute. It will make PVT (Psychomotor Vigilance Task) into the data get by eye tracker, as decision attribute, use the rough set attribute reduction method based on binary channel of mutual information for attributes reduction of eye tracker in view of the fatigue test, and before and after the reduction, use BP neural network to classify respectively. Results show that use the binary channel mutual information as the heuristic information to test fatigue by attribute reduction, it can effectively extract the main pilot fatigue properties.

Key words: driving fatigue; rough set; attribute reduction; binary channel; psychomotor vigilance task

0 引 言

疲劳是一种疲倦乏力的感觉, 会给各个行业的劳动者带来潜在的安全威胁。对民航而言, 飞行员的疲劳会给乘客的生命和财产安全带来严重威胁, NASA 早在 1976 年的研究表明, 约 1/5 的航空事故与飞行疲劳有关^[1]。因此, 飞行疲劳一直是民航安全的重要研究方向之一。飞行疲劳属于与特定职业相关的工作疲劳的范畴, 特指飞行员因飞行时间或值勤时间过长而导致在体力和脑力等方面的消耗而下降, 进而出现注意力下降、情境意识丧失、操作能力下降、判断决策能力降低等飞行表现变差的现象^[2]。

现有疲劳判定方法主要有主观法和客观法两大类。主观法主要是通过问卷调查方法, 以主观的疲劳

感进行判断疲劳的有无和程度深浅, 推断疲劳的程度, 客观法通过测量人体的机能变化来判定疲劳状态, 如心率、表面肌电信号、两点刺激敏感阈限及生化指标等^[3]。尽管客观法比较准确, 但测试条件苛刻, 且过程复杂, 特别在一些受电磁干扰的场合不能适用。将眼动仪应用于驾驶人员包括飞行人员的疲劳监测, 由于具备可实时操作、非接触、数据便于再次加工等特性, 已经成为疲劳测定的主要方法之一^[4]。然而, 眼动仪最初是用于心理学研究的, 其观测参数较多, 如何在这些参数中发现和疲劳相关的参数, 去除疲劳无关参数, 目前, 尚未发现相关文献。因此, 研究针对疲劳判断的眼动仪观测参数约简, 具有一定的应用价值。

收稿日期: 2013-08-26

修回日期: 2013-11-29

网络出版时间: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60979009); 国家“973”重点基础研究发展计划项目(2010CB734105)

作者简介: 樊 玮(1968-), 男, 教授, CCF 会员, 硕士生导师, 研究方向为数据挖掘、智能信息处理、民航收益管理; 鲁胜华(1988-), 男, 硕士, 研究方向为数据挖掘、智能信息处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140306.1529.004.html>

1 眼动仪数据测量

文中采用 FaceLAB4.0 眼动仪进行数据采集,该眼动仪可采集的数据主要包括 World Data、Image、Eyes Data、Head Data、Timing Data 这 5 大类共 112 项^[5],如表 1 所示。

表 1 眼动仪观测数据

数据类别	数据英文名	数据意义
World Data	GSI_WORLD_X	注视向量与屏幕交叉点的 X 值
	GSI_WORLD_Y	注视向量与屏幕交叉点的 Y 值
	GSI_WORLD_Z	注视向量与屏幕交叉点的 Z 值

	MOUTRECT_CA_W	嘴部矩阵在摄像机 A 中的宽度
Image Features	MOUTRECT_CA_H	嘴部矩阵在摄像机 A 中的高度
	MOUTRECT_CB_W	嘴部矩阵在摄像机 B 中的宽度
	MOUTRECT_CB_H	嘴部矩阵在摄像机 B 中的高度

	BLINK_FREQ	眨眼频率
Eyes Data	BLINK_DURATION	平均眨眼时间
	PERCLOS	在单位时间内眼睛闭合时间所占的百分比率计算值

	HPOS_FILT_X	头部位置(x)
	HPOS_FILT_Y	头部位置(y)
Head Data	HPOS_FILT_Z	头部位置(z)

	FRAME_NUM	帧数
Timing Data	EXPERIMENT_TIME	跟踪开始后以秒计时
	ANNOTATION_ID	注释表

基于表 1 的数据,一般无法直接判定疲劳状态,为此,引入已被广泛使用的疲劳测量方法 PVT (Psychomotor Vigilance Task)^[6]。PVT 是一种基于反应时间的测量精神反应速度的标准测试法,驾驶活动要求反应速度要快,通过 PVT 测试得分可以测试出飞行员反应速度的快慢,因此采用 PVT 作为疲劳的标准是比较合适的。并将 PVT 测量所得疲劳程度作为表 1 的决策属性,其值和疲劳度之间的关系如表 2 所示,PVT 值被分成 5 个等级,用 1~5 表示,对应的疲劳程度逐次

递增,1~2 等级认为飞行员状态正常,如果在 3~4 等级则认为飞行员已经处于疲劳状态,等级 5 则表示飞行员处于严重疲劳状态^[7]。

表 2 疲劳程度的主观量值

疲劳等级	疲劳程度描述	量值
1	清醒	0~0.2
2	轻微疲劳	0.2~0.4
3	疲劳	0.4~0.6
4	较疲劳	0.6~0.8
5	严重疲劳	0.8~1

安排 6 名飞行员先学习五种交通标志图片及与各自相对应的中断按钮,在模拟驾驶舱内进行 20 小时的模拟驾驶实验,这期间,每两个小时做一个使用计算机处理的测试,运用 FaceLAB4.0 眼动仪采集飞行员在模拟驾驶舱中的状态数据,在实验中,五种不同交通标志的图片以 2 s 的间隔随机出现,实验者必须在 500 ms 内迅速反应并按下代表相应图片的按钮。每次实验时间为 10 min,实验结束时记录 6 名飞行员图片识别的错误率,即为疲劳程度的量值,共采集数据 7 082 条。

2 基于二元信道互信息的属性约简

由于眼动仪采集的数据属性较多,这些属性并不一定都和疲劳密切相关,因此,选择合适的算法进行属性约简,就显得非常重要。粗糙集不需要预先给定某些特征或属性的数量描述,而是直接从给定问题的分类知识出发,通过不可分辨关系确定给定问题的属性约简,已成为目前属性约简的主流方法^[8]。然而,基于粗糙集的最小化属性约简,已经被证明为 NP-hard 问题,故有必要采用启发式信息来简化计算。苗夺谦、胡桂容等人提出的基于互信息的属性约简启发式算法,以条件属性对决策属性的互信息增益作为属性重要度的度量,取得了较好的效果,此后,袁红玉等在此算法基础上,定义了一种基于二元信道互信息的属性重要度方法,解决了启发式信息依赖于属性值的分布的问题,取得了较好的约简效果。

利用眼动仪采集的飞行员驾驶状态数据具有属性取值数目较多及属性取值分布不均衡现象,如 PERCLOS 取值范围是(0,1),但其值在小于 0.15 的范围内分布最多,且值的差异较小^[9]。因此,基于上述数据特点,文中采用基于二元信道互信息的属性约简方法进行眼动仪疲劳相关属性约简。

2.1 基本概念

2.1.1 粗糙集相关概念

为便于叙述,下面介绍一些必要的粗糙集理论基本概念:

定义1:设 $S = (U, A, V, f)$ 为一信息系统,其中论域 $U = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, A 是属性集合, V 是属性值集合, $f: U \times A \rightarrow V$ 是一个信息函数,它为 U 中各对象的属性指定唯一值,它为每个对象的每个属性赋予一个信息值,即 $\forall a \in A, x \in U, f \cup (x, a) \in V_a$ 。若 $A = C \cup D$, $C \cap D = \emptyset$, C 称为条件属性集, D 称为决策属性集,则该信息系统称为决策表。

定义2:在信息系统 S 中,对于属性集 $X \subseteq U$, R 为等价关系,则存在两个子集: R 的下近似集: $RX = \{Y \in U/R \mid Y \subseteq X\}$, R 的上近似集: $\bar{R}X = \{Y \in U/R \mid Y \cap X \neq \emptyset\}$ 。

定义3:在信息系统 $S = (U, A, V, f)$ 中,若 $M, N \subseteq A$, 则 N 的 P 正域 $POS_M(N) = \bigcup_{X \subseteq U/N} M(X)$, 其中 $M(X)$ 为 X 的 M 下近似, N 的 M 正域是 U 中所有根据分类 U/P 的信息可以准确地划分到关系 M 的等价类中去的对象集合。

定义4:假设 R 为一组等价关系,对于 $R' \in R$, 若 $\text{ind}(R) = \text{ind}(R) - \{R'\}$, 则称 R' 是 R 中可省略的,否则称 R' 是 R 中不可省略的。若 $\forall R' \in R$, R' 都是 R 中不可省略的,那么 R 则是独立的,否则 R 为依赖的。

设 $Q \subseteq P$, 若 P 是独立的,且 $\text{ind}(Q) = \text{ind}(P)$, 则称 Q 是 P 的一个约简,即 $Q = \text{red}(P)$ 。且 P 可以有多种约简, P 中所有必要关系组成的集合称作 P 的核,记为 $\text{core}(P)$ 。且核和约简有如下关系: $\text{core}(P) = \bigcap \text{red}(P)$ 。

2.1.2 粗糙集的信息论描述

C. E. Shannon 为解决通信工程中不确定性信息的编码和传输问题创立了信息论,一个传递信息的系统是由信源、信宿以及两者之间的信道所组成,信息熵是信源符号产生的平均不确定性的一种度量^[10]。在粗糙集理论中,信息系统中条件属性集 C 在论域 U 上的划分可看作信源,决策属性可被看作信宿,条件熵就是通信后从信源(条件属性集)所能知道的关于信宿(决策属性)的平均不确定程度,则可以按如下定义:

定义5:决策系统 $S = (U, C \cup D, V, f)$, 设 $R \subset C$, I_R 和 I_D 导出的划分分别为: $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 和 $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$, 那么 R 的熵可定义为^[11]:

$$H(R) = - \sum_{i=1}^n P(X_i) \log X_i$$

式中, $P(X_i) = \text{card}(X_i) / \text{card}(U)$, 其中 $\text{card}()$ 表示集合的基数。

R 相对于 D 的条件熵定义为

$$H(D \mid R) = - \sum_{i=1}^n P(X_i) * \sum_{j=1}^m P(Y_j \mid X_i) \log P(Y_j \mid X_i) \quad (1)$$

其中, $P(Y_j \mid X_i) = \text{card}(Y_j \mid X_i) / \text{card}(X_i)$ 。

在信息论中,平均互信息量计算了通过信道传输消除的关于信宿的不确定性,所以决策属性的信息熵和条件属性相对于它的条件信息熵之差就代表了通过信道传输所消除的决策属性的不确定性,因此有:

定义6:对于决策系统 $S = (U, A, V, f)$, 设 $R \subset C$, 属性 R 相对于 D 的互信息定义为:

$$W(R; D) = H(D) - H(D \mid R) \quad (2)$$

2.2 二元信道互信息重要度度量

苗夺谦等以加入一个属性后条件属性相对于决策属性的互信息的变化量作为属性重要性的度量方法,提出基于互信息知识约简算法^[12],即

$$\text{SGF}(a, R, D) = W(R \cup \{a\}; D) - W(R; D) \quad (3)$$

然后以此作为启发式信息进行知识约简。但此方法未考虑到信息系统中的各个属性一般情况下都可取多值,这会使结果倾向于取值数目较多的属性,这种倾向并不一定合理。为了解决这个问题,袁红玉等提出一种基于二元信道互信息的属性约简算法^[13],该算法首先对属性进行分解,把多值属性转化为二值属性,即二元信道。例如将 BLINK_FREQ 转化为三个二值属性 BLINK_FREQ_L、BLINK_FREQ_M、BLINK_FREQ_H,分别代表眨眼频率的低、中、高,其取值为 (true, false)。据此,袁红玉等给出了一种新的基于互信息的属性重要性度量方法:

$$\text{SGF}(a_i, R, D) = \text{MAX}(W(R \cup \{a_{ik}\}; D) - W(R; D)); k = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

其中, m 表示属性 a_i 的取值个数; a_{ik} 表示属性 a_i 的分属性。

2.3 二元信道互信息属性约简算法

针对眼动仪数据属性取值分布不均衡现象,文中采用基于二元信道互信息的属性约简方法进行属性约简,算法如下:

输入:以眼动仪所采集状态数据为条件属性,以 PVT 为决策属性,建立决策 $\text{FX}Y = \langle U, A, V, f \rangle$, 其中 $A = C \cup D, C \cap D = \emptyset$ 。

输出:属性约简结果 R 。

算法描述:

1) 首先对眼动仪采集到的 7 082 行飞行员驾驶状态数据进行属性离散化;

2) 计算条件属性相对于决策属性的互信息 $W(C, D)$;

3) 计算决策表 $\text{FX}Y$ 的核 $\text{Core}(A)$, 设 $R = \text{Core}(A)$;

4) 计算 $W(C, D)$, 若 $W(R; D) = k * W(C; D)$, 则终止运算;否则执行第 5 步;

5) 将条件属性集 $C' = C - R$ 中的属性都转化为二

元属性;并根据式(4)计算属性重要度,选择 C 中属性重要度最大的属性 a_i ;

6)令 $R = R \cup \{a_i\}$,跳转第 4 步。

3 实验结果及分析

在运用粗糙集理论对实际数据进行分析 and 获取知识时,要求由实际数据构成的决策表中各个属性值必须用离散值表达,但眼动仪采集的数据大部分是连续的,如表 3 所示,故在处理前必须对其离散化。

表 3 离散化前的眼动仪采集的数据

U	BLINK_DURATION	PERCLOS	HROT_FILT_Z
1	0.133 68	0.000 458	0.100 962
2	0.133 69	0.000 456	0.114 872
3	0.133 75	0.000 453	0.113 512
4	0.133 83	0.000 452	0.097 652
6	0.142 37	0.000 445	0.099 998
7	0.142 56	0.000 443	0.082 597
8	0.142 68	0.000 443	0.076 127
9	0.147 80	0.000 441	0.104 829
.....
7 081	0.154 69	0.000 355	0.002 461
7 082	0.154 72	0.000 352	0.017 722

故首先文中对眼动仪采集的数据分别进行离散化,如对 BLINK_DURATION 取其前三位有效数字再化为整数,对 PERCLOS 取前两位有效数字后化为整数,对 HROT_FILT_Z 则取其前两位有效数字后化为整数再以 3 为周长取其中间值等,结果如表 4 所示。其次通过式(2)可求得条件属性相对于决策属性的互信息 $W(C;D)=0.397\ 5$,经过计算可得飞行员疲劳决策表的核属性 R 为 {PERCLOS,BLINK_DURATION,NOD_FREQ,PUPIL_DIAMETER_R,PUPIL_DIAMETER_L,HROT_FILT_Z,HPOS_FILT_Z};再次将条件属性中除核属性外的其他属性转化为二值属性,例如将 BLINK_FREQ 转化为三个二值属性 BLINK_FREQ_L、BLINK_FREQ_M、BLINK_FREQ_H,分别代表眨眼频率的低、中、高,其取值为(true,false),然后再依次计算加入分属性后互信息的变化量,并将互信息最大的分属性信息作为该属性的重要度。例如 $SGF(BLINK_FREQ_M,R,D)=0.027\ 6$,然后分别将属性重要度最大的属性加入 R ,直到 $W(R;D) \geq k * W(C;D)$ (k 取 0.95),最后得到包含 14 个属性的约简结果,并计算可得互信息为 0.381 7。互信息在约简后并没有明显变化,表明约简前后几乎没有信息缺损。

属性约简所得到的 14 个属性,分别包含头部位置数据(HROT_FILT_X,HROT_FILT_Y,HROT_FILT_Z,HPOS_FILT_Z)、点头频率(NOD_FREQ)、眼睛闭合持

续时间(BLINK_DURATION,PERCLOS)、眨眼频率(BLINK_FREQ)、嘴部状态(MOUTRECT_CA_H,MOUTRECT_CA_W)、视线(GAZE_ROT_R_X,GAZE_ROT_L_X)、瞳孔直径(PUPIL_DIAMETER_R,PUPIL_DIAMETER_L)等属性,这些属性与生理学疲劳表现状态数据相符^[14],这说明文中方法的属性约简结果符合疲劳判定的生理学表现。为了进一步验证约简算法的有效性,除了前文基于约简前后条件属性对于决策属性的互信息对比之外,文中还特别采用了 BP 神经网络基于约简前后不同的属性集合进行分类比较。实验表明,在约简前采用 BP 神经网络算法对飞行员疲劳状态的分类准确率为 82.7%,在约简后,采用 BP 神经网络分类方法进行疲劳判断,其准确率为 86.2%。原因在于采用基于二元信道互信息的属性约简方法约简后,去除了对于疲劳判定冗余的状态属性,选择了更重要的属性集合,从而缩减了网络规模又提高了网络的分类精度。

表 4 离散化后的眼动仪采集的数据

U	BLINK_DURATION	PERCLOS	HROT_FILT_Z
1	133	45	11
2	133	45	11
3	133	45	11
4	133	45	9
5	133	44	13
6	142	44	9
7	142	44	9
8	142	44	7
9	147	43	11
.....
7 081	154	35	3
7 082	154	35	1

由此可见,针对眼动仪采集的飞行员驾驶状态数据,以疲劳判定为目标,文中采用约简算法是有效的。

4 结束语

人为因素研究是飞行安全研究的重要领域,而飞行员驾驶疲劳的监测与判定方法无疑是人为因素研究的重要方向。基于眼动仪的飞行员驾驶疲劳是近年来正在研究的重要方法之一,但目前还缺少明确可信的测量与评判方法。文中将眼动仪测量和基于生化测量的 PVT 测量结果进行组合,采用基于二元信道互信息的粗糙集属性约简方法,进行针对疲劳判定的眼动仪属性知识约简,并在约简前后,分别采用 BP 网络进行分类计算,验证了文中属性约简算法的有效性。

由于眼动仪最初是用于心理学研究的,其众多的
(下转第 23 页)

经过形态学处理以及边缘提取得到背景标记。最后通过对修正后的梯度图像做分水岭处理,实现了乳腺X线图像中肿块的准确检测。较传统分水岭算法,文中方法提高了肿块的检测真阳性率,减少了平均每幅图像假阳性区域个数。由于文中方法主要针对的是含有单个肿块的乳腺X线图像肿块检测,接下来可以进一步改善方法使其同样适用于包含有多个肿块的乳腺X线图像。同时,可以在文中工作之上,利用有效的分割算法,对检测出的肿块进行提取。

参考文献:

[1] 冯小伟,叶兆祥. 乳腺癌筛查的现状 & 进展[J]. 国际医学放射学杂志,2012,35(2):131-134.

[2] Anitha J, Peter J D. A wavelet based morphological mass detection and classification in mammograms[C]//Proc of 2012 international conference on machine vision and image processing. Taipei:IEEE,2012:25-28.

[3] 张桂梅,周明明,马珂. 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法[J]. 中国图象图形学报,2012,17(5):641-647.

[4] 翁璇,郑小林,彭承林. 医学图像分割方法研究[J]. 中国医疗器械信息,2006,12(6):24-26.

[5] 卢志茂,许晓丽,范冬梅,等. 二次分水岭和 Ncut 相结合的彩色图像分割方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2011,39(z2):95-98.

[6] Xu S, Liu H, Song E. Marker-controlled watershed for lesion

segmentation in mammograms[J]. Journal of Digital Imaging, 2011,24(5):754-763.

[7] Sheshadri H S, Kandaswamy A. Detection of breast cancer tumor based on morphological watershed algorithm[J]. ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing,2005,5(5):17-21.

[8] Lewis S H, Dong Aijuan. Detection of breast tumor candidates using marker-controlled watershed segmentation and morphological analysis[C]//Proc of IEEE southwest symposium on image analysis and interpretation. Santa Fe, NM:IEEE,2012:1-4.

[9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 北京:电子工业出版社,2011.

[10] 林芳宇. 数字化X线摄影图像去噪方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2011.

[11] 杨丽君,王保保. 一种基于小波和分水岭变换的图像分割方法[J]. 计算机应用,2005,25(12Z):253-254.

[12] 马丽红,张宇,邓健平. 基于形态开闭滤波二值标记和纹理特征合并的分水岭算法[J]. 中国图象图形学报,2003,8(1):77-83.

[13] 江怡,梅小明,邓敏,等. 一种结合形态滤波和标记分水岭变换的遥感图像分割方法[J]. 地理与地理信息科学,2013,29(2):17-21.

[14] 欧阳成,丁辉,王广志. 乳腺X线图像肿块分割[J]. 北京生物医学工程,2007,26(3):237-240.

(上接第18页)

测量属性中,只有一部分可反映被测对象的疲劳特性,因此,文中提出的眼动仪属性约简方法,能有效提取反映飞行员驾驶疲劳的主要属性,为基于眼动仪的飞行员疲劳判定提供了有效方法。

参考文献:

[1] National Aeronautics and Space Administration. Pilot workload and fatigue;a critical survey of concepts and assessment techniques[R]. Washington:NASA,1976.

[2] 刘俊杰,靳珊珊,高扬. 飞行疲劳风险综合评价量化研究[J]. 中国安全科学学报,2011,21(7):85-90.

[3] 宋健,苗丹民. 脑力疲劳客观评定方法研究进展[J]. 中华航空航天医学杂志,2006,17(1):74-76.

[4] Wang Lei, Sun Ruishan. Study of fatigue measurement based on eye tracking technique[C]//Proc of ICTIS. [s.l.]:[s.n.],2011:1723-1729.

[5] 汪莹. 基于眼动跟踪技术的起飞阶段视觉注视点动态研究[D]. 天津:中国民航大学,2013.

[6] Graw P, Krauchi K, Knoblach V, et al. Circadian and wake-dependent modulation of fastest and slowest reaction times

during the psychomotor or vigilance task[J]. Physiology & Behavior,2004,80(5):695-701.

[7] 沈永增,胡立芳,冯继妙. 多源信息融合在驾驶疲劳检测中的应用[J]. 计算机应用与软件,2012,29(2):272-274.

[8] 赵敏,罗可,廖喜讯. 基于免疫遗传算法的粗糙集属性约简算法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(23):171-173.

[9] Wierwille W. Research on vehicle-based driver status/performance monitoring; development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness[R]. Washington DC:NHTSA,1994.

[10] 刘海燕. 基于信息论的特征选择算法研究[D]. 上海:复旦大学,2012.

[11] Pawlak Z. Rough sets-theoretical aspects of reasoning about data[M]. Dordrecht:Kluwer Academic Publishers,1991.

[12] 苗夺谦,胡桂容. 知识约简的一种启发式算法[J]. 计算机研究与发展,1999,36(6):681-684.


[13] 袁红玉,樊玮,马婕. 基于二元信道互信息的属性约简方法及其应用[J]. 航空计算技术,2008,38(6):54-57.

[14] 付川云. 疲劳状态下驾驶人生理及眼动特征研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.

基于眼动仪的飞行员疲劳判定相关属性研究

作者：[樊玮](#)，[鲁胜华](#)，[FAN Wei](#)，[LU Sheng-hua](#)

作者单位：[中国民航大学 计算机科学与技术学院, 天津, 300300](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(6)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201406004.aspx