

粗糙集二进制布谷鸟算法在情感识别中的应用

金 纯^{1,2}, 陈光勇¹

(1 重庆邮电大学 无线移动通信理论与技术重点实验室, 重庆 400065;

2 重庆金瓯科技发展有限公司, 重庆 400041)

摘 要: 为了提高情感识别过程中选择最优情感特征子集的能力, 提出了一种粗糙集二进制布谷鸟算法. 首先分别提取皮肤电、呼吸、肌电、脑电四种生理信号的原始特征; 然后使用粗糙集二进制布谷鸟算法进行特征的优化选择, 并使用支持向量机进行情感分类. 仿真分析表明: 提出的算法较好地优化了特征选择过程, 可以通过较少特征获得较高的识别率, 也说明了多模态生理信号的情感识别效果要优于单模态生理信号.

关键词: 情感识别; 特征选择; 多生理信号; 二进制布谷鸟算法; 粗糙集

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)03-0037-05

Application of Binary Cuckoo Algorithm Based on Rough Set in Emotion Recognition

JIN Chun^{1,2}, CHEN Guang-yong¹

(1 Key Lab of wireless mobile communication theory and technology,

Chongqing University of Post and Communications, Chongqing 400065, China;

2 Chongqing Jin'ou Technology Development Co., Ltd., Chongqing 400041, China)

Abstract: In order to improve the ability of selecting the best subset of emotion features in emotion recognition, a rough set binary cuckoo algorithm is proposed. The original features of four physiological signals which are galvanic skin reaction, respiratory, electromyography, electroencephalogram are extracted; then, the rough set binary cuckoo algorithm is used to optimize the feature selection, and the support vector machine is used to classify the emotions. Simulation results show that the proposed algorithm can optimize the feature selection process and achieve higher recognition rate with fewer features. It also shows that the emotion recognition effect of multimodal physiological signals is better than that of single modality physiological signal.

Key words: emotion recognition; feature selection; multimodal physiological signal; binary cuckoo search; rough sets

1 引言

人工智能技术日益发展, 情感识别成为智能人机交互不可或缺的技术. 使计算机能够识别出用户情感状态是情感识别需要达到的主要目的^[1]. 近年来, 已有许多学者采用表情信号、语音信号来进行情感识别相关的研究. 美国 MIT 媒体实验室的 Picard 教授首先使用生理信号来进行情感识别的研究^[2],

不同的特征被提取出来并被用于情感识别, 相关的研究证明了使用生理信号识别情感的可行性. 选择最优特征子集是情感识别中的重要环节, 传统的特征选择方法如前向序列选择, 双向搜索, 序列浮动选择等算法的计算速度和识别效果都不理想. 近年来许多研究人员提出了基于智能优化算法的特征选择算法, 文献[3]提出了蚁群优化算法, 文献[4]提出了遗传优化算法, 文献[5]提出了粗糙集粒子群优化算

法. 这些工作都在一定程度上促进了情感特征选择的研究. 但这些方法同样存在早熟收敛、计算耗时和空间复杂度高的问题. 本文提出粗糙集二进制布谷鸟算法进行情感特征选择, 获得最优特征组合, 并使用支持向量机进行情感分类.

2 相关理论

2.1 粗糙集

粗糙集 (Rough Set, RS) 理论是由波兰数学家 Pawlak 提出的. RS 在消除冗余信息和处理不精确知识的表示和归纳等问题上具有一定的优势. RS 通过知识约简可以很容易地得到问题的分类规则与决策规则^[6], 其具有很强的定性分析能力, 不需要预先给定具体的特征或属性的数量描述, 而是能够直接从具体问题的描述出发, 找出数据间的内在规律, 是处理不确定性问题的有力数学工具.

为描述粗糙集, 定义如下几个概念:

设 $S = (U, A, V, F)$ 为一个信息系统, 其中 U 为非空对象集合, 也称论域; A 为属性的集合; V 为属性的值域; F 是 $U \times A \rightarrow V$ 的映射.

定义 1 设 R 是 U 上的等价关系, 记为:

$$\text{IND}(R) = \{(x, y) \in U \times U \mid \forall a \in A, f(x, a) = f(y, a)\} \quad (1)$$

$U/\text{IND}(R)$ 称为 U 的划分, 其中的任意元素称为等价类.

定义 2 为了描述知识间的近似程度, 粗糙集理论给出了两个精确集的定义, 即下近似集和上近似集:

$$\underline{R}(X) = \{x \in U \mid \text{IND}(R) \subseteq X\} \quad (2)$$

$$\overline{R}(X) = \{x \in U \mid \text{IND}(R) \cap X \neq \emptyset\} \quad (3)$$

式中, 下近似集 $\underline{R}(X)$ 又称为 X 的 R 正域. 当 $\underline{R}(X) = \overline{R}(X)$ 时, X 是 R 精确集; 当 $\underline{R}(X) \neq \overline{R}(X)$ 时, X 是 R 粗糙集.

定义 3 若 $A = C \cup D, C \cup D \neq \emptyset$, 称 C 为条件属性集, D 为决策属性集, 则正域可以被定义为:

$$\text{POS}_C(D) = \bigcup \underline{R}(X), X \in U/\text{IND}(D) \quad (4)$$

定义 4 C 为条件属性集, D 为决策属性集, 则信息系统的近似度 $\gamma_C(D)$ 可以表示为:

$$\gamma_C(D) = |\text{POS}_C(D)| / |U| \quad (5)$$

式中, $|U|$ 和 $|\text{POS}_C(D)|$ 分别表示各自所含元素的个数.

2.2 布谷鸟算法

布谷鸟算法 (Cuckoo Search, CS) 是由剑桥学者 Xin-She Yang 和 Suash Deb^[7] 于 2009 年提出的一种基于群体智能的新型启发式算法. 布谷鸟采用寄生育雏的方式繁殖后代, 它们将自己的蛋存放到其他鸟类的巢里, 让其他鸟类为其孵化下一代. 当其他鸟类发现巢穴中有外来的蛋, 则会将外来的蛋丢弃或者放弃自己的巢而在其他地方构建新的巢.

布谷鸟搜索算法由其繁殖策略抽象而来, 同时引入了 Lévy 飞行的搜索机制. 为了模拟布谷鸟寻巢的方式, 设定以下 3 条理想化规则:

规则 1 每只布谷鸟每次只产一个蛋, 并随机选择一个鸟巢对其进行孵化.

规则 2 具有最高质量布谷鸟蛋的鸟巢被保留到下一代.

规则 3 鸟巢种群数量是固定的, 并且布谷鸟蛋被原宿主发现的概率为 $p_a \in [0, 1]$.

在 CS 算法中, 鸟巢对应问题的解, 算法每次迭代时都在当前解的基础上以 Lévy 飞行方式产生新的解, 评价并保留较好的解; 然后按被发现概率 p_a 丢弃部分劣解, 并按偏好随机游动方式重新生成与丢弃劣解相同数量的新解, 再次评价并保留较好的解. 在处理一维问题时, 可以认为每个宿主鸟巢中只有一枚布谷鸟蛋; 处理多维问题时, 认为每个宿主鸟巢中有多枚布谷鸟蛋.

根据以上原理可知布谷鸟寻巢的位置更新公式如下:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \alpha \oplus \text{Lévy}(\lambda) \quad (6)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

式中, $x_i(t+1)$ 表示第 i 个鸟巢在第 $t+1$ 代时的位置; α 表示步长控制量, 为一个常数; $\oplus$ 为点对点乘法; $\text{Lévy}(\lambda)$ 表示搜索路径, 其随机步长服从 Lévy 分布:

$$\text{Lévy}(\lambda) \sim \mu = t^{-\lambda} (1 < \lambda \leq 3) \quad (7)$$

随机步长通常采用如下方式计算:

$$\text{Lévy}(\lambda) \sim \frac{\varphi u}{|v|^{1/\lambda}} \quad (8)$$

式中, u 和 v 均服从正态分布且 φ 计算方式如下:

$$\varphi = \left\{ \frac{\Gamma(1+\lambda) \sin(\pi\lambda/2)}{\Gamma[(1+\lambda)/2] \lambda 2^{(\lambda-1)/2}} \right\}^{1/\lambda} \quad (9)$$

在式(6)中, 为了能够更好地控制随机搜索的范围, 文献[8] 采用如下公式计算 α :

$$\alpha = \alpha_0 (x_i(t) - x_{\text{best}}) \quad (10)$$

式中, α_0 表示常数, x_{best} 表示当迭代中的最优鸟巢

位置.

综合上述分析,CS 算法采用以下公式生成新的解 x_i :

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \alpha_0 \frac{qu}{|v|^{1/\beta}} (x_i(t) - x_{\text{best}}) \quad (11)$$

在按照发现概率 P_a 丢弃部分劣解后,采用偏好随机游动重新生成相同数量的新解:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \gamma(x_p(t) - x_q(t)) \quad (12)$$

式中, γ 为缩放因子,是 $(0,1)$ 之间均匀分布的随机数; $x_p(t)$ 和 $x_q(t)$ 表示第 t 代中随机选择的两个不同解.

3 RSBCE 情感特征选择算法

在标准的 CS 算法中,每次迭代解更新的位置是解空间中的连续值,多用于求解连续解空间的优化问题.为了使算法能处理搜索空间是离散值的情况,Rodrigues 等^[9]人提出了二进制布谷鸟算法(Binary Cuckoo Algorithm, BCS),BCS 是布谷鸟算法的二进制版本.在 BCS 中将每一个鸟巢编码为一个二进制值向量,每一个鸟巢表示一个候选解,每一个布谷鸟蛋表示一个特征,向量中数值 1 表示特征被选择,0 表示特征没有被选择.使用如下公式将鸟巢每个维度的值映射为二进制值:

$$s(x_i^j(t)) = \frac{1}{1 + e^{-x_i^j(t)}} \quad (13)$$

$$x_i^j(t+1) = \begin{cases} 1 & s(x_i^j(t)) > \sigma \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

式中,函数 s 为一个映射函数,可将 $x_i^j(t)$ 映射到 $[0,1]$; $i = 1,2,\dots,m$ (m 为布谷鸟种群数); $j = 1,2,\dots,d$ (d 为编码长度); σ 为在 $[0,1]$ 区间均匀分布的随机数; $x_i^j(t+1)$ 表示 $t+1$ 次迭代中第 i 个鸟巢的第 j 维的数值.

CS 算法的主要缺点在于计算适应度函数需要花费较长的时间,所以其收敛速度较慢.本文采用二进制布谷鸟算法,并将粗糙集理论引入二进制布谷鸟算法中,对多模态生理信号情感特征进行选择.在评价特征子集时,使用基于粗糙集依赖度(Rough Set Theory Dependency Degree, RSTDD)的适应度函数,这样在获得最优特征子集时算法能以更快的速度收敛,使得得到的特征子集具有最小的特征数目同时得到最优的分类效果.适应度函数的计算方式如下:

$$F(R) = \eta \times \gamma_C(D) + \zeta \times (1 - \frac{|R|}{|C|}) \quad (15)$$

$\gamma_C(D)$ 由式(5)定义, R 代表选择出的特征子集, $|R|$ 表示选出的特征子集的特征个数; C 表示总的特征集合, $|C|$ 表示总的特征个数.

算法的基本流程如下:

Step1: 系统初始化,产生 m 个鸟巢,设置鸟巢被丢弃的临界值 P_a ,初始迭代次数 $t = 0$,最大迭代次数 T ,并将每个鸟巢 n_i ($\forall i = 1,2,\dots,m$) 的每个维度 j ($\forall j = 1,2,\dots,d$) 中的变量 $x_i^j(0)$ 随机初始化为 0 或 1.

Step2: 基于 Lévy 飞行随机游动式(11)更新鸟巢位置,并将鸟巢位置信息映射为 0 或 1,使用式(5)计算每个鸟巢相应的 RSTDD.

Step3: 根据 RSTDD 的值由式(15)进一步计算每个鸟巢的适应度值,并将适应度值按从高到底的顺序排序.

Step4: 保存适应度值最大鸟巢为全局最优解.

Step5: 比较每个鸟巢被丢弃的概率和设定的临界值 p_a 的大小.若 $r < p_a$ 则保持鸟巢位置不变;若 $r > p_a$,则丢弃鸟巢,同时基于 Lévy 飞行偏好游动产生相同数目的鸟巢,并由公式(13)和(14)将鸟巢位置信息映射为 0 或 1.

Step6: 对更新后的鸟巢重新计算 RSTDD 和适应度的值,将此时的最优鸟巢与全局最优鸟巢比较,得到此时的较好的解,保存为全局最优解.

Step7: 判断是否满足停止条件,如果不满足则返回继续执行 Step2; 如果满足条件则结束运算.

算法流程图如图 1 所示.

4 情感信号的实验结果与分析

本文使用 Queen Mary University of London 和 University of Twente 等几所大学联合采集并公布的“DEAP”生理情感数据库^[10]中的数据来测试情感识别算法的效果.研究人员采集了 32 名志愿者(19~37 周岁,平均年龄 26.9,男、女各 50%)不同情感状态下的多种生理信号.每名志愿者在观看相应材料后分别在效价、唤醒度、优势度等多个维度上的进行评分,自评分是范围为 1~9 的整数.这些记录形成了生理情感数据库“DEAP”.本文将基于“DEAP”数据库中的生理数据进行情感状态的识别,使用的生理信号为脑电(EEG)、皮肤电(GSR)、肌电(EMG)、呼吸(RSP)四种模态的信号.

著名心理学家 Ekman 提出了离散的情感模型,将人的基本情感分为六种,即愤怒、厌恶、恐惧、高兴、悲伤和惊讶.后来又有学者提出了连续情感模

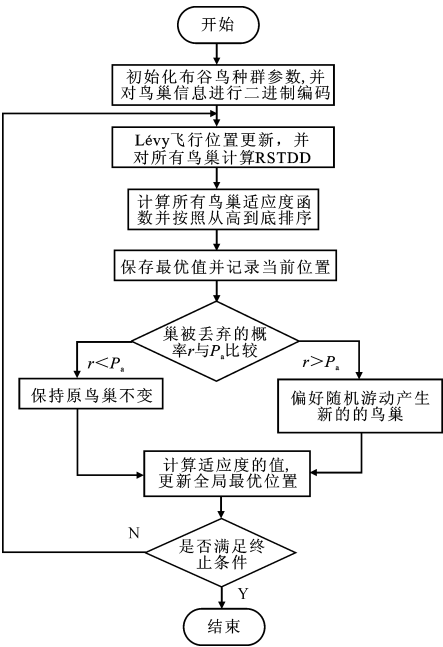


图1 RSBCS 算法流程图

型,其中最常用的是 Russell 提出的效价-唤醒度 (valence-arousal)情感模型^[11],该模型使用唤醒度 (情感是主动的还是被动的)和效价 (情感是正面的还是负面的)两个维度来衡量情感状态,有很强的描述情感的能力. 本文使用心理学上较为常用的效价-唤醒度情感模型对情感状态进行分析,在效价和唤醒度两个维度上分别将情感分为两个类别,形成的情感类型为高唤醒度高效价(HAHV),低唤醒度高效价(LAHV),低唤醒度低效价(LALV),高唤醒度低效价(HALV). 本文中自评分与情感类别的关系如表 1 所示.

表 1 自评分与情感类别的关系

	效价		唤醒度	
	高	低	高	低
自评分(S_R)	$S_R \geq 5$	$S_R < 5$	$S_R \geq 5$	$S_R < 5$

本文分别对 4 种模态的信号进行多个维度的分析. 分别计算每种生理信号的时域、频域、样本熵等特征作为原始特征来描述生理信号. 时域特征有平均值、中值、方差、一阶差分、二阶差分、最小值、最大值、最小值比率、最大值比率等. 频域特征包括信号的频率、功率谱等. 从皮肤电信号中提取的特征数为 24 个,呼吸信号中提取的特征数为 33 个,肌电信号中提取的特征数为 28 个,脑电信号中提取的特征数为 72 个,四种生理信号一共提取了 157 个特征.

实验中采用支持向量机 (Support Vector Machines, SVM)作为分类器来对情感类型进行分类,

SVM 的惩罚系数和核参数由网格搜索确定. 本文所提算法与遗传算法 (genetic algorithm, GA)和粗糙集粒子群算法 (Rough set particle swarm optimization, RSPSO)分别做了分析,实验结果如表 2 至表 4 所示.

表 2 GA 识别 4 种情感状态

生理信号	原始特征数	选择特征数	识别率/%		
			最高	最低	平均
GSR	24	6	49	44	45.3
RSP	33	10	70	63	65.8
EMG	28	8	71	66	69.2
EEG	72	16	63	59	62.3
ALL	157	23	78	70	73.7

表 3 RSPSO 识别 4 种情感状态

生理信号	原始特征数	选择特征数	识别率/%		
			最高	最低	平均
GSR	24	5	51	44	46.5
RSP	33	5	69	61	66.7
EMG	28	6	71	60	70.6
EEG	72	10	66	60	64.5
ALL	157	19	77	73	75.2

表 4 RSBCS 识别 4 种情感

生理信号	原始特征数	选择特征数	识别率/%		
			最高	最低	平均
GSR	24	3	53	43	46.9
RSP	33	3	72	60	68.3
EMG	28	6	76	59	73.9
EEG	72	3	67	62	65.8
ALL	157	13	88	71	86.3

对比上述三表可知,使用单一生理信号识别 4 种情感的时候,要获得较高的识别率是比较困难的. 这也说明用单一的生理信号将不同的情感状态区分开有较大的难度. 而综合使用 4 种生理信号来识别 4 种情感其效果明显好于使用单一生理信号类型, RSBCS 得到的最优子集维数为 13. RSPSO 算法获得的识别准确率比 GA 好一些,但差别不是很大. 无论使用单一生理信号还是综合使用 4 种信号, RSBCS 算法的平均识别准确率均高于 GA 和 RSPSO, 并且 RSBCS 算法的获得的最优特征子集中的特征个数少于前两种算法,这说明 TRSCS 能较好地获取到各种生理信号中的情感特征,并且取得了较好的特征降维效果.

5 结束语

本文使用参数较少、容易实现的二进制布谷鸟算法,并进一步引入粗糙集理论,有效降低了计算复杂度,缩短了运算时间.同时使用 SVM 分类器对情感状态进行分类.实验结果表明提出的算法有着较好的特征降维效果,并且获取了较好的识别效果.

参考文献:

- [1] Alzoubi O, Sidney K D, Calvo R A. Detecting naturalistic expressions of nonbasic affect using physiological signals[J]. *Affective Computing IEEE Transactions on*, 2012, 3(3):298-310.
- [2] Picard R W, Vyzas E, Healey J. Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2001, 23(10):1175 - 1191.
- [3] Cheng Z, Tao H, Zhang X, et al. A novel speech emotion recognition algorithm based on combination of emotion data field and ant colony search strategy[J]. *东南大学学报(英文版)*, 2016,32(2):158-163.
- [4] Yusuf R, Tanev I, Shimohara K. Application of genetic programming and genetic algorithm in evolving emotion recognition module[C]// *Evolutionary Computation. Sendai, Japan, IEEE*, 2015:1444-1449.
- [5] Wang X, Yang J, Teng X, et al. Feature selection based on rough sets and particle swarm optimization [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, 28 (4):

459-471.

- [6] Pawlak Z. Rough sets[J]. *International Journal of Parallel Programming*, 1982, 38(5):88-95.
- [7] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via lévy flights[C]// *Nature & Biologically Inspired Computing, NaBIC 2009. Springer Verlag, Germany, World Congress on*, 2009:210-214.
- [8] Yang X S, Deb S. Engineering optimisation by cuckoo search[J]. *International Journal of Mathematical Modelling & Numerical Optimisation*, 2010, 1 (4): 330-343.
- [9] Rodrigues D, Pereira L A M, Almeida T N S, et al. BCS: a binary cuckoo search algorithm for feature selection[C]// *IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Beijing, IEEE*, 2013:465-468.
- [10] Koelstra S, Muhl C, Soleymani M, et al. DEAP: a database for emotion analysis ;using physiological signals[J]. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2012, 3(1):18-31.
- [11] Schröder M. A circumplex model of affect[J]. *Personality and Social Psychology*, 1980(39):1161-1178.

作者简介:

金 纯 男, (1966-), 博士, 教授. 研究方向为物联网、大数据.

陈光勇(通讯作者) 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为情感计算、机器学习. E-mail:1310977160@qq.com

(上接第 36 页)

- [5] Sethi R, Sreedevi I, Verma O P, et al. An optimal underwater image enhancement based on fuzzy gray world algorithm and Bacterial Foraging algorithm[C]// *2015 Fifth National Conference on Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG). Patna, 2015: 1-4.*
- [6] Banic N, Loncaric S. Improving the white patch method by subsampling[C] // *Image Processing (ICIP), 2014 IEEE International Conference on. Paris, IEEE*, 2014: 605 - 609.
- [7] Seonhee Park, Byeongho Moon, Seungyong Ko, et al. Low-light image enhancement using variational optimization-based Retinex model[C]// *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, 2017: 70-71.*
- [8] Azimi M, Bronner T F, Boitard R, et al. A hybrid approach for efficient color gamut mapping[C]// *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Las Vegas, NV, 2017: 254-255.*

- [9] Sikudová E. A gamut-mapping framework for color-accurate reproduction of HDR images[J]. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2016, 36(4): 78-90.
- [10] Fröhlich J, Schilling A, Eberhardt B. Gamut mapping for digital cinema[J]. *SMPTE Motion Imaging Journal*, 2014,123(8):41-48.
- [11] Fourure D, Emonet R, Fromont E, et al. Mixed pooling neural networks for color constancy[C]// *2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). Phoenix, AZ, 2016:3997-4001.*
- [12] West G, Brill M H. Necessary and sufficient conditions for Von Kries chromatic adaptation to give color constancy[J]. *Journal of Mathematical Biology*, 1982, 15(2):249-258.

作者简介:

陈光化 男, (1972-), 副研究员. 研究方向为视频信号处理和嵌入式系统设计.

张 犁(通讯作者) 男, (1991-), 硕士研究生. 研究方向为数字集成电路设计. E-mail:lizy21@126.com.