心臓循環器系生体信号による2次元モデルを用いた心的状態認識

○野中悠葵, 宮本博幸(千葉工業大学)

Mental state recognition using two-dimensional model by cardiovascular physiological signals

○ Yuhki Nonaka, Hiroyuki Miyamoto(Chiba Institute of Technology)

1 はじめに

家電から個電の時代と言われる昨今, 将来的には人間の心的状態に応じインタラク션을決定する Intelligent system が現れると考えられる. その流れの中, 音声や表情から感情的意味を見出す研究, および脳波, 血圧, 心拍等の生体信号から心的状態を認識する研究が多く行われている. 生体信号はユーザの心的状態変化に敏感に反応し, 他の指標と比べコントロール困難である. また, 生体反応は脳の神経支配下であり, 心理学的興味は心臓活動に現れ, 心臓活動の変化が, 脳中枢の状態変化を促す可能性がある. したがって心臓循環器系生体信号を評価することで心的状態の推察が可能になると考えられる. 本研究では, 音楽を感情誘発媒体とし, ECG(心電図), PPG(脈波)の2種の心臓循環器系生体信号を用いた心的状態認識のための特徴量抽出手法を提案する.

2 実験概要

被験者に安堵, 恐怖, 悲しみ, 喜びを誘発する音楽を聴いてもらい, ECG, PPG を解析, 特徴を抽出する. 実験後, 楽曲に対する主観評価を行う.

測定にはMP100 基本システム, ECG アンプ, PPG アンプ(BIOPAC 社)を, 解析には Acqknowledge 3.9 Mac OS X 10.3(BIOPAC 社)を使用した. 被験者は健康な20代大学生男女11名. 対象感情は Russel の two-dimension model より, 対極感情である恐怖-安堵, 悲しみ-喜びとする. また, 同モデルを解析の参考とする. 使用した楽曲は, 安堵:G 線上のアリア(J.S. バッハ), 恐怖:Overture Act One(オペラ座の怪人), 悲しみ:弦楽とオルガンのためのアダージョ 短調(アルビノーニ), 喜び:協奏曲「四季」第1番 ホ長調, RV.269「春」第1楽章:アングロ(ヴィヴァルディ)とし, 実験中は閉眼し音楽に集中してもらった.

データ解析の処理として, 高周波領域のアーティファクト除去のため, 2次 Butterworth 特性のカットオフ周波数 3Hz IIR LPF を施す. 余剰時間を削除したのち 0.01sec 精度, 当てはめ次数 10 の最小 2 乗法を施す. 後述する特徴変数を抽出し, 標準化を行う. 解析した結果を整理するため, 感情の正負を示す Valence 系 (Negative to Positive), 感情の興奮度

を示す Arousal 系 (Relax to Excite), 感情の生起速度を示す Change 系 (Slow to Fast) の 3 系列を定義する. 特徴変数は HR, IBI, PTT の 3 つの生理パラメータから数学的特徴を抽出する. 各特徴変数は ANOVA(CR デザイン)-Ryan により有効性を評価する. 特徴変数は以下の 4 変数とする.

- $D_a = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_{k+1} - y_k)$: 1sec の変化量平均
- $A_c = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{y_k - \Delta y_k}{x_k - \Delta x_k}$: 平均加速度
極点の影響を避けるため, 前後 15% カット
- $T_r = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N r_k$: 平均ピーク時間間隔
- $SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2}$: 標準偏差

3 解析結果

恐怖-安堵, 悲しみ-喜びの 4 感情は主観評価より, 図 1 に示す Valence, Arousal の 2 系列 4 状態に分類される.

図 1: 感情の 2 次元モデル

本研究で取り扱う 4 感情は 4 状態に区別され, 安堵-恐怖では Arousal 系, 悲しみ-喜びでは Valence 系の差が顕著であり, 安堵, 悲しみ, 喜び, 恐怖はそれぞれ, Relax, Negative, Positive, Excite に対応するといえる.

特徴の一例として HR の主成分分析結果を図 2 に示す。各特徴変数は 5%水準で有意である。

図 2: HR 主成分分析結果

第 1 主成分: $-0.707 \times Ac + 0.707 \times Tr$
第 2 主成分: $0.707 \times Ac + 0.707 \times Tr$

Ac は SNS が亢進すると増加し, PNS が亢進すると減少する。Tr は slow type な刺激のとき増加し, fast type の刺激のとき減少することが実験より明らかになった。したがって第 1 主成分は心的状態が slow type ほどプラス傾向にある。第 2 主成分は Ac と Tr の比例関係を示すが, グラフから比例関係は読み取れないため, 特に意味を設けない。

Ac は 4 感情間において 5%水準で有意であり, 標準値の平均値は, Negative < Relax < 0 < Positive < Excite となる。つまり, Ac は精神興奮時に増加し, 精神安静時に減少する。これは HR の生理特性一般とも一致する。増減の指標に ave でなく ac を用いるのは R.W.Picard に基づく [1]。Ac は明確な特徴を示す反面, Relax, Positive の 2 感情間の誤判別率も大きい。つまり Ac は Valence, Arousal 系の指標とするのは難しいが, Change 系列の指標となると推察できる。

Tr も同様に 5%水準で有意であり, 標準値の平均値は Excite < Positive < 0 < Relax < Negative となる。したがって, Tr は精神興奮時に減少し, 精神安定時に増加する。Tr は全体を通じて誤判別率が 22.3%と低く, 各特徴を明確に示している。つまり各生理パラメータの変動傾向には特徴的な意味があるといえる。

表 1 にマハラノビス汎距離による判別分析結果を示す。2 変数による 4 感情の正判別率は 72.7%で, これは 4 感情を十分に判別しているといえる。

表 1: HR 判別分析結果

実群	判別群				
	Rel	Neg	Pos	Exc	合計
Rel	7[63.6]	1[9.1]	3[27.3]	0[0.0]	11[100]
Neg	1[9.1]	9[81.8]	1[9.1]	0[0.0]	11[100]
Pos	0[0.0]	1[9.1]	8[72.7]	2[18.2]	11[100]
Exc	0[0.0]	0[0.0]	3[27.3]	8[72.7]	11[100]

[] 内は% 正判別率 = 72.7%

IBI, PTT における各特徴変数の標準値の平均値の関係を表 2 に示す。

表 2: 標準値と心的状態の関係

パラメータ	標準値の関係
IBI-Da	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe
IBI-Ac	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe
IBI-Tr	Exe < Pos < 0 < Neg < Rel
IBI-SD	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe
PTT-Da	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe
PTT-Ac	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe
PTT-Tr	Exe < Pos < 0 < Rel < Neg
PTT-SD	Neg < Rel < 0 < Pos < Exe

各特徴は 5%水準で有意であり, IBI は 4 変数で 84.1%, PTT は 4 変数で 68.2%で 4 感情を判別分析することが可能であった。

4 まとめ

本研究では心的状態変化時における心臓循環器系生体信号の特徴量を抽出し, 解析することで, 感情との関わりを示した。4 つの心的状態の中で Excite, Negative は全ての特徴変数を通じて顕著な特徴を示した。感情を Negative – Positive の Valence 系, Relax – Excite の Arousal 系を軸とした 4 感情 2 系列の 2 次元モデルに限定することにより, 少ないパラメータで心的状態認識を可能とした。

しかし, Excite と Positive, Relax と Negative を識別する特徴は本研究で取り扱った生理パラメータには存在しなかった。この問題についてはさらなる研究が必要である。

参考文献

- [1] Rosalind.W.Picard : Affective Computing, The MIT Press, 1997.
- [2] 人間計測ハンドブック : 産業技術総合研究所人間福祉医学研究部門 編, 朝倉書店, 2003.