

照度変動に対する無意識下での表出行動検出

北村 謙典^{†1} 武村 紀子^{†1}
岩井 儀雄^{†2} 佐藤 宏介^{†1}

本研究では、ユーザの無意識的な表出表情から光環境に対するユーザの快適度を推定、もって快適環境の構築を自律的に行うシステムを提案する。本論文では、まず、51名の被験者に対して様々な照度変化を与え、制御トリガーとして利用できる「不快時の無意識的な表出表情」を抽出した。また同時に、それらが半数以上の被験者に観測されること、及び目領域周辺における変化が74%を占めることを明らかにした。次いで、オムロン社製顔画像センシング技術 OKAO Vision から得られる顔器官特徴点をもとに、サポートベクターマシン (SVM) を用いてそれらの識別を試みた。結果として、表出実験に基づく特徴量を用いることで、高い識別率での識別を達成した。

Detection of the Unconscious Reaction to Illuminance Change

KENSUKE KITAMURA,^{†1} NORIKO TAKEMURA,^{†1}
YOSHIO IWAI^{†2} and KOSUKE SATO^{†1}

We propose a system which automatically constructs a comfortable space at home in the point of view of light environment by inferencing user needs from their observed facial expressions. In this paper, we show the experimental results that observe expressive reactions when the visual environment changes and extract its features accurately using OKAO Vision and Support Vector Machine (SVM).

^{†1} 大阪大学
Osaka University

^{†2} 鳥取大学
Tottori University

1. はじめに

近年、Ambient Intelligence (以下、AmI) の分野の研究が盛んに行われている。AmI とは、人工知能・ロボット・センサネットワーク・HCI 等多くの専門分野を包含する、知的環境の構築を目指す分野である¹⁾。このような AmI の分野においては、環境に埋め込まれたコンピュータが、人間 (以下、ユーザ) に柔軟かつ知的なサービスをアンビエントに提供すること、すなわち、ユーザの情報を自律的に解析し、ユーザの気分や状況に合致したサービスを提供することが求められている。本研究ではこのような観点を室内の光環境制御に適用し、光環境に対するユーザの快適度を推定、もってその要求に合致した快適環境を自律的に構築するシステムを提案する。ここでの快適度とは、ユーザが環境に対して、どの程度快適と感じているかという定量的な指標である。室内環境に着目する理由は以下の二つが挙げられる。まず、現在一般に用いられている快適環境構築のための制御機器 (リモコン等)、ひいては近年考案されている Kinect 等のセンサを用いた環境との新たなインタフェースは、いずれもユーザが明確な意図を持って操作することが前提にあり、特に体の不自由な人にとってその負担は小さくないということである。次に、室内の光環境は、ユーザの気分や状況により求められるレベルが異なるということである。従来、特に建築分野においては、外乱に対して物理的環境を均一に設定することで快適環境の構築を図ってきたが、この取り組みは三木²⁾ が指摘しているように、平均的な観点から最適といえても、個人ごとあるいはその時々ユーザの心理状態に関して最適とは言い難い。本研究ではこれら二つの問題に対し、上記で述べたシステムを構築することでその改善を図る。より具体的には、環境中のセンサ情報をもとに光環境に対するユーザの快適度を推定し、それをもって全ての人が快適と感じるよう照明環境を制御するシステムである。ここではそれらの情報を取得するにあたって、無拘束・無接触のセンサであるカメラを用い、心的表象を露にするとされるユーザの無意識的な表出行動 (表情・視線・身振り・姿勢等) に着目する³⁾。図 1 は、本研究で提案するシステムのイメージ図を示したものである。

ユーザの心理状態を自動認識しようとする取り組みは、感情コンピューティングの分野で主たる目的とされており⁴⁾、ユーザの行動や生理学的信号を用いた推定手法が数多く見られる⁵⁾。中でも顔の表情やその副次的な行動からは、ユーザの感情に関する有益な情報を得ることができる³⁾、それらをコンピュータで認識しようとする研究は、近年、盛んに行われている⁶⁾。例えば顔表情の定量的記述においては、Paul Ekman らの顔面動作記述法 (Facial Action Coding System: FACS)⁷⁾ が有名である。このシステムは、顔の筋肉の動

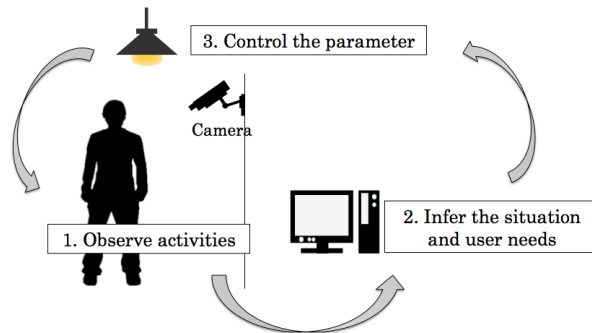


図1 提案システムのイメージ図
Fig. 1 System configuration.

きを44種の標準動作単位 (Action Unit: AU) に分割し、その組み合わせで任意の顔表情の定量的記述を可能にするものである。また Active Appearance Model (AAM) を用いる手法⁸⁾⁹⁾ や、オプティカルフローから顔の皮膚の動きを検出し認識する手法¹⁰⁾¹¹⁾、隠れマルコフモデルを用いる手法もよく用いられている。このように効果的な表情認識手法は数多く提案されており、本研究におけるユーザの情報を取得する手法として、その表情を用いることは有益だと考えられる。一方、その多くが故意に表出させた六つの基本的感情 (喜び・怒り・悲しみ・嫌悪・恐れ・驚き) を識別の対象としており、本研究で扱う無意識的な表情を扱う研究は多くはない。また様々な表情データセットも、大学や研究機関において一般に公開されているが、光環境に対する表出表情といった観点で扱われているものは十分でない。そこで本研究では、提案システムを実世界に適用することを踏まえ、未学習データに対して高い識別性能を誇るとされるサポートベクターマシーン (以下、SVM) を用いた識別を試みる。

1.1 本研究の課題

上述したように、本研究で扱う「光環境に対する無意識的な表出表情」はこれまでほとんど扱われておらず、システム構築に際しての課題は多い。本論文では、以下の二つの問題について述べる。

- (1) 光環境に対するユーザの表出表情はどのようなものか。
- (2) その表出表情をコンピュータでどのように認識するか。

なお、山田ら¹²⁾によれば、環境の「快適さ」には、体に刺激を感じない場合、心地よさ

表1 被験者
Table 1 Examinees.

age	20	30	40	50
male	19	5	3	4
female	14	3	2	1

を感じる場合の二通りが存在する。これを本研究で着目する光環境で例えるならば、グレアやちらつきを感じない、適切な照度で保たれている状態が前者である。一方、照度が低めに設定され、装飾的な要素を含んだ照明が後者である。一般に、多目的に利用される環境においては、多くの照明のシーンに対応できることが望ましく、前者は後者に優先され満足されるべきである。従って本研究では、主に前者を、すなわち体に刺激を感じない光環境を快適環境として扱うこととする。

2. 表出表情の抽出

本節では、快適でない環境のもとで、ユーザにどのような表出表情が観測されるかという問題について述べる。今回は、51名の被験者に対して様々な照度変化を与え、どのような表出表情が観測されるかを検証する実験 (以下、表出実験) を行った。実験の目的は、制御トリガーとして利用できる「不快時の無意識的な表出表情の把握」である。

2.1 実験手法

本実験では、タスクを指示した被験者に対して様々な照度変化を与え、その間の表出表情をカメラで記録する。本実験で行うタスクは、照度が変化する環境化下での「(ノートパソコン上での) 文章の黙読」、及び光に不快感を感じた際の「不快感の申告」である。なお、不快な状態として「暗い・明るい・眩しい・モニタが見えにくい・雰囲気好ましくない・嫌い」といった例を伝えておく。また実験中は他の被験者との会話は控えるよう指示する。今回は、各被験者に対して計3回の実験 (練習, EXP1, EXP2) を行った。それぞれの実験時間は、2分半, 19分, 11分である。以下に続く分析では、練習を除いたEXP1, EXP2を用いる。

被験者

被験者は表1に示す51名 (男性31名・女性20名) である。

実験環境

実験室として、大阪大学吹田キャンパス構内に建設された実験ルームを用いる。図2はその概観を、図3はその仕様を示したものである。また本実験ではパネル型天井照明4



図 2 実験室の概観
Fig.2 Experiment room.

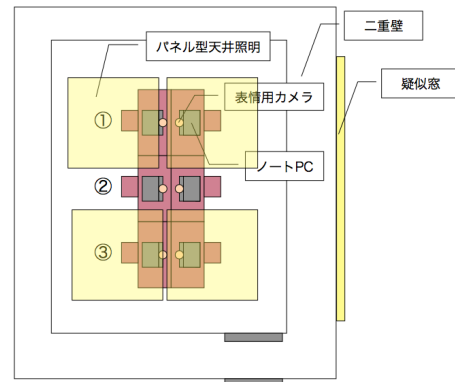


図 3 実験室の仕様
Fig.3 Room configuration.

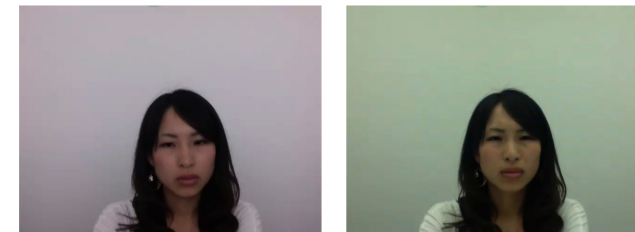
基に加え、疑似窓を環境光として考える。それらのパラメータ（照度・輝度・色温度）は、シリアル制御用 PC を経由することで遠隔制御することが可能である。また本実験では疑似窓と正対する 3 席（①～③）のみを使用する。

2.2 実験結果・考察

表出実験で得られたデータセットより、著者らの主観に基づく「不快時の無意識的な表出表情」を抽出する。図 4 はその一例を示したものである。またそれら表出表情の詳細は、図 5 に示す。ただしこの図においては、照度変化時に見られた表出行動（表情・視線・身振り・姿勢等）の全てを抽出した。これより、表出表情は全体の 95% を占めており、特に目領域周辺の変化が多いことがわかる。次いで、不快申告者及び不快表出者の割合、及び不快申告者に対する表出者の割合を、それぞれ図 6 に示す。これより、不快時には半数以上の被験者に何らかの表出表情が観測されたことがわかる。特に輝度の変化が最も高い提示条件では、86% の被験者に不快時の表出表情が確認された。以上より、比較的多くの被験者に共通化できる「不快時の無意識的な表出表情」が存在することが明らかとなった。次いで以下では、表出表情の認識、特に目領域周辺の変化の認識について検討する。

3. 表出表情の検出

本節では、前節で得られた表出表情をどのように認識するかという問題について述べる。今回は、一部の被験者を対象に「不快時の無意識的な表出表情」の識別精度を評価する実験



(a) 表出前 (b) 表出後

図 4 表出表情の例
Fig.4 Example of expressions.

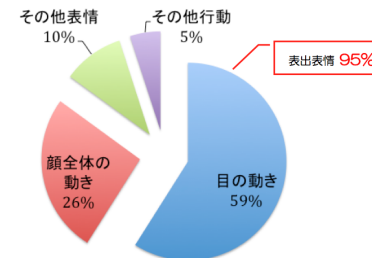


図 5 表出表情の詳細
Fig.5 Detail of expressions.

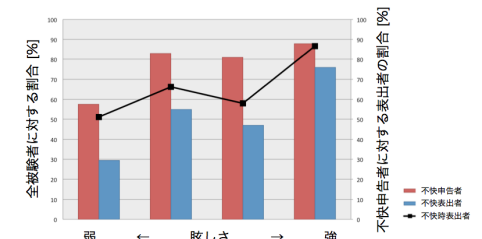


図 6 不快申告者及び不快表出者の割合
Fig.6 Rate of the declaration and expression.

（以下、識別実験）を行った。

3.1 実験手法

図 7 に処理の概要を示す。本実験ではまず、表出実験のデータセットから抽出された 1 枚のフレームに対し、顔器官特徴点の抽出を行い、正面顔画像に正規化する。その後識別に用いる特徴量を抽出し、SVM による 2 クラス（快-不快）の識別を行う。今回の識別実験で用いるデータセットは、上述の表出実験 EXP2 である。また学習データは事前に準備したものをを用いる。各々の詳細については、以下で説明する。

3.1.1 顔器官特徴点の抽出

識別実験では顔画像の処理として、オムロン株式会社製 OKAO Vision (Windows 版 OkaoG52 Ver4.7.5 R242) を用いる。これにより表出実験で得られたデータセットの各フレームに対して、顔器官特徴点 (174 次元) の情報を得ることができる。図 8 はその例を示

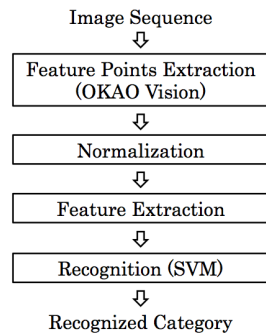


図 7 処理の概要
Fig. 7 Processing flow.

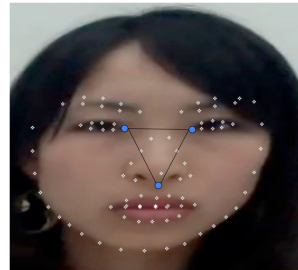


図 8 顔器官特徴点
Fig. 8 Feature point.

したものである。

3.1.2 特徴点位置の正規化

表出実験では顔の位置・向きが固定されていないため、顔器官の変位を得るためには、すべてのフレームにおいて正規化を行う必要がある。そこで特徴点の推定が比較的安定している両目元の2点、及び鼻の下1点の計3点(図8青点)を用いて、アフィン変換による正規化を行う。

3.1.3 特徴量抽出

表出実験の結果に基づき、顔特徴点位置から算出される特徴量を利用して、特徴ベクトルを構成する。

3.1.4 学習データのモデル化

今回学習データとして用いるデータセットは、上述の表出実験 EXP1 である。これらを申告の有無及び表出表情の有無により以下の2クラス A1 に分類し、SVM のための学習データを構築する。ただし、表出表情の有無はフレーム毎の目視により確かめる(以下、同様)。また「申告ありかつ表出表情あり」については、被験者が不快を感じてから申告するまでの期間(凡そ 100 フレーム)の表出表情も含めることとする。用いる学習データは各被験者凡そ 7,000 フレームである。

A1. 申告ありかつ表出表情あり / 申告ありかつ表出表情なし

本来であれば「申告あり(=不快である) / それ以外(=不快でない)」を識別すべきであるが、その識別は人の目でも困難であるため、今回は上記 A1 での識別を試みる。もっと

も、表出表情が顕著となるのは「申告あり」に変わる時刻の前後であり、これが識別できれば、制御トリガーとして十分に使用可能であると言える。

更に「申告ありかつ表出表情なし」とした表情と、通常の状態(以下「無表情」)を比較するため、以下の学習データ A2 も与えておく。ここで「無表情」とは実験開始前に記録した(=不快でない)、1800 フレームのデータセットを指す。

A2. 申告ありかつ表出表情あり / 無表情

また今回分析対象とする被験者は表出表情が顕著な3名(被験者 a,b,c)とし、以下の2つの学習データを構築する。

B1. 被験者毎に学習

B2. 2名のデータを統合して学習

3.1.5 実験設定

上述の学習データを用いて、SVM による「表出表情あり」の識別を試みる。本実験では、以下の学習データ(矢印前)及びテストデータ(矢印後)に対してそれぞれ識別精度を評価する。

- (1) A1, B1 (被験者 a) 被験者 a
- (2) A1, B1 (被験者 b) 被験者 b
- (3) A1, B1 (被験者 c) 被験者 c
- (4) A1, B2 (被験者 a, b) 被験者 c

また「申告ありかつ表出表情なし」とした表情と「無表情」とした表情を比較するため、以下の評価も同様に行う。

- (5) A1, B1 (被験者 a) 被験者 a
- (6) A1, B1 (被験者 b) 被験者 b
- (7) A1, B1 (被験者 c) 被験者 c
- (8) A2, B1 (被験者 a) 被験者 a
- (9) A2, B1 (被験者 b) 被験者 b
- (10) A2, B1 (被験者 c) 被験者 c

3.2 実験結果・考察

表 2~表 5 は、3.1.5 節で示した組み合わせによる識別結果を示したものである。ただし、図中の数字はフレーム数を、TP, FP, TN, FN はそれぞれ、true positive, false positive, true negative, false negative を意味する。続いて「申告ありかつ表出表情なし」とした表情と「無表情」とした表情を比較する。表 6 は、学習データとして A1 を用いた場合の「無

表 2 識別結果 (1)

		277		4039
173	[TP]	39	[FP]	134
4143	[FN]	238	[TN]	3905

表 4 識別結果 (3)

		22		612
585	[TP]	22	[FP]	563
49	[FN]	0	[TN]	49

表 6 識別結果 (5)~(7)

(5)	92.82%
(6)	66.00%
(7)	91.21%

表 3 識別結果 (2)

		807		747
866	[TP]	753	[FP]	113
688	[FN]	54	[TN]	634

表 5 識別結果 (4)

		22		612
612	[TP]	21	[FP]	591
22	[FN]	1	[TN]	21

表 7 識別結果 (8)~(10)

(8)	81.70%
(9)	84.07%
(10)	2.45%

表情」の識別精度 (TN) である。表 7 は、学習データとして A2 を用いた場合の「申告ありかつ表出表情なし」の識別精度 (TN) である。

ここで、(1) の FN の割合が高いこと、また (3)、(4) の TN の割合が高いことに注意する。前者の理由であるが、被験者 a については各「表出表情あり」のうち、前半のみが検出されていることが挙げられる。これに関しては、実験時における被験者 a の表出表情の有無及び検出結果の一部を示した図 9 を参照されたい。多くの被験者において、表出表情は急激に生じ、徐々に緩やかになるという傾向が見られる。そして被験者 a については、その表出表情の大きさの差が非常に大きい。そのため大きな表出表情のみに偏って学習・識別され、FN の割合が高くなったのではないかと考えられる。次いで後者の理由であるが、被験者 c については「表出表情あり」と「表出表情なし」の差が人の目でも曖昧であり、学習データが正しく構築されなかったために、「表出表情あり」に偏ってしまったのではないかと考えられる。また被験者 c については、(10) の結果より、「表出表情なし」とした表情と「無表情」とした表情に差が見られるため、今後その扱いに検討を要する。

4. 終わりに

本論文では、ユーザの無意識的な表出表情から光環境に対するユーザの快適度を推定し、

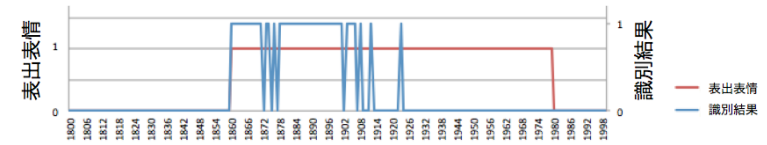


図 9 実験時の状況 (被験者 a)

Fig.9 Information during the experiment.

それをもって全ての人が快適と感じるよう照明環境を制御するシステムを提案した。それに際して本稿では、二つの実験を行った。まず、表出実験により、制御トリガーとして利用できる「不快時の無意識的な表出表情」が存在すること、またそれらが目領域周辺における変化であることを明らかにした。次いで、識別実験により、OKAO Vision を用いて顔器官特徴点を抽出し、SVM を用いた識別を行うことで、高い識別率を達成した。今後はより多くの被験者で識別精度を評価し、また表出表情のパターンに合わせた新たな学習データを構築する予定である。

謝辞 本研究の一部は、大和ハウス工業株式会社との共同研究による援助を受けた。

参考文献

- Hideyuki Nakashima, Hamid Aghajan, Juan Carlos Augusto: *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*, Springer (2010).
- Miki.M, Hiroyasu.T, Imazato.K: *Proposal for an intelligence lighting system, and verification of control method effectiveness*, Proc IEEE CIS, vol.1, pp.520-525 (2004).
- 黒川隆夫: *ノンバーバルインタフェース*, オーム社, (1994) .
- RW.Pical: *Affective Computing*, The MIT Press, MA, USA.
- Zeng.Z, Pantic.M, Roisman.GI and Huang.TS: *A survey of affect recognition methods : Audio, visual and spontaneous expressions*, In: Proceedings of the 9th International Conference on Multimodal Interfaces., ACM, NY, UDA, pp.126-133, (2007).
- 赤松茂: *コンピュータによる顔の認識の研究動向*, 電子情報通信学会誌, vol.80, no.3, pp.257-266, (1997).
- P.Ekman, W.Friesen: *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*, Consulting Psychologist Press, Palo Alto, (1998).
- T.F.Cootes, G.J.Edwards and C.J.Taylor: *Active appearance models*, Proc. of the 5th European Conference on Computer Vision, vol.2, pp.484-498, (1998).
- Iain Matthews and Simon Baker: *Active Appearance Models Revisited*, International

Journal of Computer Vision, vol.60, no.2, pp.135–164, (2004).

- 10) K.Mase: *Recognition of facial expression from optical flow*, Trans.IEICE, vol.E74, no.10, pp.3473–3483, (1991).
- 11) M.J.Black and Y.Yacoob: *Recognition facial expressions in image sequences using local parameterized models of image motion*, Int.J.Computer Vision, vol.25, no.1, pp.23–48, (1997).
- 12) 山田篤志, 伊藤嘉奈子: 温熱環境快適制御システム, 衛生工学シンポジウム論文集, vol.1, pp.299-302, (1993).