

ユーザインタフェースのためのアンビエントパターン計測技術

岩井大輔*・武村紀子*・佐藤宏介*

* 大阪大学 大学院基礎工学研究科, 大阪府豊中市待兼山町 1-3-D451
* Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Machikaneyama 1-3-D451 Toyonaka Osaka 560-8531, Japan
* E-mail: sato@sys.es.osaka-u.ac.jp

キーワード：アンビエントセンシング, パターン計測, ユーザインタフェース
JL 002/02/4202-0086 ©2002 SICE

1. はじめに

情報空間との入出力インタフェースを備えサイバー化された環境が、五感メディアを駆使して人々の活動を様々にサポートする社会を実現するため、我々の身の回りの環境にセンサをばら撒いて、そこで生活する人々の内外的状態・活動を把握するアンビエントパターン計測技術について概説する。アンビエントパターン計測の重要な特徴として、人の身体にセンサやコンピュータ等の機器を装着させないという点が挙げられる。これによって、人がコンピュータの存在を意識する必要のない、サイバー化環境へのユーザインタフェースを構築することができる。

アンビエントパターン計測を利用したサイバー化環境は、能動的なものと受動的なものに分類することができる。前者としては、身の回りの環境のあらゆる面をタッチパネル化する計測技術を導入することで、どこにいてもテレビやオーディオといった家電機器を人が操作する、という例が挙げられる。後者の例としては、家の中に設置されたカメラから撮影された画像をパターン解析して居住者の体感温度を推定し、エアコンを制御して快適な温度環境をサービスするようなシステムが考えられる。

このようなアンビエントパターン計測の概念については、ユビキタスコンピューティングやセンサネットワーク等の文脈において、古くから様々に提唱されてきており、近年は、その実用化に向けての技術的土台が急速に整いつつある。ハード面ではコンピュータおよび各種センサの高性能化・小型化・省電力化、ソフト面ではパターン認識技術の発展により、環境に埋め込まれた様々なタイプのセンサを複数同時に利用してリアルタイムに高度な計測を行うことが可能となってきた。

本稿では、我々の研究室が取り組んできた研究を中心として、アンビエントパターン計測技術およびそれによって実現されるユーザ支援システムについて、いくつかの実例を挙げて概説する。上記の文脈では、カメラ画像を元にしたパターン計測が一般的であるが、本稿では他種のセンサ群を用いた事例を含めることで、広がりを見せるアンビエントパターン計測技術の一端を紹介したい。

2. 自然な面へのタッチ

身の回りの環境の様々な面へのタッチ操作を計測する技術について紹介する。この技術によって、例えば、ユーザが屋内で自然な着座姿勢で机やアームレストの上に指先で接触して、屋内の様々な情報・電気機器（テレビ、エアコン、家庭用ロボット等）を操作することや、ウェブ等の情報を閲覧すること等が可能となる。情報の提示には、環境設置されたプロジェクタを用い、接触位置付近に操作のためのボタン・方向選択メニューやウェブブラウザ・画像等の画像コンテンツを投影表示することを想定している。

このような環境を実現するために、タッチパネルを環境中に貼り付けることも考えられるが、環境の外観を損ねてしまうことや、貼り付けられる面が平面でなければならないという制約から現実的な解ではない。タッチパネルを用いずに、部屋全体の面のような広域な対象へのユーザ指先の接触操作を検出する方法として、画像処理の技術を用いた研究例がいくつか報告されている。例えば、デプスカメラを用いて指先と対象面との距離をもとに接触を検出する手法や、対象面上に生じる指先の影形状の尖度によって接触を検出する手法などが提案されている。しかしながら、これらの技法では、指先が対象面に近接していることは検出できるものの、接触したかどうかを識別することは困難であった。そこで我々は、ユーザの接触を確実に検出する2種の技術を提案している。

2.1 爪色計測に基づく指先接触検出

物体に指先を接触させると爪の色模様変化が起こる性質（図1）を利用し、それをカメラで検出することで様々な対象面への接触検出が可能となる。我々は、カメラで撮影した爪画像を学習データベースとマッチングさせることで、指先

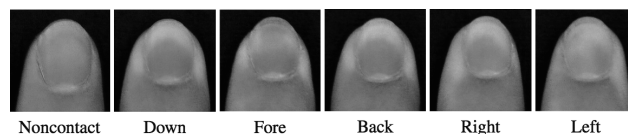


図1 指先接触および前後左右への押下方向に応じた爪色変化

接触だけでなく押下方向も推定する手法を提案している¹⁾。画像間のマッチングは高次元になりやすく計算処理に時間を要するため、主成分分析によりマッチングに用いる次元を低下させる EigenNail 法を適用する。これは、顔認識の分野で提案された固有顔の考え方を爪画像に適用したものである。爪画像の配色パターンを固有画像 (EigenNail) に主成分分析を用いて分解し、指先の接触検出および5方向 (鉛直下方向, 水平左方向, 水平右方向, 水平前方向, 水平後方向) の押下方向識別を実現した。実験の結果, 被験者毎に作成した学習データベースを用いる場合, 接触検出では 100 %, 押下方向識別では 86 % 以上の検出率・識別率であることが確認できた。さらに, プロジェクタ投影によって操作インタフェースを表示することを想定し, 投影映像の変化に左右されず処理を行うことのできる近赤外線画像を用いる技術の研究も進めている²⁾。

2.2 熱画像計測に基づく人体を含む高温物体の接触検出

物体に指先を接触させると, 指腹部より体熱が物体に伝導し, 指先を離れた後もその場に一定時間残り続ける。この現象を利用することで, 対象面への接触を検出する技法を提案している³⁾。上記の原理を実現するためには, 環境

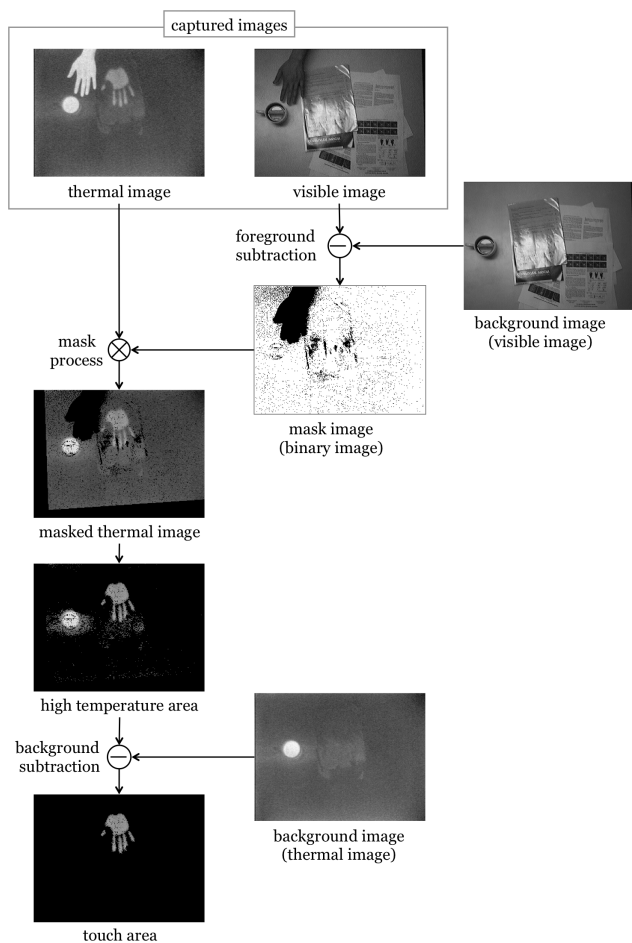


図2 熱画像と可視画像の同時計測による接触検出手法

の対象面の温度情報を画像として取得することのできる遠赤外線カメラ (サーモグラフィカメラ) を用い, 対象面上の高温領域を指先接触領域として検出すればよい。しかしながら, このような単純な方法では, 画角内に入っているユーザの手指等の身体や, その他の高温物体 (例えば, コーヒーの入ったカップ) 等が熱画像内で高温領域となり, 接触領域として同時に検出されてしまう。そこで, 通常の可視カメラを利用して可視画像も同時に取得し, 以下のように背景差分を行うことで, 指先接触による高温領域のみを選択的に検出する手法を提案した (図2)。具体的には, まず可視画像で背景差分処理を行い, ユーザの手指等の動物体を前景領域として以降の処理から排除する。次に熱画像で高温領域を抽出した後, 背景差分処理を行い, コップ等の高温の静物体を背景領域として排除する。最後に残った高温領域が, 接触領域として検出される。

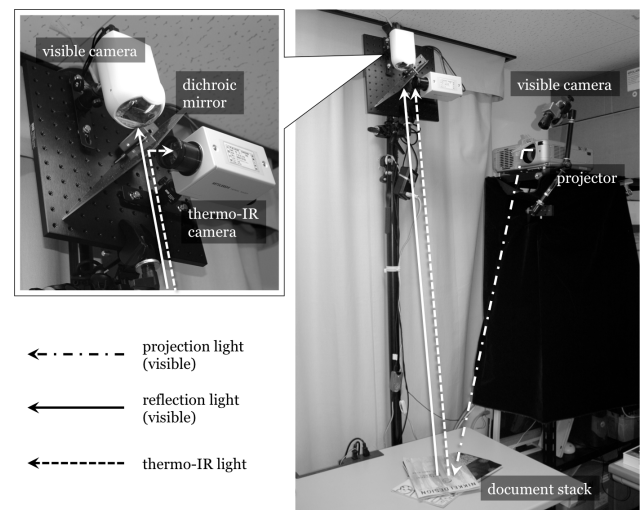


図3 接触検出手法を実装した机上書類透明化システム

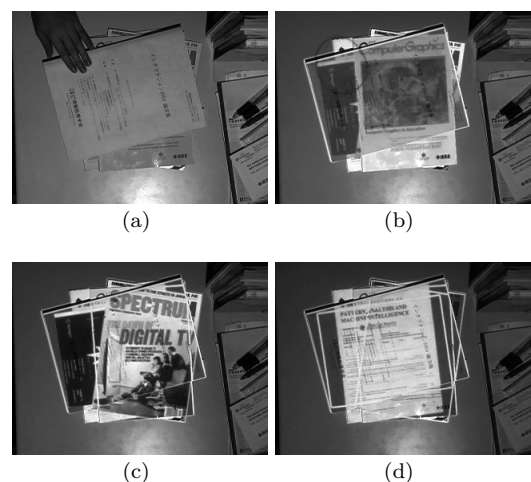


図4 机上書類透明化による書類探索支援: (a) ユーザが書類の山の一番上に触れると, (b)(c)(d) 上の書類から順に映像投影によって仮想的に透明化されていく

上記の接触検出手法の応用システムとして、机上の書類の山に触れると、その上部の書類から順に透明化していき、書類を取り除いていかななくても、山の中にある所望の書類を探し出すことのできるシステムを試作した(図3)。プロジェクトによる映像投影により書類の透明化を実現した(図4)。

3. 机上振動音計測による筆記者状態

筆記作業を行う机などの面にマイクを貼り付けて、その振動音をパターン計測することで、筆記者の状態を推定する技術を紹介する(図5)。我々は特に、学習中の問題に対して筆記者が主観的に感じる難易度(主観的難易度)、および、筆記中の心理的負荷を推定する研究を行ってきた⁴⁾。

高度にデジタル化された現代においても、紙と鉛筆(ペン)を用いた机での学習は初等教育において重要である。一般に、問題を繰り返し解くトレーニングを重ねることが、学習において効果的であることが知られており、計算ドリル等の教材が利用されている。ここで、全ての問題を何度も解くのではなく、難しい(苦手な)問題を重点的に繰り返し解くことで、効率的な学習が可能となる。このため、各生徒が苦手な問題が何であるのかを認識することができれば、オンデマンドに効率的な学習プログラムを設計できると考えられる。

教育従事者を対象とした調査より、「解答を継続的に書き進められているかどうか」を観察することで生徒のテスト

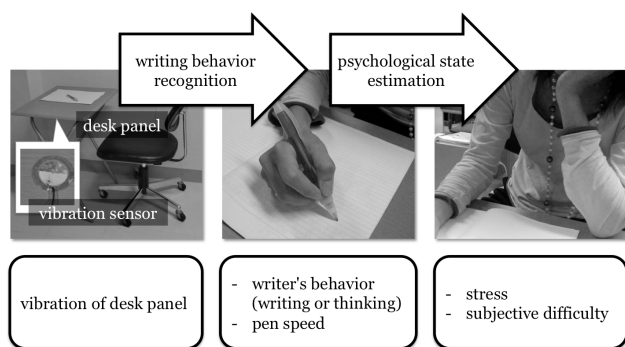


図5 机上振動音計測による筆記者状態推定の概要

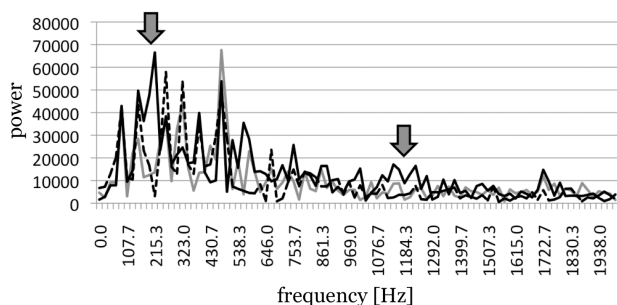


図6 机上筆記音のパワースペクトル(黒実線:筆記時, 灰実線:筆記以外の作業時, 黒点線:非作業時)

解答時の理解度が把握可能であることが確認できた。そこで、筆記動作に含まれる情報の中でも筆記・非筆記の2状態に着目し、「より難しいと感じる(主観的難易度が上がる)」と、問題解答に要する時間のうち非筆記状態の占める時間(非筆記時間率)がより大きくなる」と仮定した。まず、机の天板背面にマイクを設置し、筆記時、筆記以外の作業時、非作業時の3種の机上振動を取得しパワースペクトルを確認したところ、パワースペクトル上で200~250 Hzおよび1,050~1,130 Hzにて、筆記時にのみ高い値を示すことが分かった(図6)。机上振動音のこれらの帯域のパワーの平均値を特徴量として、C4.5アルゴリズムで学習した決定木を用いると、筆記音が80.6%, 非筆記音が82.1%の精度で分類されることが分かった。これに基づいて、問題解答中の非筆記時間率を算出し、非筆記時間率から主観的難易度を推定するシステムを構築した。提案システムにより問題解答時の主観的難易度を推定した結果、被験者10名中6名において仮定の妥当性を確認することができた。具体的には、図7に示すように、非筆記時間率と被験者の申告による難易度が相関関係にあることが確認できた。

次に、筆記者の心理的負荷を推定する例について解説する。まず、ペンタブレットを用いた予備実験を行った。人為的に心理的負担を与える「心理的負荷時」、および、与えない「平静時」で署名作業を行わせたところ、心理的負荷時では筆記速度が上昇することが分かった。次に、ペン

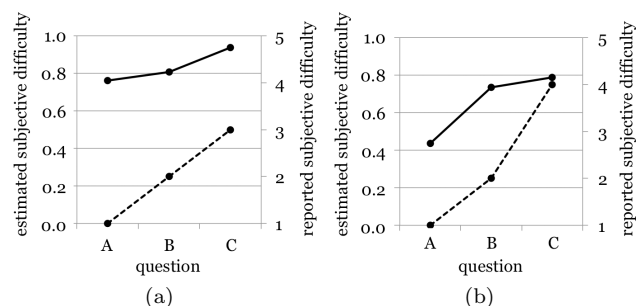


図7 被験者2名の推定された主観的難易度(非筆記時間率)と真値(被験者の申告)の関係(実線:推定値, 点線:真値)

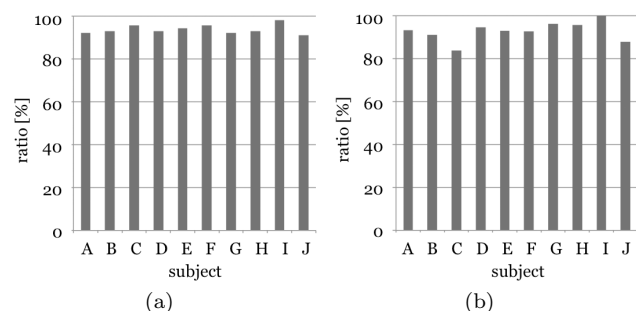


図8 筆記者の心理状態推定結果: (a) 平静時, (b) 心理的負荷時

タブレットの背面にマイクを設置し筆記音を同時に取得すると、ペンタブレットから得られた筆記速度に対し、特定の周波数帯域の正規化パワーに強い相関が見られた。上記の知見をもとに、マイクで得られる音響信号のみから筆者の心理的負荷の有無を推定するシステムを構築した。その結果、直近5ストロークのパワーの標準偏差を特徴量として、C4.5 アルゴリズムで学習した決定木を用いると、平静時のストロークに関しては93.5%、心理的負荷時のストロークに関しては91.2%の精度で筆記者の状態推定が可能であることが分かった。

4. 着座揺動計測による学習状態とグループ状態

一般的に、人が部屋の中で長い時間を過ごす場合、椅子等に着座して行う活動が主流となる。このため、椅子にセンサを組み込んで、着座者の状態をアンビエントパターン計測することができれば、着座者の状態について多くの情報を取得できる可能性がある。そこで我々は、椅子に力センサを組み込み、着座者の重心位置を計測し、その状態を推定する技術を研究してきた。

4.1 着座状態の推定

汎用的なオフィスチェアでは、座面と伸縮脚が、通常4箇所までネジ固定されている。そこで、このネジ締め部分にひずみゲージ式ロードセルをそれぞれ設置することで、従来のオフィスチェアの構造を大きく変えることなく、リアルタイムに座面への力のかかり具合を無線通信 (Bluetooth) でホストコンピュータに送信するシステムを実装した⁵⁾ (図9)。4点のデータを処理することで、着座者の座面上での2次元重心位置 (前後および左右方向) と鉛直下向きの重心位置の計3次元の情報を計測することができる。これらのデータを一定の時間幅 (実験では、1.6 秒) に区切って、着座者の状態を推定する。

着座者の状態は、下記のような流れで推定していく (図10)。まず、3次元のデータそれぞれの分散値を特徴量とする SVM (サポートベクタマシン) により、着座者が静止している (静止状態) か動作しているか (動作状態) を識別する。次に、動作状態と識別されたデータについて、3

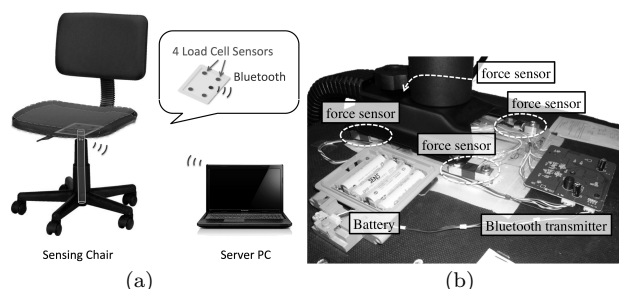


図9 座面背面に力センサを取り付けた椅子システム: (a) システム概要, (b) 座面背面の様子

次元それぞれの平均値を求め、前の時間幅のデータの平均値とのユークリッド距離を計算し、その距離がある閾値よりも大きければ、着座者が姿勢を変化している (姿勢変化状態) とし、小さければ姿勢変化なし状態と識別する。最後に、姿勢変化なし状態と識別されたデータを離散フーリエ変換し、周波数 1~8 Hz のスペクトル強度がある閾値よりも大きければ周期的な動作をしている (周期性動作状態) と識別し、小さければ非周期性動作状態と識別する。上記の処理により、静止状態、姿勢変化状態、周期性動作状態、非周期性動作状態の4状態に着座者の動作を識別する。実際に、実験システムを用いて、背もたれにもたれる・伸びをする・貧乏揺すりをする等の12種類の様々な姿勢を連続的に計測した結果、上記の着座4状態を90%以上の精度で識別できた (図11)。

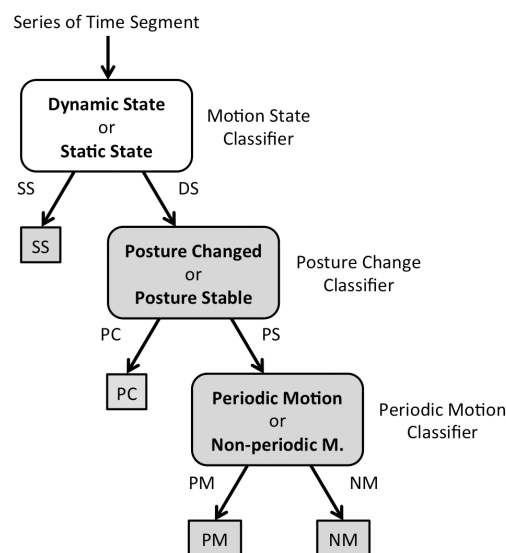


図10 着座者状態推定の流れ

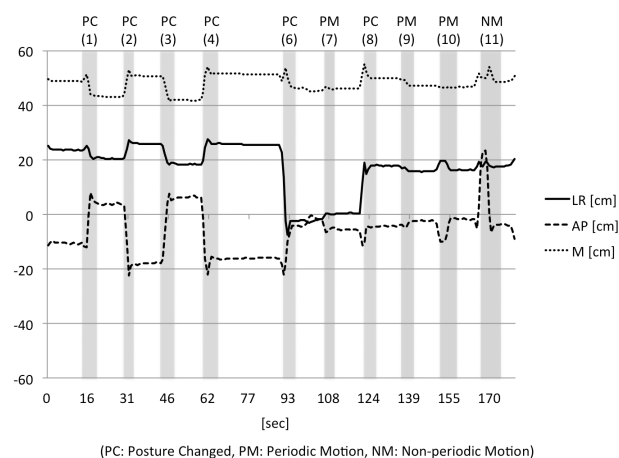


図11 椅子から取得された3次元データと推定された状態 (LR: 左右方向の重心位置, AP: 前後方向の重心位置, M: 鉛直下方向の重心位置)

4.2 集団心理の推定

4.1 で述べた椅子システムを複数台用いて、集団を構成する複数人の着座情報を同時に取得し、その心理状態を推理する研究を行った⁶⁾。心理学の分野では、ある集団内で、個人の行動が動的かつ相互に適応していく現象のことを同調傾向と呼ぶ。そこで本研究では、個人毎の計測データに着目するのではなく、複数着座者の揺動が同時に生起する同調傾向を検出することで、集団の心理状態を推定できるかどうかの検証を行った。

サッカーの試合をテレビ視聴する4名の着座揺動データを取得して、ある閾値以上の揺動が同時に3名以上で生じた場合を同調傾向とみなすと、試合中に7回の同調傾向が生じていたことが確認できた。ここで、揺動とは重心位置データの1秒間の標準偏差とする。同調傾向が検出された時刻は、7回中5回が実際にゴールが決まったときであり、残り2回は、キックオフ時と惜しいシュートミス時であり、いずれも着座者が興奮状態になった時であることが確認できた。なお、個人毎の着座揺動データを確認すると、閾値以上の揺動は、試合中の重要ではない場面に姿勢をたまたま変えた際にも検出されている(図12)。このことから、興奮状態は同調傾向に着目することで、個人のデータを処理するよりも精度よく推定することができる可能性が確認で

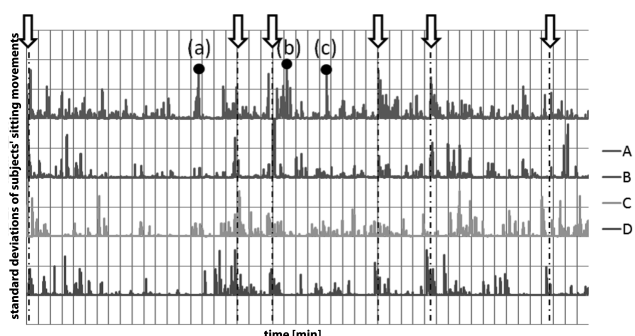


図12 着座者4名分の重心位置の標準偏差の時間経過(矢印は同調傾向が検出された時刻を、(a)(b)(c)はそれぞれ着座者Aのみが揺動した時刻を示す)



図13 プレゼンテーション聴取実験の様子(前列の聴衆6名が椅子システムに着座)

きた。さらに、同様の実験をプレゼンテーション聴衆6名をシステムに着座させて行った結果、プレゼンテーションが退屈になった時に同調傾向が検出された(図13)。このときも、個人のデータを処理するだけでは、統計的に有意な結果は得られなかった。以上より、同調傾向を計測することで、個人のデータを解析するよりも精度よく、集団に属するメンバーの心理状態を推定できる可能性が確認できた。

5. 不快な光環境に誘発される無意識的な表情

現在、空調や照明といった室内環境の制御はマニュアル制御による設定値一括制御が主流であり、個々の好みや状況などを考慮していないため、環境内の全ての人が快適であるとは限らない。全ての人が快適に感じる空間を作り出すためには、まず、環境に対する個人の反応(表情・行動・発話等)から個人ごとの快・不快を推定する必要がある。本章では、不快な光環境に誘発される無意識的な表情の認識技術⁷⁾について紹介する。

不快な光環境に対してどのような表情変化が表出されるのかを調べるため、20歳代から50歳代の男女50名に対し、被験者実験を行った。実験室内の天井照明および疑似窓照明の明るさを変化させ、光環境に対する不快感をフットスイッチを用いて被験者に随時申告してもらった。実験で表出された不快表情の内訳は、顔しかめ:60%、瞬き:29%、その他:11%となった。本稿では特に表出の多かった「顔しかめ」の表情(図14)について認識を行う。表出された「顔しかめ」表情データをFACS(顔動作記述システム)を用いて分析した結果、全ての被験者において、目や眉付近の動きが顕著であることが分かった。そこで、本手法では目周辺の特徴量を用いて不快表情の認識を行う。

不快表情を認識する際は、まず、単フレームの入力顔画像に対し、顔器官特徴点の抽出および顔画像の正規化を行

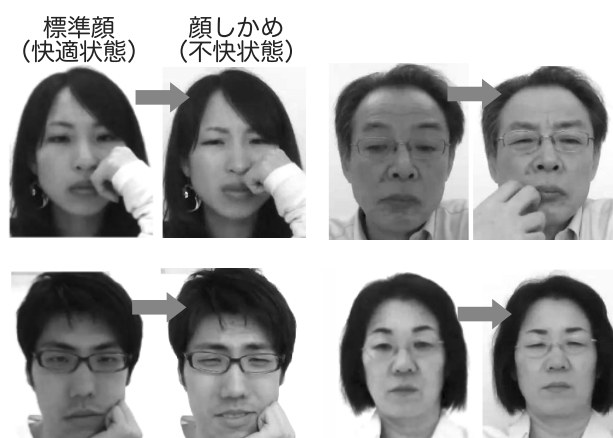


図14 被験者実験で表出された「顔しかめ」表情の一例(左:標準顔, 右:顔しかめ)

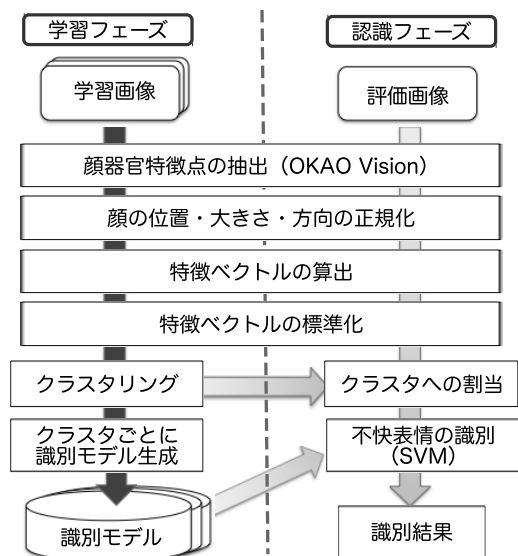


図15 不快表情認識手順

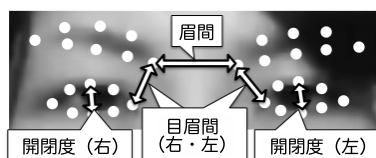


図16 表情認識に用いた特徴ベクトル（目の開閉度（左右）、眉間距離、目と眉の距離（左右）の5つの距離。白丸は目周辺領域の顔器官特徴点を示す。）

い、不快表情認識のための特徴ベクトルの算出、標準化を行う。次いで、特徴ベクトルを表情のパターンに合わせてクラスタリングし、SVMを用いて、クラスタごとに不快表情の学習・認識を行う（図15）。不快表情認識に用いる特徴量として、目周辺領域の特徴点座標（図16白丸）や目周辺領域の輝度値勾配ヒストグラムなど、様々な特徴量について比較実験を行った結果、目の開閉度（左・右）、眉間距離、目と眉の距離（左・右）を要素に持つ5次元の特徴ベクトル（図16矢印）を用いた場合が最も高速かつ高精度に不快表情を認識できた。十分な数の不快表情が得られた29名の被験者について、不快表情のクラスタリングを行い、クラスタごとにSVMを用いて認識を行った結果、TPRが79%，FPRが6%となった。

6. おわりに

本稿では、我々の身の回りの環境をサイバー化し、そこで生活する人々の内外的状態・活動を認識するアンビエントパターン計測技術について、我々が取り組んできた研究を中心として概説した。（2003年5月15日受付）

参考文献

- 1) N. Sugita, D. Iwai, and K. Sato, "Touch Sensing by Image Analysis of Fingernail," In Proceedings of SICE Annual

Conference, pp. 1520-1525, 2008.

- 2) 小川修平, 杉田尚基, 岩井大輔, 佐藤宏介, "EigenNail 法における複数識別器による指先押下認識の改善とそのメニュー選択インタフェース応用に向けた基礎検討," 映像情報メディア学会誌, Vol. 67, No. 12, pp. J425-433, 2013.
- 3) D. Iwai and K. Sato, "Document Search Support by Making Physical Documents Transparent in Projection-Based Mixed Reality," Virtual Reality, Vol. 15, No. 2, pp. 147-160, 2011.
- 4) N. Hamaguchi, K. Yamamoto, D. Iwai, and K. Sato, "Estimation of Subjective Difficulty and Psychological Stress by Ambient Sensing of Desk Panel Vibrations," SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.5, No.1, pp.2-7, 2012.
- 5) 松本翔平, 綿谷亮, 岩井大輔, 佐藤宏介, "アンビエントな着座揺動センシングによるデスクワークにおける筆記・非筆記状態識別," 電気学会論文誌 C, Vol. 133, No. 2, pp. 373-379, 2013.
- 6) R. Wataya, D. Iwai, and K. Sato, "Ambient Sensing Chairs for Audience Emotion Recognition by Finding Synchrony of Body Sway," In Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 29-33, 2012.
- 7) 北村謙典, 武村紀子, 岩井儀雄, 佐藤宏介, "不快な光環境に誘発される無意識的な表情の認識," 電気学会論文誌 C, Vol. 134, No. 2, pp. 218-224, 2014.

[著者紹介]

岩井大輔君(非会員)

2003年、大阪大学基礎工学部システム科学科卒業。2005年、同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。2006-2008年、日本学術振興会特別研究員。2007年、同大学院博士後期課程修了。2008年、2011年、2013年にそれぞれ同大学院助教、講師、准教授。この間、2007-2008年、2011年にそれぞれドイツ・バウハウス大学、スイス・ETH 客員研究員。投影型複合現実感、ユーザインタフェースに関する研究に従事。博士（工学）。

武村紀子君(正会員)

2006年、大阪大学工学部応用理工学科卒業。2007年、同大学院工学研究科博士前期課程修了。2010年、同大学院博士後期課程終了。同年大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻研究員。人工知能、コンピュータビジョン、パターン認識の研究に従事。博士（工学）。日本ロボット学会などの会員。

佐藤宏介君(正会員)

1983年、大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1985年、同大学院修士課程修了。1986年、同大助手。1988年、同大学院博士課程修了。1994年、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2003年、大阪大学大学院基礎工学研究科教授。この間、1988-1990年、カーネギーメロン大学ロボット工学研究所客員研究員。画像計測、仮想現実感、デジタルアーカイブ等の映像情報メディアの研究に従事。工学博士。