

バイタルセンサを用いた効果的な覚醒のための インタラクション学習システム

Effective awaking interaction learning system that uses vital sensing

中瀬 絢哉*¹ 森山 甲一*² 清川 清*¹ 沼尾 正行*² 雄山 真弓*³ 栗原 聡*⁴
Junya Nakase Koichi Moriyama Kiyoshi Kiyokawa Masayuki Numao Mayumi Oyama Satoshi Kurihara

*¹大阪大学大学院情報科学研究科

School of Information Science and Technology Osaka University

*²大阪大学産業科学研究所

Institute of Scientific and Industrial Research Osaka University

*³関西学院大学

Kwansei Gakuin University

*⁴電気通信大学

University of Electro-Communications

In ambient information systems, not only extracting human behavior with a sensor network but also adaptive autonomous interaction between the environment and humans is an important function. In this paper, we propose a reinforcement learning methodology for acquiring suitable interaction for each person's daily behavior. This time, we used vital sensors to detect and classify a user's condition. In an experiment, we show the feasibility of the proposed methodology.

1. はじめに

近年、日常生活での事故が増加している。高齢化社会の訪れに伴い、多くの高齢者が小さな段差で躓くような、家庭内に潜む危険によって怪我をしている。また、高齢者だけでなく、乳幼児の全事故の大半が家庭内で発生しており、このことも日常の中にある危険を把握し切れてない結果である。そして恒常的に工事などが行われている工場やプラントなどにおいても、情報伝達が徹底されていないが故の事故が発生している。このような人の気づかない部分や対処しきれない部分をサポートする環境の整備が急務となっている。ここで注目されているのが、アンビエント情報社会基盤である [1]。

アンビエント情報社会基盤とは、センサが取り付けられた環境において、センサからの情報によって実世界の状況を知覚し、その状況に応じた働きかけを能動的に実行する高機能な環境である。このアンビエント情報社会基盤が実現すれば、人が気づかないような小さな危険がその人の身に降りかかりそうな時、危険を警告したり、排除したりすることができる。また、人の状態をセンサの情報から検出することによって、その人の望んでいることを実行することが可能である。例えば、環境がセンサの情報からユーザが疲れていると判断し、リラックスできるように空調を涼しくしたり、照明を暗くしたりするなどユーザが快適になるように調整することも可能である。このように、アンビエント情報社会基盤の実現は人々に大きな利益をもたらす。このアンビエント情報基盤の実現で、人の作業補助、身の回りの危険予知といったことが可能になると期待されている。

このアンビエント情報基盤を構築するには以下の3つの段階が必要である。

- 実世界の情報を取得するためのセンサネットワークの構築

連絡先: 中瀬 絢哉, 大阪大学産業科学研究所沼尾研究室, 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1, Tel:06-6879-8426, Fax:06-6879-8428, nakase@ai.sanken.osaka-u.ac.jp

環境の状況を知るための情報を取得するセンサで構築されたネットワークの構築が必要である。ユビキタスネットワークの発達に伴い、PCや携帯電話などのネットワーク端末の普及やネットワーク技術の進歩のため、人が社会のあらゆるものとネットワークによってつながることが可能になった。これら身近な電子機器(PC, 家電製品)にセンサを加えることによって、環境や人の情報を獲得することが可能であるし、センサを設置する場合においても、センサからの情報を集約、処理するネットワークはユビキタスネットワークを利用できる。

- 実世界の情報からの人の行動や状態の推定
センサからの情報をそのまま使用するだけでは、複数のセンシング対象が存在する環境において行動を把握し切れなかったり、行動を把握するために膨大な数のセンサを設置しなければならない。さらに、ユーザの状態を知ることもユーザに適した働きかけをする上で重要である。そこで、センサの情報を解析し、ユーザの行動や状態を抽出する技術が必要である。
- 状況に適した働きかけの選択
不確定な行動をとる人間に対して、条件的に決められた働きかけをするのでは適切な働きかけをすることはできない。したがって、適切なモデル化をするなど不確定な状況に適応する適応力のある技術が必要である。

本研究では3つ目の段階に着目する。具体的には、日常のワークスペースを対象として、疲労などから起こる眠気をセンシングにより察知し、環境からのインタラクションによって、心地よく覚醒させる環境の実現を目指す。それぞれの人にとっての最適なインタラクション系列は同一ではなく、環境は個人に適応できることが重要である。今回は、眠気を催している、または眠っている状態において、人を快適に覚醒させるインタラクションチャンネルとして、照明・香り・音の3種類を利用する。そして、個々人における最適なインタラクション系列を獲得することを目指す。しかし、照明、香り、音においてもそれ

ぞれ数種類のバリエーションを用意しなくてはならないため、すべての組み合わせをユーザに対して実行して、その中から最適なインタラクションを選択するという方法では、組み合わせ爆発を起こすことから非効率かつ非現実的である。そこで本研究では前提知識を必要とせず、試行錯誤的に解を探索する強化学習[?]、特に、少ない試行によって解を探索できる Profit sharing[?]を用いることにより、最適なインタラクション系列の獲得を目指す。

また、ユーザの状態推定にバイタルセンサを用いた状態推定システムを利用することで、自動的にインタラクション実行するシステムを構築した。バイタルセンサではユーザの血流情報を利用することによって、眠気や脳の活性度を検出することが可能である。

2. 関連研究

センサを用いた人の行動や状態を抽出する技術の研究が進んでいる。人の習慣的な行動の抽出についての研究では、多数のセンサの設置された環境における人の行動を、センサからの情報によって追跡をする [3] 研究が進められている。人の状態に抽出する研究では、瞬きや体の動きといった表面的な身体情報をセンシングすることからその人の眠気を推定する研究 [4][5][6] が進められている。また、内面的な身体情報、脈拍や脳波といった生態信号からの人の状態推定技術も多く研究されており [7][8][9]、本研究では血流情報から人の眠気や脳の活性度を推定する技術を用いた。

人に適応したインタラクションの選択の研究も進んでいる。家庭内での多くの家電機器がユーザを取り巻く状況において、環境の状態(室温、湿度、照度など)と機器の特性をモデル化することによってユーザの状況にあったインタラクションを実行する研究が進められている [10]。このように環境をモデル化することによって、その条件にあったインタラクションを実行する研究も進められている。

3. 想定するアンビエント環境

本研究において、想定する環境はオフィスや研究室といったデスクワークを基本とする場所である。デスクワークをこなしているうちに疲労がたまることによって、眠気を催したり、または居眠りをしてしまう。そのような時に、環境から人を良い状態にする働きかけをするという状況を想定する。このような状況では「人が眠い、眠っていることを検知すること」と「眠っている人を快適に目覚めさせること」をする機能が環境には求められている。

本研究では、人を快適に目覚めさせるため、人にインタラクションを実行する。人を起こすためのインタラクションとして「におい」、「光」、「音」の3つを用意した。また、これらのインタラクションは次のデバイスを用いて制御する。

個人の好みは多様であるので、それに適応するように次のようなインタラクション系列を使用する。飛行機の機内では、乗客を起こす際に音楽を流し、その後暗い照明・明るい照明の順につける工夫をしている例がある。この例からインタラクションを実行する順番も快適さや覚醒度に影響すると考えられる。多種類のインタラクションの中から1つを選び、実行する。インタラクションが20秒行われたら、次のインタラクションを選択する。そして、同様に20秒後に次のインタラクションを選択する。最後に10秒経過すると全てのインタラクションを停止する。このとき、一度実行したインタラクションは最後にインタラクションを停止するまで実行し続ける。ただし、同

じ部類のインタラクション(ミントの香りとコーヒーの香りなどは同時に実行されず、前に実行していたインタラクションから次に選ばれたインタラクションに切り替わり、同じインタラクションであればそのまま実行し続ける。この一連の流れをインタラクション系列とし、インタラクション系列によって人を目覚めさせる。快適な目覚め方は個人により異なると考えられることから、その人に適したインタラクション系列の獲得が重要であり、強化学習を用いてそれらの獲得を目指す。

4. 提案手法

強化学習によって、最適なインタラクション系列を獲得するため、被験者からリアルタイムに得られる覚醒度・快適度を報酬とする Profit sharing によって学習を行った。人の状態の指標として、人の快適さと覚醒の程度を数値化したものを使用し、これらの積を報酬として学習を行う。

手法の内容は、与えられた報酬を実行したインタラクション系列に分配し、その選択経路の強化を行う。学習を繰り返すことによって、より報酬を得られる経路が強化されていき、最も強化された経路が最も報酬を獲得できる系列、つまり人を快適に目覚めさせるインタラクション系列となり、獲得することが可能となる。図1のように、インタラクション系列(2, 1, 3)を選択した時に、報酬24が獲得されたとすると、その選択した経路にその報酬が分配され強化される。

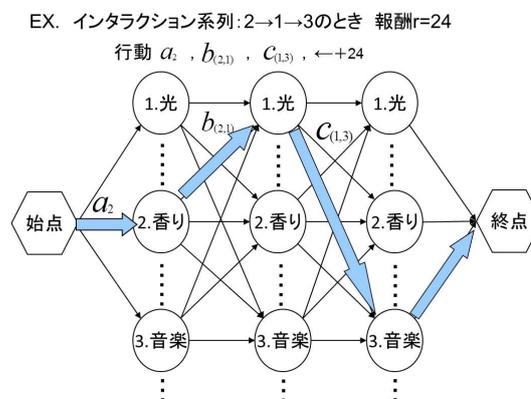


図1: エージェントの状態図

5. バイタルセンシング

前回の実験 [12] では強化学習によってユーザの快適なインタラクションを抽出することができると分かった。今回の実験では、実際にユーザがデスクワークをしている状況での実験を行った。私たちはユーザの次の2つの状態をセンシングによって識別した。

- 脈拍間隔の高周波域 (HF) に基づいた眠気推定
- 血流のリアップノフ指数に基づいた脳の活性度

そして、このセンシングによってユーザの状態を2つ (A:眠いが脳の活性度が高い, B:眠く、脳の活性度も低い) に分類し、それぞれのユーザの状態に適したインタラクションを学習によって獲得を試みる。前回の研究のようにユーザの眠い状態に

促し、インタラクションを実行する方法では、想定しているような状態検出からのインタラクションの実行という自動的なシステムとは異なってしまふ。今回のようなユーザにセンサをつけてもらうことでユーザの眠気を検出できることによって、日常生活の中での実験を行うことが可能になる。



図 2: バイタルセンサ

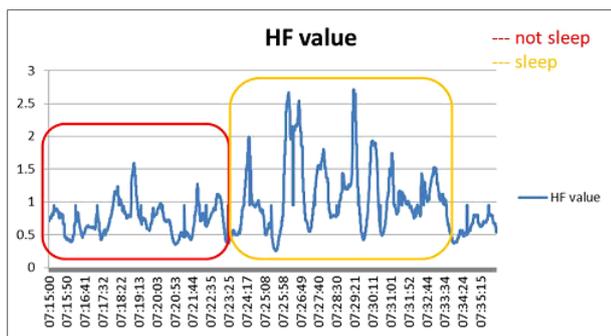


図 3: HF 値と眠気との関係

5.1 眠気推定

私たちはユーザの眠気を検出するために、HF 値を用いた。この HF は一般的に副交感神経の活性度と相関があり、私たちがリラックスしたときなどにその値が高くなる。この HF 値は脈拍間隔の周波数解析によって獲得できる高周波成分の大きさである。図 3 のようにユーザが眠い場合 HF 値は高くなり、眠くない場合は HF 値も低くなっており、HF 値とユーザの眠気の相関性が示されている。このことから HF 値の変化をユーザの眠気の変化として、ユーザの眠気を検出した。詳しく述べると、ユーザの覚醒しているときの HF 値を測定し、これを基準値とする。実験では最初の 3 分間の HF 値を基準値とした。ユーザの HF を常に測定し、その直近 1 分間の平均値が基準値の 2.5 倍になったとき、ユーザが眠くなったと判断した。この基準値はユーザの状態に依存しやすいため、実験毎に測定した。

5.2 脳の活性度

ユーザの眠気推定に加えて、私たちはリアプノフ指数を用いて、ユーザの脳の活性度を測定した。モニタ監視作業における人的ミスとリアプノフ指数との間に負の相関があることが知られており [11]、リアプノフ指数が高いとき、脳の活性度が高い状態にある。また、被験者に単純な計算をさせたときのリアプノフ指数の平均値の変化を測定する実験を行った。このときの結果が図 4 のようになり、計算の回答数とリアプノフ指数との相関性が確認できた。今回はユーザの平均的なリアプノフ

指数を基準値として、その基準値よりも直近の平均値が高いかどうかで脳の活性度を判断した。この基準値は日や時間帯を変えてユーザのリアプノフ値を測定し、獲得した。

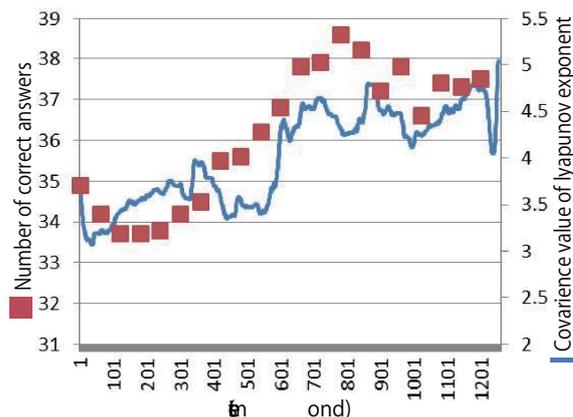


図 4: 脳の活性度とリアプノフ指数との関係

6. 検証実験

提案手法の評価のために 2 名に対して被験者実験を行った。私たちは全部で 6 つのインタラクションを用意した。それらは照明 (白色, 黄色), 香り (ミント, コーヒー), BGM (明るい, 穏やか) である。ユーザにあったインタラクションのために、今回は 3 つのインタラクションから構成される系列の獲得を試みた。そのため、総計で 216 通り (6 通り × 3 セット) の組み合わせが存在する。この系列のそれぞれのインタラクションを順番に 20 秒間隔で実行し、もしインタラクション同士が競合しない場合はインタラクションを実行し続ける。例えば、最初のインタラクションに白色光で、次にコーヒーの香りの場合白色光は点いたままコーヒーの香りが広がる。しかし、3 つ目が黄色光だった場合、最初の白色光は消え、黄色光に変更される。そうして一つの系列が 60 秒間で実行される。実験において、被験者は日々の通常のデスクワークを実行してもらう。そのとき、センサを着用してもらい、被験者が眠くなったとき、センサシステムによって眠気を検出し、学習のためのインタラクションを実行した。インタラクション系列実行後、被験者に実行したインタラクション系列の評価をしてもらった。評価は 1-7 の 7 段階評価で快適度と覚醒度の二つの項目で評価してもらった。加えて、被験者にはインタラクション実行時に眠かったかどうかを尋ねた。

7. 結果

眠気推定の精度の結果は、被験者 A,B それぞれにおいて、眠気推定時に被験者が眠い答えた割合は 64.3%と 57.5%という精度であった。Profit sharing による学習の結果、二つの状態 (A: 眠いが脳の活性度が高いとき, B: 眠くて脳の活性度も低いとき) におけるインタラクション系列を獲得した。これらの結果を比較するために、次の系列 3,4 を用意し、学習結果の系列 1,2 を加えた以下の 4 つの系列を被験者に比較評価してもらった。この比較評価を行ってもらう際に、被験者には状況 A 「眠いが疲れていないとき」状況 B 「眠くて疲れているとき」を想定してもらい、評価してもらった。評価の方法は学習時と同様で、覚醒度と快適度における 1-7 の 7 段階評価で評価

してもらった。この被験者 A,B それぞれの評価を表 1,2 にまとめた。学習回数はそれぞれ被験者 A が状態 A で 91 回, 状態 B で 63 回, 被験者 B が状態 A で 53 回, 状態 B で 53 回行った。表 1 からわかるように被験者 A では学習結果が識別した状態と類似する想定状況においてそれぞれ最も良い評価を得ており、系列 1 と 3, 系列 2 と 4 それぞれが類似している。一方、被験者 B において、学習結果が状況 B において最も良い評価を得ている。しかし、状況 A において事前に答えてもらった系列 3 が最も良い評価を得ている。これは系列 1 での学習で獲得した系列が局所的な最大値のものを学習してしまったためだと考えられる。

系列 No.	1 回目	2 回目	3 回目
系列 (1)	光 白色	音楽 明るい	香り ミント
系列 (2)	香り ミント	音楽 穏やか	光 黄色
系列 (3)	音楽 明るい	香り ミント	光 白色
系列 (4)	音楽 穏やか	香り ミント	光 黄色

被験者 A の評価	状況 1:眠いが 疲れていないとき	状況 2:眠くて 疲れているとき
系列 No.	(覚醒度, 快適度, 覚醒度 × 快適度)	
系列 (1)	(7, 5, 35)	(6, 4, 24)
系列 (2)	(4, 6, 24)	(5, 7, 35)
系列 (3)	(6, 5, 30)	(6, 4, 24)
系列 (4)	(6, 4, 24)	(5, 7, 35)

表 1: A さんの実験結果

系列 No.	1 回目	2 回目	3 回目
系列 (1)	光 黄色	香り ミント	光 白色
系列 (2)	香り ミント	光 白色	光 黄色
系列 (3)	光 黄色	香り コーヒー	光 白色
系列 (4)	光 白色	香り ミント	香り ミント

被験者 B の評価	状況 1:眠いが 疲れていないとき	状況 2:眠くて 疲れているとき
系列 No.	(覚醒度, 快適度, 覚醒度 × 快適度)	
系列 (1)	(6, 6, 36)	(6, 7, 42)
系列 (2)	(6, 6, 36)	(6, 7, 42)
系列 (3)	(7, 6, 42)	(6, 6, 36)
系列 (4)	(6, 6, 36)	(6, 7, 42)

表 2: B さんの実験結果

8. まとめ

本研究ではバイタルセンシングによるユーザの状態推定を用いた個々のユーザに適応した効果的な覚醒のためのインタ

ラクション学習システムを提案した。ユーザ適応のための学習として、Profit sharing を採用し、眠気検出のためにはバイタルセンサによる人の血流情報の解析技術を使用した。被験者 2 名に対して検証実験を行った結果として、提案手法の基本的な性能を確認することができた。

今後の課題として、より多くの被験者に対して検証実験を行うことが挙げられる。加えて、学習のフィードバックとしての報酬をユーザの入力でなく、センサの情報から獲得することでシステムを完全に自動化することを考えている。

9. 謝辞

本研究の一部は、文部科学省グローバル COE プログラム「アンビエント情報社会基盤創成拠点」の支援を受けて行ったものである。

参考文献

- [1] 大阪大学グローバル COE プログラムアンビエント情報社会基盤創成拠点, <http://www.ist.osaka-u.ac.jp/GlobalCOE>
- [2] Michael Chau, Margrit Betke, “Real Time Eye Tracking and Blink Detection with USB Cameras”, Boston University Computer Science Technical Report, 2005.
- [3] 本田 誠一, 福井 健一, 森山 甲一, 栗原 聡, 沼尾 正行, “赤外線センサーネットワークによる人物追跡”, 人工知能学会全国大会 (第 20 回), 2006.
- [4] Kiyoshi Kiyokawa et al., “Owens Luis - A Context-aware Multimodal Smart Office Chair in an Ambient Environment”, Proc. of the 1st International Workshop on Ambient Information Technology (AMBIT) 2012, 2012.
- [5] 浜田 尊裕, 白井 了, 小林 史和, 伊藤 文裕, 足立 和正, 中野 倫明, 山本新, 井東 道昌, “ドライバの運転状態の検知-個人差に対応した閉眼時間変化からの意識低下レベルの検知”, 画像センシングシンポジウム講演論文集, Vol.9th, pp.177-182
- [6] 永作 浩, 屋所 健司, 稲垣 敏之, 古川 宏, 伊藤 誠, “体動情報に基づくドライバの漫然運転リアルタイム検出”, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, 2005 号, pp.351-356.
- [7] Mayumi Oyama-Higa, Member, IEEE, Junko Tsujino and Mitsuko Tanabiki, “Does a Mother’s Attachment to Her Child Affect Biological Information provided by the Child? -Chaos analysis of fingertip pulse waves of children-”, 2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006.
- [8] 山野 悠, Inventado Paul, Cabredo Rafael, Legaspi Roberto, 福井 健一, 森山 甲一, 栗原 聡, 沼尾 正行, “脳波の解析に基づく音楽に対する感性推定器”, 人工知能学会全国大会 (第 26 回), 2012.
- [9] Solange Akselrod, Sarah Eliash, Orna Oz and Sasson Cohen, “Hemodynamic regulation in SHR: investigation by spectral analysis”, Am J Physiol Heart Circ Physiol 253, pp.176-183, 1987.
- [10] 長江 洋子, 山田 松江, 井垣 宏, 青山 幹雄, “連続的アンビエントサービスシステムとホームネットワーク環境による評価”, 情報処理学会研究報告, ソフトウェア工学研究会報告, 2007(33), pp.127-134, 2007.
- [11] Akira Imanishi and Mayumi Oyama-Higa, Member, IEEE, “The Relation between Observers’ Psychophysiological Conditions and Human Errors during Monitoring Task”, 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006.
- [12] Junya Nakase, Koichi Moriyama, Kiyoshi Kiyokawa, Masayuki Numao, Mayumi Oyama, and Satoshi Kurihara, “Adaptive interactive device control by using reinforcement learning in ambient information environment”, Proc. of the 1st International Workshop on Ambient Information Technology (AMBIT) 2012, 2012.