

ユーザ感情に基づくエージェントの感性的インタラクション

森 純一郎[†] Helmut Prendinger[†]
土肥 浩[†] 石塚 満[†]

情報技術の普及によりユーザとコンピュータのインタラクションは増加かつ多様化しておりユーザがコンピュータをより利用し易くするための人とコンピュータの新たなインタラクションの実現が必要になっている。これに対してインタラクションに感情を導入することでユーザの感情に基づいたエージェントの適応的なインタラクションの提案が近年注目されている。本論文では、そのような感性的インタラクションの有効性をユーザの生体情報を信念ネットワークを用いて確率的に処理することで評価する手法を提案し実験を通して感性的インタラクションの有効性を示す。また併せて同手法のユーザ感情認識への適用を述べ感性的インタラクション実現へのアプローチを示す。

Affective Interaction of Interface Agent Based on the User's Emotional State

JUNICHIRO MORI,[†] HELMUT PRENDINGER,[†] HIROSHI DOHI,[†]
and MITSURU ISHIZUKA[†]

The spread of information technologies has made interaction between User and Computer diverse and complicated. In this trends, the new notion of Interaction is needed. The adaptive interaction of agent based on a user's emotional state is a such one of new interaction. In this paper, we propose the new technique to evaluate the validity of such "Affective Interaction" by processing the user's physiological data on the probabilistic Belief Network. we evaluate our technique through a real experiment and show the validity of Affective Interaction. Moreover, we discuss an extension of our method to Emotion Recognition to realize the Affective Interaction.

1. はじめに

近年のコンピュータシステムの急速な普及により老若男女、多様なユーザ層がコンピュータを利用している。一方でソフトウェア・ハードウェア技術や情報コンテンツの発達により各ユーザと情報環境との接点は拡大・多様化している。このような背景のもと誰もが使いやすいかつ個々のユーザの個性に適応可能なヒューマンインタフェースの重要性が増してきている。

次世代のヒューマンインタフェースの有力な形態として表情や動作の表現や対話能力を保持する知的インタフェースエージェントに関する研究が数多くなされている。そのようなインタフェースにおいては特にユーザとエージェントとのインタラクションのあり方が有効性の大きな要因となってくる。先の背景のもとで新たなインタラクションが模索される中で近年、人

とコンピュータのインタラクションの新たなモダリティとして人と人とのコミュニケーションのアナロジーから感情が注目されており、感情の機能をコンピュータに持たせることで適応的なヒューマンエージェントインタラクションの実現が考えられている。

このような背景のもとで本研究の目的は人とエージェント、機械のインタラクションの向上、特にインタラクションに感情を導入した感性的なインタラクションを実現することにある。本稿ではこの目的への第一歩としてユーザの感情に基づくエージェントのインタラクションの有効性をユーザの生体情報変化に着目することで示す。また併せて感性的インタラクション実現の大きな要素であるユーザ感情の認識について述べる。

本稿の構成は、次の通りである。2章ではインタラクションにおける感情の有効性を述べ感性的インタラクションの方向性を述べると共に従来研究に対して感性的インタラクションの有効性評価に関する手法を提案する。3章では擬人化インタフェースを用いた具体的

[†] 東京大学情報理工学系研究科
School of Information Science and Technology, University of Tokyo

な実験を通して感性的インタラクションの有効性を示しその評価について述べる。最後に4章でまとめを行うとともに今後の課題や展望について述べる。

2. 感性的インタラクション

2.1 インタラクションにおける感情

感情については心理学や神経科学の分野においてその働きが研究されてきたが、近年工学分野においても感情の機能が応用され始めている。従来の研究は感情が人間の合理的な意思決定やコミュニケーション、環境への適応に大きく関わっていることを示している¹⁾ことから人工知能の分野においては感情が認知機構へ及ぼす働きをエージェントのアーキテクチャーに組み込む試みなどがなされている。一方、感情のそのような認知的機能への働きに加えて人間同士のコミュニケーションに果たす感情の働きがユーザとコンピュータのインタラクションにおける新たなモダリティの一つとして注目されている。

我々は日常、相手の感情を認識し自らも表現することで合理的かつ社会的なコミュニケーションを成り立たせている。このようなコミュニケーションにおける感情の動きは Emotional Intelligence と呼ばれるものでありコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている²⁾。一方、人とコンピュータのインタラクションに関しては、我々人間がコンピュータを含む人工物のメディアに対して自然に社会性を感じ、人に接するのと同様な対応を示す傾向をもつことが示されている³⁾。このことは擬似的な感情表現が可能なペットロボットの効果からも明らかであり感情を含む人間同士のコミュニケーションのあり方がコンピュータに対しても同様に成り立ちうることを示すものである。このような背景のもとコンピュータに感情を表現、認識させようとする Affective computing の概念が提案されている⁴⁾。この Affective Computing というパラダイムのもとコンピュータに感情を表現、認識させようとする研究が盛んに行われるようになってきており特に感情の表現についてはアニメーションエージェントやロボットなどを用いて人間のように感情を表す研究が数多く行われている⁵⁾⁶⁾。一方、感情の認識についてもユーザの様々な情報から感情状態を認識しよう試みが行われて⁷⁾⁸⁾⁹⁾。

2.2 感性的インタラクションの効果

このように Emotional Intelligence を持ったコンピュータに向けて多くの研究がなされており応用としてユーザとの対話システム¹⁰⁾や学習支援システム¹¹⁾に関する研究がなされている。直感的にはコンピュー

タが感情を表現し認識することには利点があるように思えるが実際に Affective Computing の概念に基づくコンピュータやインタラクションを実現するにあたって従来の研究では具体的な感情の有効性とその尺度があいまいである。先に述べたように人間は機械に対しても感情的に反応するということが示されているが実際に我々が日常において行っているように怒っている相手をなだめたり、喜びや悲しみに共感したりといった行動をコンピュータ、特にインタフェースであるエージェントが取ったときにそれがどのような効果を持ち、どのように評価すべきかが示されていない。特に感情を利用した感性的インタラクションにおいてはコンピュータからのフィードバックがユーザにどのように有効に働くのかを明らかにすることが必要となる。従来研究においてはユーザの苛立ちにコンピュータがテキストベースのフィードバックを示すことでユーザのストレス状態が緩和されることが示されている¹²⁾が、これは極めて限定的な評価尺度を用いており真に一般的かつ信頼度が高い評価とは言えない。

2.3 生体情報によるインタラクションの評価

コンピュータ、特にインタフェースであるエージェントから自らの感情に基づいたフィードバックを得た時、ユーザはどのように反応するのであろうか。それにはユーザの心的状態の変化を知る必要がある。心理学の分野では刺激に対する心的変化をアンケートなどを用いて評価することが多いが、これはユーザの主観的な判断に大きく依存しており実際に変化がいつどのように生じたのか具体性に欠けるためインタラクション評価の尺度としては信頼度が低い。

感性的インタラクションの有効性を見るにはコンピュータからのフィードバックの結果生じたユーザの内的および外的変化を見ることが必要となってくる。これはユーザの心的状態である感情の認識に深く関わっている。先に述べたような Affective Computing に代表される従来の研究においてはユーザの表情、声や生体情報を用いたユーザ感情の認識手法が提案されている。また、感情を人間の認知の結果としてとらえ認知過程を考慮することで感情を認識する研究なども行われている¹³⁾。感性的インタラクションの効果を調べるにはユーザの心的変化がいつ生じたのかを知ることが重要であるが、この点で従来感情の認識に用いられている情報を見ると顔の表情や声は感情認識における重要な情報であるが、ユーザとコンピュータ間の一般的な状況では表情や韻律の変化は微妙であり検出が困難なことが多い。また、ユーザのゴールなどから認知評価を用いて感情を認識する場合にお

いてもユーザの信念やゴールを非明示的に得ることは難しい。これらの表情や声などのユーザ情報に対して近年、皮膚抵抗 (GSR)、心拍 (HR)、心電 (EEG)、体温 (TEMP)、血圧 (BVP)、筋電位 (EMG)、脳波 (EKG)、呼吸 (RESP) などユーザの持つさまざまな生体情報を感情の認識に利用しようとする研究が行われている^{15) 14)}。常に観察可能ではない表情や動作、声に対して生体反応はユーザの心的状態に応じて常に変化しているためにインタラクションの評価に有効な情報である。加えてユーザは、たいていの場合生体情報をコントロールすることは困難であるので信頼度の高い情報源となりうる。情報の取得に関して、生体情報を計測するセンサーはすでにキーボードやマウスのような既存のデバイスに組み込むことが可能であり¹⁶⁾、実用の面からも生体情報は十分に利用可能な情報源であると言える。以上により本稿では感性的インタラクションの効果の評価尺度として生体情報の利用を提案する。

心理学において用いられている感情の表現法の一つに次元的アプローチがある。これは感情を次元的な空間に配置することで表現するものであり、その基本的次元の代表的なものとしてポジティブとネガティブの感情軸である Valence(感情価) と呼ばれるものと覚醒と緩和の感情軸である Arousal(活動次元) がある¹⁷⁾。そして皮膚抵抗や心拍などの生体情報はこれらの次元に関連していることが示されている。例えば、皮膚抵抗の変化は感情の興奮度合いを示す Arousal に関係しておりまた心拍の変動はネガティブな Valence に関係している¹⁸⁾。この感情モデルを利用して生体情報とこれらの次元を関連付けることにより生体情報からユーザの心的変化を見積もることができ感性的インタラクションの効果を生体情報から評価すること可能である。しかし、これらの関連付けを単純に行うことはできない。生体情報は敏感に反応するためにユーザの反応が明確であるという利点を持つ一方でその情報に不確実性や個人差を多く含む。生体情報の変化がユーザの心的状態に起因するものなのか、仮に起因するものとしてもそれらはユーザごとに個人差がある上にユーザの気分やムードに影響される。

そこでこれらの不確実性や個人差を扱いつつ生体情報と感情の基本次元、ユーザの状態変化とを結びつける必要がある。そのための手法としてここでは信念ネットワークを用いる。信念ネットワークを用いた確率的な表現によりユーザの生体情報と基本次元の因果関係やそれを取り巻く要因を柔軟に表現することで、不確実性や個人差を明示的に扱うことができ容易に情

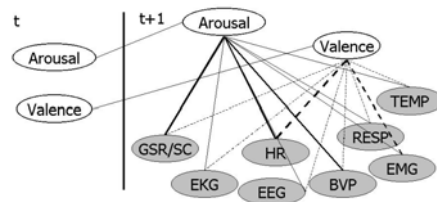


図 1 Bayesian belief network between physiological data and emotion

報間の関連付けや修正が可能になる。図 1 は、各生体情報と Arousal と Valence で表される 2 次元の感情モデルの関係を信念ネットワークで表したものである。この信念ネットワークにおいて Arousal や Valence のノードを X とし、それらの証拠変数である各生体情報を含むノード S_i の集合を B 、生体情報を表すノードの組をベクトルとした時の値の割り当ての一つを \vec{s} とすると感情を表す Arousal/Valence と各生体情報の関連の確からしさ $P(X|B)$ は次のような式で与えられる。

$$P(X|B) = \sum_{\vec{s}} P(X|\vec{s}) \prod_i P(s_i|B)$$

この信念ネットワークを用いることで生体情報からユーザの心的状態を類推することができ感性的インタラクションの効果をユーザの生体反応の変化という観点から見積もることが可能になる。

図 2 は、これら Valence と Arousal の 2 次元で定義される感情空間を示しており、いくつかの代表的な感情がこの空間上に投影されることを示している。この

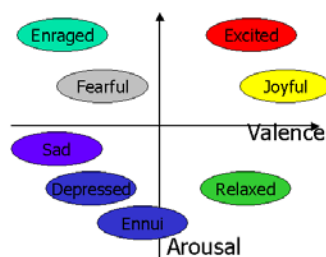


図 2 Two dimensional emotion model

感情の次元モデルにもとづいて認識対象の感情や外的要因をノードとしてネットワークに加え生体情報や基本次元と新たな因果リンクを作成することで信念ネットワークは感情の認識にも利用できる。

3. 実 験

3.1 実験目的とシステム

実験の目的はユーザの感情に基づいたエージェントからのフィードバックの効果を生体情報の変化から評価することにある。

我々はしばしばコンピュータを用いて作業をしている時に苛立ちやストレスを感じる時があるが、このような現実的な状況を考慮し本実験においてはユーザのストレス状態に対してエージェントがストレスを減らすようにユーザに対してフィードバックをおこなうことにより生体情報を用いた感性的なインタラクションの評価を行う。

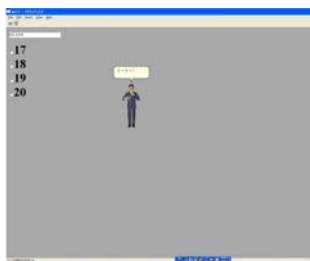


図 3 Quiz Game with Animated Agent

実験には単純なクイズゲームを用いた。クイズの内容は簡単な計算問題であり、図 3 に示すように一連のクイズは擬人化エージェントによって出題される。ユーザは 4 個の選択肢から正解を選択しユーザの選択に基づいて擬人化エージェントは解答の正誤を伝える。ユーザは自分が成し遂げようとしている特定のゴールを妨げられたとき苛立ちを感じる¹⁹⁾ という事実に基づきクイズの出題中ランダムに擬人化エージェントは出題を中断しアイドル動作を行う。ユーザは解答時間と正答数に基づいた賞金を受け取ることになっており各問題には短時間で、かつより多くの問題に答えようとするのでこの擬人化エージェントによる遅延行為はユーザを苛立たせる。ゲームには 2 つのパターンがあり 1 つはランダムな遅延行為を含みつつ擬人化エージェントが単純に出題と正誤の通知を無表情のまま繰り返すものである。もう 1 つは擬人化エージェントが出題中に発生する遅延行為についてユーザに対して謝り、またユーザの解答に対する正誤を述べるとき正答に対しては喜びの表情を、不正解の場合は悲しみの表情を示すなどユーザに対して共感を示すようにした。

今回の実験は多数の被験者を対象とした実験の Pre-Test としてこの 2 種類のゲームについてそれぞれ数名ずつの被験者に参加してもらい図 4 のような環境で実験

を行った。生体情報計測のため被験者の指先に小型のセンサーを装着し皮膚抵抗と心拍を測定する。センサーで計測された信号は専用の装置 (ProComp+, Thought Technology) によりデジタル信号に変換され光ケーブルにより測定用の計算機に送られる。測定用の計算機では信号を専用のソフトウェア (BioGraph, Thought Technology) を用いて処理し記録する。生体情報を計測する一方でユーザは入力デバイスとしてマウスのみを用いて正面のディスプレイを通して擬人化エージェントにより出題されるクイズに答えていく。実験コンテンツの作成には我々の研究室で行われている顔と姿を持ちユーザとのインタラクション能力を有する擬人化インターフェースの研究において開発されたエージェントを用いたプレゼンテーションの記述ツールである MPML^{20) 21)} を使用した。ゲーム内における擬人化エージェントの動作と生体情報の変化をマッチングするためにゲーム用の計算機と生体情報計測用の計算機の間はタイムスタンプにより同期が取られている。生体情報の解析については、現在のところ実時間での解析ができないため実験後にデータの処理を行った。

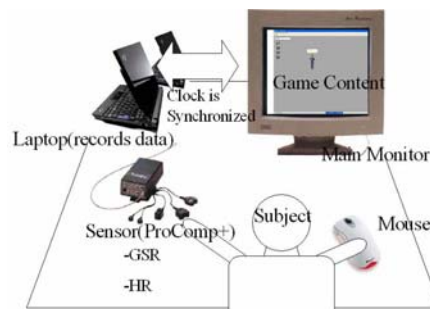


図 4 Set-up for Experiment

3.2 実験結果

実験の結果、擬人化エージェントが遅延行為を行う前後において図 5、6 に示すような生体情報の特徴的な反応を得た。図 5 はユーザへ共感がなく擬人化エージェントが遅延行為に対する謝罪をしないパターンのゲームにおける被験者の生体情報であり遅延行為によりユーザの皮膚抵抗が上昇するとともに心拍に変動が起こっている。一方、図 6 は擬人化エージェントがユーザの解答に応じて共感を示しかつ遅延行為についても謝罪の動作を行う感性的インタラクションを意識したパターンのゲームを行った被験者の生体情報である。図 5 と同様に遅延行為により皮膚抵抗の上昇と心拍の変動が起こっているものの擬人化エージェントが謝ることで上昇や変動が収まっている。

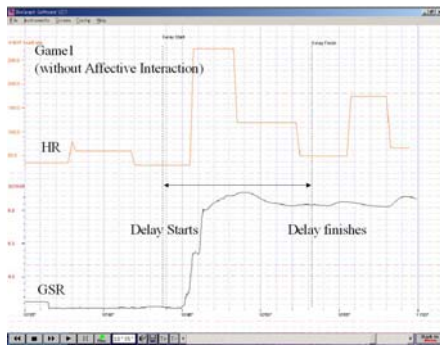


図 5 Signals of HR and GSR without Affective Interaction of Animated Agent

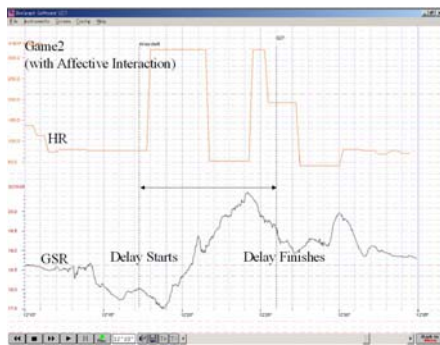


図 6 Signals of HR and GSR with Affective Interaction of Animated Agent

3.3 考 察

結果よりユーザを苛立たせるために意図的に生じさせたエージェントによる遅延行為により皮膚抵抗が上昇しかつ心拍に変動が起きていることが視覚的にわかる。先に述べたように生体情報と感情の低位の次元の関係において心拍の変動は負の感情価に関係し、皮膚抵抗は興奮度合いに関連している。これより生体情報が示すユーザの心的状態は興奮している一方でネガティブな状態にあるといえる。先の感情の2次元モデルで考えると結果が示す生体情報の反応はユーザがエージェントの遅延行為により苛立ちを感じている状態にあることを示している。遅延行為により苛立った状態にあるユーザに対してエージェントが何も反応を起こさず、そのままゲームを進行する場合は皮膚抵抗や心拍は上昇や変動をしながら高い値を保ち続けユーザの苛立ちが遅延行為終了後も継続している状態にある。一方、遅延行為に対してエージェントが謝罪をした場合は謝罪がない場合に比べて生体情報の上昇や変動は収まっておりエージェントからのフィードバックがユーザに生じた苛立ちをなだめる効果を持つことがわかる。

このように視覚的にも本実験におけるユーザのスト

レス状態に対するエージェントのフィードバックの効果が読み取れるが、さらに計測された生体情報のノイズの除去、平滑化などの処理を行い信念ネットワークを用いて生体情報から Arousal や Valence の感情の低位の次元および基本感情を見積もることで定量的にもエージェントとのインタラクションが有効であることを確認した。今回の実験では少数の被験者について行ったため、結果から手法の妥当性を述べることは難しいが実験は生体情報が感情的インタラクション評価のための有効な指標であることを示しており、今後多くの実験データをもとに信念ネットワークのノードを拡張し適切な確率値を与えることで感情的インタラクションの効果の適切な評価を実現しかつその延長として不確実性かつ個人差に対応した感情の認識が可能と考えている。今回の実験ではユーザに苛立ちの心的変化が起きているという仮定のもとで生体情報からインタラクションの有効性を見積もる実験を行ったが信念ネットワークが感情の認識へ適用できればユーザの感情に基づいたより柔軟なエージェントとユーザとの感情的インタラクションが実現できる。

4. おわりに

本稿では人とエージェントとのインタラクションに感情を導入した感情的なインタラクション実現への第一歩として生体情報を利用した感情的インタラクションの有効性評価と感情認識への応用を述べた。実験を通して生体情報がインタラクションの効果を評価する指標になることを示し、さらに生体情報を信念ネットワークで感情と関連付けることでインタラクションのより正確な評価を与えることを示すと伴に感情の認識へ適用を述べた。

エージェントが感情を認識したとして、それに基づいてエージェントがどのような行動をするかは感情が生じた状況、コンピュータとユーザの関係やユーザのゴール、性質、嗜好についての情報などさまざまな要因に基づいて決定されるものであり、環境を取り巻く情報を考慮しつつ適切な意思決定を行う必要がある。また、ユーザが常に感情の認識を受け入れるとは限らず真にユーザに適応的かつ感情的なインタラクションを実現するには多くの課題がある。今回の初期実験を通して得られたエージェントの感性インタラクションの有効性およびその尺度と感情の認識への適用の知見に基づき今後はユーザに感情を認識しそれに基づいて適応的な応答を行う感情的インタラクションの実現を目指す。

参 考 文 献

- 1) Frijda, N.H.: *The Emotions*, Cambridge University Press, (1986).
- 2) D. Goleman: *Emotional Intelligence*, Bantam Books, New York (1995).
- 3) B. Reeves and C. Nass: *The Media Equation*, Cambridge Univ. Press, (1996).
- 4) R. Picard: *Affective Computing*, MIT Press, (1997).
- 5) E. Andre, M. Klesen, P. Gebhard, S. Allen, and T. Rist: *Integrating Models of Personality and Emotions into Lifelike Characters*, Affect in Interactions, Springer, Heidelberg, (2000).
- 6) H. Prendinger, M. Ishizuka: *SCREAM: scripting emotion-based agent minds*, AAMAS, (2002).
- 7) S. Kaiser, T. Wehrle, and S. Schmidt: *Emotional episodes, facial expressions, and reported feelings in human-computer interaction*, Proceedings of the Xth Conference of the International Society for Research on Emotions, (1998).
- 8) Mozziconacci, S.J.L.: *Modeling emotions and attitude in speech by means of perceptually based parameter values*, User Modeling and User-Adapted Interaction 11(4), 297-326, (2001).
- 9) R. Picard: *Toward Machine Emotional Intelligence: Analysis of Affective Physiological State*, IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 23, No.10, (2001).
- 10) J. Breese and G. Ball: *Bayesian Networks for Modeling Emotional State and Personality*, AAAI Fall Symposium on Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition, TR FS-98-03, 37-42, (1998).
- 11) C. Conati: *Modeling students' emotions to improve learning with educational games*, AAAI Fall Symposium on Emotional and Intelligent II: The Tangled Knot of Social Cognition, TR FS-01-02, 31-36, (2001).
- 12) J. Klein: *This Computer Responds to User Frustration: Theory, Design, and Results*, Interacting With Computers, (2001).
- 13) Ortony, A., Clore, G.L. and Collins, A.: *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, (1988).
- 14) Vyzas, E. and Picard, R.: *Offline and Online Recognition of Emotion Expression from Physiological Data*, Proceedings of Emotional and Intelligent, The Tangled Knot of Cognition. AAAI Fall Symposium Series, TR FS-98-03, Menlo Park, CA: AAAI Press, 176-182, (1998).
- 15) Healy, J. and Picard, R.: *Smart Car: Detecting Driver Stress*, Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, Barcelona, Spain, (2000).
- 16) <http://www.almaden.ibm.com/cs/blueeyes/>
- 17) J.A. Russell: *A circumplex model of affect*, Journal of Personality and Social Psychology 39, 1161-1178, (1980).
- 18) P. Ekman, R.W. Levenson, and W.V. Friesen: *Autonomic nervous activity distinguishes among emotions*, Science, 221, 1208-1210, (1983).
- 19) R. Lawson: *Frustration The Development of a Scientific Concept*, MacMillan, New York, (1965).
- 20) T. Tsutsui, S. Saeyor and M. Ishizuka: *A Multimodal Presentation Markup Language*, WebNet2000 World Conf. on the WWW and Internet, San Antonio, Texas, USA, (2000).
- 21) 石塚満: マルチモーダル擬人化エージェントシステム, システム/制御/情報, Vol. 44, No. 3, pp. 128-135, (2000).
advance