

ユーザ感情のモデル化と感性的インタラクション

森 純一郎, Helmut Prendinger, 土肥 浩, 石塚 満

東京大学大学院情報理工学系研究科 電子情報学専攻

〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

TEL:03-5841-6755, FAX:03-5841-8570

URL:<http://www.miv.t.u-tokyo.ac.jp/>

{jmorih, helmut, dohi, ishizuka}@miv.t.u-tokyo.ac.jp

概要

近年の情報技術の進歩により人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来ている。そのような新たなインタラクション実現の重要な要素の一つとして我々は感情に注目している。近年、多くの分野において感情の持つ重要な働きが示されてきておりその工学的な応用も広まっている。感情はさまざまな表出を伴うが、本稿では人間の生理的な変化が感情の表出に密接に結びついていること考慮し、それらを確率的に処理することで感情をモデル化する手法とシステム設計を提案する。また、その応用としてユーザの感情を含む心的状態に基づいた感性的なインタラクションを実現するインタフェースエージェントについて述べる。

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。また、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来ている。本研究室では、従来のインタフェースに対してインタラクションの新形態として理解しやすさと親しみやすさを持ち広く人々に受け入れられるような共通性のある感性基盤を持ったインタフェースに関する研究を行っており [1] 人と機械との感性的なインタラクションの実現を目指している。感性的なインタラクションにおいては感情が重要な要素となるが近年の研究から感情が認知活動や社会的インタラクションなど多岐に渡り重要な働きをすることが示されてきている。このような動向を受け工学のさまざまな分野で感情の持つ働きを導入しようという試みが増えてきている。ヒューマンインタフェースの観点からは、コンピュータに感情を導入するにあたって機械が感情を表現することとユーザの感情を認識することの二つが大きな課題となる。自然でかつ意味を持った感情を表出するコンピュータを作ることは挑戦的な研究であるが加えてコンピュータがユーザの感情を認識することが可能になれば、インタラクションの向上につながる有益な適応的フィードバックがユーザに対して実現できる。そこで本稿では、人とコンピュータのインタラクションの向上を目的にユーザ感情のモデリング手法について提案を行う。

本稿の構成は、次の通りである。2章では工学、特に人工知能と感情との関連を述べ感情が持つさまざまな働きを紹介する。3章では、ユーザの感情をモデリングする既存の研究のアプローチを紹介する。4章では既存研究の持つ問題点を挙げ、それらの解決としてユーザの生体情報を利用したユーザ感情の確率的モデリング手法を説明し感情のモデリング機能の具体的な設計を述べる。5章では応用としてユーザの感情に基づくインタフェースエージェントの感性的かつ適応的なインタラクションについて説明する。6章においては関連する研究を紹介し最後に7章でまとめを行うとともに今後の展望について述べる。

2 感情の工学的応用

うれしい時は、何となく心がうきうきし自然と笑みがこぼれてしまう。一方、悲しいときは沈んだ気分になるとともに表情も暗くなる。このように我々が、一般に感情という表現を用いるときは喜びや悲しみなどの心的状態またはその表出を指すことが多い。しかし、近年の研究は感情がこのような単なる生理的な変化や反射的な行動、表情やしぐさへの表出といったものにとどまらずさまざまな働きを持っていることを示している。認知科学においては、感情が状況評価に基づく行動選択過程の基盤であり意思決定、学習への影響などの多様な働きがあると指摘されている [2][3]。また、神経科学においても感情が行動の決定に携わる特定の伝達物質を誘発することなどが判明している。このような科学的な裏づけのもとで現在では感情が生理的な変化から高次の認知活動に至る心の活動のすべてのレベルにおいて重要な役割を果たしていると考えられている。このような感情の働きは工学研究にも大きな影響を与えており人工知能の分野においても、こうした感情に関する認知科学や神経科学の成果を根拠に言語処理、機械学習や意思決定といった従来の人工知能の問題に適用する試みが増えている。人工知能は、言語処理、プランニング、学習、意思決定など人間が行う知的処理を機械上での実現を試みてきた。感情が持つ人間の認知活動へ影響の大きさを考慮すれば人工知能の従来の研究の延長として感情の持つ種々の機能を機械で実現しようとするのは自然である。

感情の認知活動への影響に加えて、さらに人間同士のコミュニケーションの観点からは、感情は人間同士のインタラクションに決定的な社会的チャネルを確立する役割を果たしている。人とコンピュータの感性的なインタラクションに関して Nass[4] 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を明らかにしている。これは人間の古い脳は人間との関係により社会性をもつインタラクションを学習して進化してきており、これが今日のコンピュータやメディアに対しても働いていることに起因している。また Picard は [5] において人がコンピュータに感情的に反応することを示しておりコンピュータにおける感情の重要性を考慮し Affective Computing というパラダイムを提唱している。Affective Computing を実現するには主に下記の 3 つの事柄が重要となる。

- コンピュータ自身の感情や性格に基づいて適切な行動を生成するメカニズム
- コンピュータがユーザの感情や個性を類推するメカニズム
- ユーザに共感、協調するコンピュータの適切な社会的反応

ペットロボットが示すように機械が感情を持った振舞いをすることは人と機械のインタラクションの向上に効果的である。ペットロボットのこのような動作は我々の感情の表現を模したものであるが、我々人間は日常のコミュニケーションにおいて感情を表す一方でしばしば意識せずとも相手を「察する」ことを行う。このような感情の認知を人と機械のインタラクションにも導入するでより自然なコミュニケーションが実現できユーザは機械から感性的かつ適応的なフィードバックを得ることができるだろう。3 章では、このようなユーザ感情のモデル化について既存の研究のアプローチを述べる。

3 感情のモデリング-従来研究のアプローチ-

2 章で述べたように感情のさまざまな働きが研究され、その重要性が明らかになるにつれて近年コンピュータに感情を表出させてかつユーザの感情に反応させることによってコンピュータをより社会的にする研究に大きな関心が集まっている。自然でかつ意味を持った感情を表出するコンピュータを作ることは挑戦的な研究であるがコンピュータがユーザの感情を認識することはさらなる挑戦である。既存の研究では表情 [6]、

動作を利用したり声の韻律や発話内容 [7][8] などから感情をモデル化している。また、ユーザの目標の評価に基づく手法 [12][10][11] などもとられている。顔の表情や韻律は恐怖、喜び、怒りなど特定の感情の十分な指標となりうるが、これらの感情の表出は、たいてい感情の激しさ、各人の個性、インタラクションの内容に依存する上に同様の刺激に対する感情的な反応は人それぞれであるため、その表出は原因たる感情をモデル化するほど十分に識別可能なものではない。例えば、内向的な人間は感情の表出をコントロールする傾向にあり自分がよく知らない人の前では、なおさら表出を隠そうという傾向にあるといわれている。このようなことから多くの状況では顔の表情や韻律の変化は、あまりに微妙であり各ユーザやタスクに依存しているためためコンピュータには検出が困難であることが多い。また、ユーザのゴールなどから感情をモデル化する場合は、それらがユーザの内的なものであるために、さらに検出が困難となる。このように既存の研究で用いられているユーザの情報は、常に観察・認知可能でなく情報として不確実であることが第 1 の問題である。第 2 の問題としてユーザの情報と感情の間の単純なマッピングである。これらのマッピングは主にヒューリスティックなルールによって行われるが、このような単純なルールによるマッピングではユーザの情報に固有なあいまい性や不確実性に対処できない。また、ヒューリスティックなルールにおいてはルール間の依存性とそれらの処理の仕方を明示的定義しなければならず不健全な推論を生成するモデルを構築する高いリスクをもたらす。

4 生体情報に基づくユーザ感情の確率的モデリング

以上のような既存のアプローチに対して、本章では生体情報に基づくユーザ感情の確率的モデリング手法を提案する。

4.1 生体情報の利用

近年、ウェアラブルコンピュータ技術の進展とともに容易にユーザの生体情報を測定できるデバイスが開発されてきており、この生体情報を利用してユーザの感情状態をモデル化しようとする多様なシステムが開発されてきている。生体情報としては皮膚抵抗 (GSR/SC)、心拍 (HR)、心電 (EKG)、体温 (TEMP)、血圧 (BVP)、筋電位 (EMG)、脳波 (EEG)、呼吸 (RESP) など様々なものが利用されている。実用的な例としては、生体情報を分析して運転中のドライバーのストレス状態を見積もる [13] などの研究がある。また、生体情報を実際のコンピュータに応用した例として IBM の BlueEyes プロジェクト [14] がある。このプロジェクトでは、まゆの動きや口の動きなど顔の表情や視線やジェスチャーなどの行動を利用すると共にユーザの脈、体温、皮膚抵抗などを計測できるデバイスをマウスに実装しユーザの感情を見積もることを試みている。同様に [15] らは、生体情報から感情をモデル化する目的でセンサーデバイスをマウスに組み込んでいる。このように生体情報は、ユーザの感情を類推するのに有効な情報源である。前章で述べたように感情のモデル化を行う既存研究が使用している表情や動作、声といったものは、常に観察可能ではない。これに対して生体情報は、ユーザの心的状態の変化に応じて敏感に反応する。加えてユーザは、たいていの場合、自身の生体変化をコントロールすることは困難である。このようなことから生体情報は感情をモデル化するための信頼できる情報源であり本研究では感情のモデル化にあたり生体情報を利用する。

4.2 感情の2次元モデル

従来の情報源に比べて生体情報は信頼度が高いとはいえ、感情が直接的に区別可能な身体的表出を持つかどうかは議論の余地があり生体情報と喜び、悲しみ、不安のような一般的な感情とを結び付けるにはなお不確実性が存在する。そこで、本研究では感情の2つの基本的な次元 [16] に焦点をあてる

- Valence:感情の positive と negative の度合い
- Arousal:感情の興奮度合い

図1は、これらの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。このように感情の低位の次元に生体情報を対応付けることで、より柔軟な感情のモデル化が可能になりかつモデリングがアプリケーションのドメインに非依存であることを実現する。

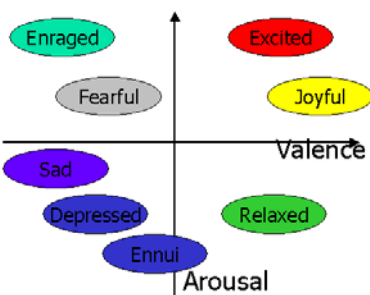


図 1: Two dimensional emotion model

4.3 感情の確率的モデリング

実際に生体情報から感情をモデル化するには、なんらかの方法でこれらに関係付ける必要があるが、これらの関連付けを示す心理学的裏づけ¹があるとはいえ実際には情報には多くの不確実性が含まれておりマッピングは容易ではない。任意の感情は、複数の生理的变化を引き起こすため単一の変化それだけでは、ある感情をモデリングするのに不十分であり複数の情報源を用いることになるが、このことは感情のモデリングに伴う不確実性をさらに増加させる。この不確実性へ対処が、3章で挙げた問題の第2点であり既存のアプローチは、特定の感情のモデル化に制限したりするなどによりモデリングにおける不確実性を減らすことを試みてきたが情報の持つ不確実性に対処して一般的な感情をモデル化することは困難である。一般的な感情のモデル化を行うには情報源に対して可能な限り正確な評価を生成し、またあいまいな情報のみしか手に入らないときはその予測の不確かさを明示的に表現できることが必要である。そこで、このような不確実性を扱うために、本研究では、確率的手法に基づいた感情のモデリングアプローチをとる。確率的な表現によりユーザ情報としての生体情報と感情の複数の因果関係を柔軟に表現することで、単一のモデルでさまざまな感情の表現が可能になり、また拡張・修正の容易性を実現する。具体的には確率的表現手法として信念ネットワークを用いる。信念ネットワーク [17][18] は、ノードが条件確率で結ばれた確率的な因果関係のネットワークを表現するための理論であり、確率変数を X_i 、その親ノードを $pa(X_i)$ とすると信念

¹例えば、感情の興奮度合いを示す Arousal は心拍によって明確に特徴付けられまた皮膚の抵抗や血圧の変化も Arousal に関連している。また、感情の正負の度合いを示す Valence は筋電位や心拍と関連がある。

ネットワークにおいて結合確率分布 $P(X_1 \dots X_n)$ は次式のように表される。

$$P(X_1 \dots X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | pa(X_i))$$

結合確率分布のすべての項目はネットワーク中の情報の中から計算可能である。このような信念ネットワークは感情をモデリングするのに適切な多くの特性を持っている。第1に、それらが明示的に各段階に置いて不確定性を扱えることである。従来の「IF 情報 A then 感情 B」のような明示的なルール表現によるマッピングでは不確定性を多く含む情報原に対応困難であるが信念ネットワークは情報間の相対的な可能性について予測ができるため不確実性を自然にとらえることができる。第2に信念ネットワークのリンクはそれらが直接に原因とその結果を表現しているため直感的に理解可能であるということである。この表現は確率モデルの設計者にとっても利点がある。設計者は、明示的にノード間の直接の依存性を与えることができる上に対象に存在するすべての依存性をコンパクトで明確に描写でき、デバックも容易になる。このことは、ルール間の依存性を逐一考慮しなければならないルールを用いたマッピングに比べて効率がより。第3に新たな情報源を容易に導入できる拡張性が挙げられる。新たな情報源を加えたい場合は情報源を表現するノードを加えて、この情報に関連すると思われるノードからの因果リンクをつくれればよい。これは、手に入る証拠が、ユーザごとインタラクションごとに変化する感情のモデリングにおいては重要である。

図2は、各生体情報と Arousal と Valence で表される2次元の感情のモデルの関係を信念ネットワークで表したものである。センサーで観測された各生体情報の変動に基づき、感情の軸となる Arousal と Valence の変動が見積もられ、先に示した2次元座標上の各感情へマッピングされる。このネットワークにおいて

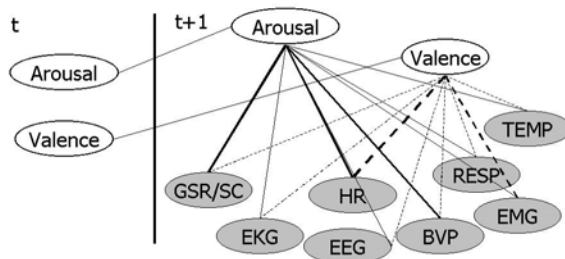


図 2: Belief network between physiological data and emotion

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示すノード S_i の集合を B とする。ここで、我々が求めたいものは各生体情報の変動に基づきユーザの感情を表す Arousal や Valence がどの程度上昇または下降しているかを表す $P(X|B)$ であり次のような式で与えられる。

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

式中において \vec{s} は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である。この式が示すように、Arousal や Valence の具体的な値を得るためには、図3のような信念ネットワーク中のノードのつながりを表す条件確率テーブル (CPT) を適切に与える必要がある。このような条件確率テーブルの初期条件としては、先に述べた生体情報と Arousal/Valence 間の心理学的裏づけに基づいて値を設定するのが適当であるが、そのつながりに正確な確率を与えることは困難である。そこでより適切な条件確率の設定のために、信念ネットワークを学習させる必要がある。具体的には、信念ネットワークの構造を固定とする場合は、条件確率テーブルの集合を例の集合の統計量を用いて直接に推定をおこなう。また、信念ネット

| GSR/SC | HR | $P(Arousal GSR/SC, HR)$ | |
|----------|----------|-------------------------|----------|
| | | Increase | Decrease |
| Increase | Increase | 0.97 | 0.03 |
| Increase | Decrease | 0.73 | 0.28 |
| Decrease | Increase | 0.85 | 0.15 |
| Decrease | Decrease | 0.10 | 0.90 |

図 3: Example of Conditional Probability Table

ワークの構造自体を変化させていく場合は、各構造がデータを正しくモデル化できるか否かを手がかりとした構造空間探索問題と捉えることができる。いづれにせよ、よりの確なモデリングを行うためにも信念ネットワークを洗練させていくことは今後の課題である。また生体情報と感情の関係の詳細な分析が今後必要になるだろう。例えば [19] らは生体情報の詳細な分析を行っておりまた、神経科学からのアプローチも生体情報の詳細な分析に有用である。

4.4 感情モデリングシステム

以上で述べたような感情のモデリング手法を実現するために図 4 に示すようなシステムの設計を行った。ユーザの生体情報は、各センサーによって計測されノイズ除去などの数値処理をへて信念ネットワークへ渡される。信念ネットワークにおいては、条件確率テーブルに基づいて各生体情報の変動から感情の計算を行う。感情のモデルとしては、4章で述べたような Arousal と Valence のような低次のパラメータが生体情報には適合するが、利用されるアプリケーションのドメインにあわせて柔軟にさまざまな感情をモデルを導入できるように信念ネットワークは外部のモジュールである感情モデルの参照が可能になっている。また、拡張性として各ユーザに固有の情報などを保持するような知識ベースを備えることにより生体情報のみによらないさまざまな情報源に基づいた感情のモデリングを実現する。

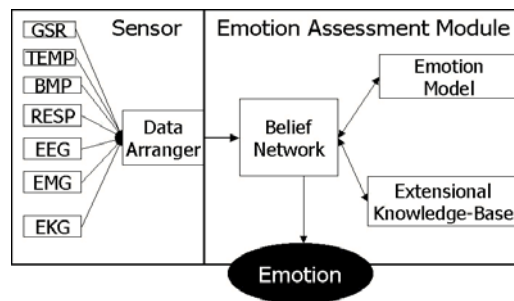


図 4: Architecture of Emotion Modeling System

5 感性的インタラクション

先に述べたように機械による感情認知の応用として有効なアプリケーションの一つは、感情や個性を用いた人とコンピュータとの感性的インタラクションシステムである。エージェント技術の一つとしてインタフェースエージェントに関するさまざまな研究があるが、このようなユーザのコンパニオンとしてのエージェントがユーザの感情の表出を認知し自身も感情を作り出し適切に反応することは、有効なヒューマンインタフェースの一形態である。我々の研究室では、そのような次世代のヒューマンインタフェースとして図5に示すような擬人化インタフェースに関する研究・開発を行っている。擬人化インタフェースにおいて

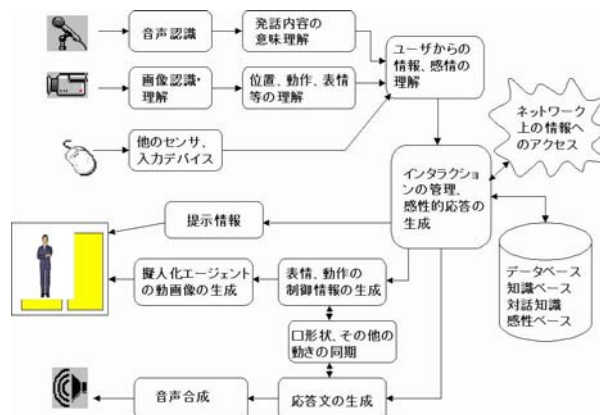


図 5: System Architecture of Multimodal Anthropomorphic Interface

はエージェントはユーザとのコミュニケーションをもつだけでなく姿を持ち、愛着を感じさせるような性格を持ったユーザのパートナーという位置付けであり、その感性基盤としてユーザの感情の認知は重要な役割を果たしている。

6 関連研究

Ball&Breese[20] は、ユーザとコンピュータの対話型インタラクションの向上のためユーザの感情と性格をモデル化する感性的適応アーキテクチャを開発してきた。このシステムにおいては、我々のアプローチと同様に確率的手法による感情のモデル化をおこなうとともにその確率的手法が感情を表現するのにも有効である点に着目しシステム全体を確率的なネットワークにより実現している。ユーザの情報としては顔の表情や声などを用いているが、特に声の韻律や発話の意味的な内容といったものに注目しており確率的ネットワークで実現されたシステムの対称性をいかしてユーザの感情や性格のモデル化を元にユーザに共感を示すような社会的なエージェントの適応的な発話や動作を実現している。

ユーザの情報として生体情報を扱ったものとして、Conati らの [21] ではゲームを使った教育システムの利用者の学習効率向上のために生体情報を用いた感情のモデリングを利用している。感情モデルとしては OCC モデルを用いており Dynamic Decision Network を用いて学習者の生体情報などから感情や性格をモデル化し、それらのユーザモデルに基づいて効率的な指導のためのインタフェースエージェントの動作を決定している。アプローチは、我々のものと似ているがこの研究が教育システムという特定のドメインに特化しているのに比べ、我々のシステムは人とコンピュータのより一般的なインタラクション向上に主眼を置いており様々な拡張性を保持している点で異なっている。

7 結論と今後の課題

本稿では人とコンピュータのインタラクションの向上を目的にユーザの生体情報を利用した感情の確率的モデル化手法を提案しそのシステムの設計を述べた。また、その応用としてユーザとインタフェースエージェントの感性的なインタラクションを実現するシステムについて述べた。エージェントがユーザの感情を認識し反応する能力は適応的システムを作るのに決定的であり、ユーザ感情に応じてエージェントが適切な動作を生成することでユーザとコンピュータとのより効率的なインタラクションが可能になる。

感情については現在のところ、その機能が未解明な部分が多いが、近年その工学的な応用に注目が集まっており、さまざまな研究がなされてきている。本研究も感情のモデル化というそのような挑戦的な研究の一つであるが、今後感情の働きが明らかになるにつれさまざまな応用が考えられる。また、生体情報については外的・内的刺激に対する人間の偽りのない直接的な反応であり、感情とのつながり以外にも考察の価値が十分にある情報源である。今後は、システムの実装を行い実際のアプリケーションを通して評価を行う予定である。また、重要なメトリックスとしてその表現も含めて生体情報の詳細な分析を行うとともに感情との具体的な関連を調べることでより精度の高い感情のモデリングの手法実現を目指す。

参考文献

- [1] 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
- [2] Frijda, N.H.: *The Emotions*, Cambridge University Press, 1986.
- [3] 戸田正直:感情 - 人を動かしている適応プログラム - 認知科学選書 24, 東京大学出版会, 1992
- [4] B.Reeves and C.Nass: *The Media Equation*, Cambridge Univ. Press, 1996.
- [5] R.Picard: *Affective Computing* MIT Press, 1997.
- [6] Kaiser, S., Wehrle, T. and Schmidt, S.: Emotional episodes, facial expressions, and reported feelings in human-computer interaction. In: Proceedings of the Xth Conference of the International Society for Research on Emotions. Wursburg: ISRE Publications. 1998.
- [7] Petrushin, V.A.: Emotion Recognition Agents in Real World. In: Proceedings of the AAAI Fall Symposium. Falmouth, MA. TR FS-00-04, Menlo Park: AAAI Press, 136-138. 2000.
- [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] Ortony, A., Clore, G.L. and Collins, A.: *The Cognitive Structure of Emotions*. NY: Cambridge University Press. 1988.
- [10] Elliot, C., Lester, J. and Rickel, J.: Lifelike pedagogical agents and affective computing: An exploratory synthesis. In: M. Wooldridge and M. Veloso (eds.), *AI Today. Lecture Notes in AI*. NY: Springer-Verlag. 1999.
- [11] Elliot, C.: 1992, *The Affective Reasoner, The Affective Reasoner: A process model of emotions in a multi-agent system*. Institute for the Learning Sciences Tech. Report 32. Evanston, IL: Northwestern University. 1992.
- [12] Healy, J. and Picard, R.: 2000, *SmartCar: Detecting Driver Stress*. In: Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, Barcelona, Spain. 2000.
- [13] <http://www.almaden.ibm.com/cs/blueeyes/>
- [14] Ark, W., D.C. Dryer, and D.J. Lu.: *The emotion mouse*. In Proceedings of the Eighth International Conference on Human Computer Interaction. Stuttgart: University of Stuttgart. 1999.
- [15] Lang, P.: *The emotion probe: Studies of motivation and attention*. *American Psychologist* 50(5):372-385. 1995.
- [16] Jensen, F.V. 1996. *An introduction to Bayesian Networks*. NY: Springer-Verlag. 1996.
- [17] Pearl, J.: *Probabilistic reasoning in intelligent systems: Networks of plausible inference*. Rev. 2d ed. San Mateo, Calif.: Morgan Kaufmann.
- [18] Vyzas, E. and Picard, R.: In: 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.
- [19] Breese, J. and Ball, G.: *Bayesian Networks for Modeling Emotional State and Personality*. In: Proceedings of Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition. AAAI Fall Symposium Series, TR FS-98-03, Menlo Park, CA: AAAI Press, 37-42. 1998.
- [20] 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.