

ユーザの割り込み拒否度推定に基づく インタラクション仲介エージェント

Interaction Mediate Agent based on User Uninterruptibility Estimation

田中 貴紘^{1*} 藤田 欣也¹
Takahiro Tanaka¹ Kinya Fujita¹

¹ 東京農工大学大学院

¹ Graduate School, Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract: In recent years, the opportunity that users receive information from information systems has been increasing. However, the timing of interruption has not been controlled in most of the systems. In this paper, we proposed the secretary agent which mediates interactions between users and other. The agent estimates user uninterruptibility from PC operation records and head motions. Moreover, the agent appeals the interaction request from others by controlling avatar gaze, joint attention and mutual gaze. based on the uninterruptibility. We confirmed the usefulness of the mediation based on the estimation.

1 はじめに

近年、インターネットの普及やユビキタスコンピューティング環境が整備されるに従い、あらゆる情報にユーザがアクセスすることが可能となって来ている。一方で、エージェントやロボット等からの情報提示や電子メールの着信表示、インスタントメッセージツールによる会話など、システムがユーザへ情報を随時提示する機会も増えてきている。しかし、情報提示タイミングや提示頻度にユーザの作業状況が適切に反映されることは少なく、また、その割り込み方法にもユーザ状態は考慮されていない。ユーザは提示情報確認のために思考を度々中断されることで、知的生産性が低下する可能性が指摘されている [1]。しかし、作業中に送信されてくる情報の全てをユーザは無視することは出来ないため、ユーザの状態を適切に反映した情報提示制御が必要である。

ユーザの状態推定に関する先行研究として、マウスやキーボード操作量などの PC から取得できる情報や各種センサ情報からユーザの忙しさを推定し、情報提示制御を行う研究 [2, 3] や、作業の切れ目発生を検出し割り込みを行う試みもなされている [4]。しかし、知的作業に対する適用が困難であったり、事前にタスクの構造解析が必要など実用性に課題が残されている。また、推定結果に基づく制御は、状態推定が本質的に誤

差を避けることができないため、誤動作による弊害が懸念される [5] ため、ユーザの認知負荷が少なく直観的で、かつ取返して気付にくい (アンビエント) 表現による割り込み方法の検討も必要である。ノンバーバル表現によるアンビエントアウェアに関する研究では、視線制御等の人間の日常的な動きをアバタを用いて模倣することの有効性が報告されている [6, 7]。

そこで、著者らは、PC 作業時のアプリケーション切り替え (focused Application-Switching: AS) に着目し、AS 時の割り込み拒否度 (割り込みを受け入れられない度合い) 推定法を提案した [13]。また、真にユーザが忙しい場合は気付かない程度のアンビエントな割り込み方法として、AS 発生に併せたアバタの視線制御による情報提示方法を提案した [12]。しかし、推定精度や提示機会は実用的に十分ではなく、PC 作業を含めたより広範囲のデスクワークを対象とした拒否度推定法の確立も必要であった。また、視線制御による要求アピールは、アピール強度の段階的制御や作業画面の占有・複数アピールの同時発生などの課題があった。

そこで本研究では、他ユーザからの会話要求や情報システムからの提示要求を一括して仲介し、ユーザの PC 操作履歴と頭部運動履歴から推定したデスクワーク中の割り込み拒否度に基づく、視線制御による提示要求アピールを行うことで、円滑なインタラクション開始を支援する、秘書エージェントの開発を目的とする。

*連絡先: 東京農工大学工学部情報工学科
〒184-8588 東京都小金井市中町 2-26-16
E-mail: takat@cc.tuat.ac.jp

2 関連研究

2.1 ユーザ状態推定

作業中のユーザ状態の推定を試みる研究は、これまで様々に行われている。推定対象を PC 作業周辺に限定し、キー入力数やマウス操作等の PC 操作量による状態推定法が挙げられる [2]。これらの研究は、ユーザの作業が外部から観察可能な PC 操作量を伴う場合には忙しさの推定に有効と考えられる。反面、思考などの知的作業において、作業量が物理的アクティビティとして計測できず、忙しさを適切に反映することが困難と予想される。また、オフィスワーク全体を対象としたユーザ状態推定の研究も行われている。マイクやカメラ、加速度センサなどを生活空間の中に遍在させ、コンテキスト推測を行う研究も多数試みられている [3]。しかし、多くはユーザの作業の種類や状態（着座、移動、会話）の推定であるため、忙しさの推定には再度の推定が必要となり、推定誤差が懸念される。

一方、作業中の割り込みではなく、作業の切れ目発生を検出し割り込みを行う試みもなされている。タスク構造を分析し、メインタスクの開始時・集中前などの切れ目が割り込みに適していることが確認されている [4]。ユーザの PC 環境や使用方法・目的は多岐に渡るため、タスク依存のない汎用的な手法が望まれるが、一時的に割り込みへの拒否度が低下するタイミングを検知・推定するだけでも、ユーザの作業を阻害しない提示制御に有効であると考えられる。

2.2 アバタを用いたノンバーバル情報提示

推定結果に基づく制御は、状態推定が本質的に誤差を避けることができないため、誤動作による弊害が懸念される。従来の音やウィンドウによる割り込み方法は、誤推定発生時に作業を妨害する危険度が高い [5]。割り込み方法を検討する上で、ユーザの認知負荷の少なく直観的で、かつ敢えて気づきにくい（アンビエント）表現が望ましいと考えられる。

人間同士のコミュニケーションにおいて、ノンバーバル情報の中でも、視線は様々なコミュニケーションコントロール機能を持つ。視線を会話相手と交差させることによって発話の移譲と要求を行う調整子機能や、同じ対象を見る共同注視により、対象を共有することで意図の推定を促すことが可能と言われている [6]。また、人間の日常的な動きを模倣することでユーザの理解が促進されること [7]、アバタのノビやジェスチャによって、人が感じる発話志向態度の制御が可能であることが報告されている [8]。身体性を持ったアバタを使用することで、表情表出やジェスチャを利用したノンバーバル表現の情報提示方法への適用が考えられる。

また、ユーザとエージェントとの間に親近感や信頼感を伴う関係を生じさせることで、エージェントに対する態度を変化させることが可能とされている [9]。エージェントの表示される大きさやユーザとの距離によっても、ユーザは異なる反応を示すことが示唆されている [10]。エージェントの外見や表示方法・場所、持続性を考慮したシステムを設計することで、誤差による不適切な割り込みなどの、エージェントに対する心理的な悪影響を軽減することが期待できる。

3 秘書エージェント

3.1 仲介によるインタラクション開始支援

仲介によるインタラクション開始の流れは次の通りである。エージェントは、他のユーザや情報システムからインタラクション要求を受信すると、ユーザへの働き掛けを開始する。ユーザへの働き掛けは、人間が日常的に行っている、「話し掛けたい相手の様子を伺う行動：視線制御」により行うことで、要求へのユーザの気づきを促す。そして、アピールに気付いたユーザが自ら情報確認を行い、インタラクションが開始される。アピールの表現を、真に忙しい場合には気づかない程度のアンビエントな表現とすることで、推定誤差が存在する場合であっても、ユーザの作業を阻害し難い働き掛けが実現できると考えられる。要求をアピールしながらユーザ自身が気付くまで待つことで、従来の要求元が割り込み、ユーザが常に割り込まれる関係を逆転し、円滑なインタラクション開始が期待できる。

3.2 システム構成

秘書エージェントのシステム構成を図 1 に示す。秘書エージェントは、主に、ユーザの PC 操作履歴と頭部運動履歴に基づく 3 段階の割り込み拒否度推定部と、共同注視・視線交差の 2 種類の視線制御による提示要求アピール部の 2 つのモジュールから構成される。エージェントは、ユーザの PC 操作記録と、Web カメラから取得した画像に OpenCV の顔検出を適用して取得した頭部の前後位置から、ユーザの割り込み拒否度を推定する。また、外部からの会話開始や情報提示の要求を受信すると、ユーザの拒否度に応じて、共同注視と視線交差を併用した要求アピールを行う。

図 2 にシステム実行環境の例を示す。本研究では、ユーザの作業用メインモニタとは別に、秘書エージェント表示用の USB サブモニタを使用し、メインモニタ脇に斜めに配置する。また、ユーザ撮影用の Web カメラをサブモニタ上部に設置する。エージェント表示に専用デバイスを用いたのは、ユーザの作業領域に浸食

しないことで実用性を向上させるためだけでなく、ソフトウェアエージェントの持つ弱いアウェアネスを補強し [10]、かつ、常に同じ場所・同じ状態で存在させ、継続的にインタラクションを行わせることで、エージェントに対する親近感や信頼感を生じさせ易くする狙いがある。また、非集中時の自主的な情報確認操作を新たに生じさせ、これを両目検出等で簡便に判別することも想定している。

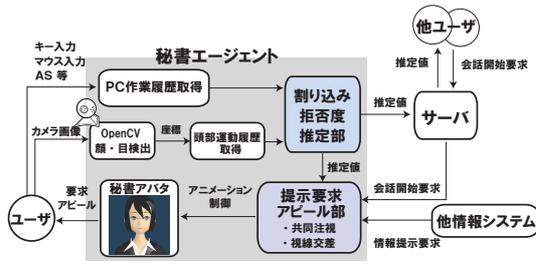


図 1: 秘書エージェントのシステム構成



図 2: システム実行環境例

3.2.1 割り込み拒否度推定法

(i) AS 時拒否度推定法の拡張

著者らは、AS 時の割り込み拒否度推定法を提案し、有効性の検証を行ってきた [12]。先行研究の問題点として、推定精度と提示機会の減少が挙げられる。特に、実環境での実験においては、低拒否度 AS を正しく推定できた割合が 1 時間に 1・2 回程度であったことから、精度向上と共に情報提示機会の確保も必要であった。そこで、AS 時拒否度推定法を拡張し、同一アプリケーション継続使用 (NAS) 時の推定を行う。

先行研究では、作業履歴の分析により、AS 時拒否度に影響を与える 19 個の特徴を抽出した。さらに、AS 前後のウィンドウ数変化 (増加・減少・不変) に合わせ、影響の強い特徴の共起数に基づく、3 種類の推定式を定義した。AS 時にウィンドウ数が変化しない場合とは、AS を跨いだ継続作業を示すことから、不変時推

定式を元に、NAS 時拒否度推定式を定義した (1 式)。実環境における評価実験により、NAS 時推定式は、AS 時推定と同程度の精度であることが確認された。エージェントは、AS・NAS 時推定式を用いて、ユーザの割り込み拒否度の推定を行う。

$$f_{nas} = 2 * \text{”直前打鍵有無”} + \text{”2 分間操作率”} + \text{”2 分間操作種類”} - 2 * \text{”5 分継続使用”} \quad (1)$$

(ii) 頭部運動履歴の利用

エージェントの推定精度向上と作業対象の拡張のため、本研究では、作業中のユーザの頭部運動の利用を検討している。高精度 3 次元モーションキャプチャ装置による、タスク中の被験者の頭部と拒否度の関係を分析した先行研究では、頭部の前後移動・上方回転と拒否度に強い相関が確認された [14]。この頭部運動は、作業量とは無関係に、ユーザの作業に対する集中度・態度を示す指標であることから、推定式へ取り入れることで、精度向上が期待できる。

しかし、秘書エージェントは、ユーザ PC に常駐するため、処理の負荷が小さく、また、頭部運動の取得は実用性を考慮した簡便な装置が望ましい。そこで本研究では、斜めに配置したサブモニター上に Web カメラを設置し、OpenCV による顔検出を行い、検出された顔の X 座標 (画像横軸) から、頭部の前後位置のみを近似的に求めることで、エージェントによる頭部位置取得を実現した。また、Web カメラの利用により、ユーザの不在検出や視線検出が可能である。

3.2.2 アンビエントな情報提示要求アピール

エージェントによる情報提示要求アピールは、対象ユーザの作業状況に応じ、共同注視と視線交差の 2 種類の視線制御方法を用いて行う [13]。

- 共同注視：NAS 時にアクティブウィンドウ方向に視線を向ける。ユーザの注視スペース (と予想される) を、エージェントも注視する素振りを見せることで、ユーザの作業内容に興味がある/用事があるのではないかと、気付きを促す。
- 視線交差：AS 時に、ユーザが着座しているであろうモニター正面に対しエージェントの顔を向けることで行う。AS 時は一時的に拒否度が低下することを利用し、より強いアピールによる提示要求への気付きを促す。

先行研究では、視線によるアピール強度を制御していないため、ユーザの拒否度に依らず基本的には同じ動作であった。そのため、実験では共同注視に気づきにくいといった報告がなされた。本研究では、3 段階での拒否度推定が可能となったことから、発話志向態度

モデル [8] に基づき、図 3 に示すような 3 段階のアピール強度制御を試みる。これにより、低拒否度時はより気づき易く、高拒否度時は気づきにくいアンビエントな要求提示を行う。

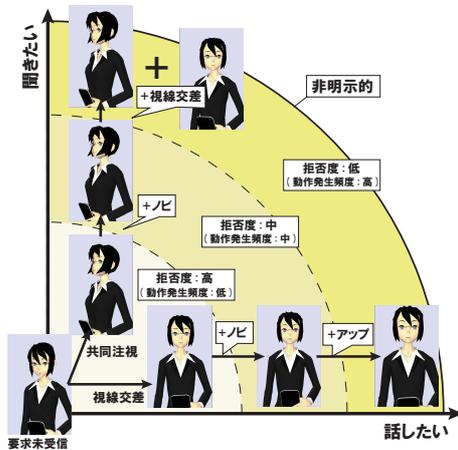


図 3: 共同注視・視線交差によるアピールの強度制御

4 実験

4.1 実験方法

秘書エージェントの仲介により、円滑なインタラクション開始が実現可能であることを検討するため、実験による検証を行った。実験は、4つの条件下で被験者にタスクを行わせ、タスク中の被験者にエージェントが自動で割り込みを行い、割り込みに対する拒否度の主観評価値を回答させた。さらに、各条件終了後にエージェントに対する印象を主観評価させた。被験者は、20代大学生・大学院生の男女8名とし、順序効果を考慮して、1条件につき25分間タスクを行わせた。被験者には、タスクとして2つのパズル(数独、クロスワード)を同時に行わせた。また、両パズルは条件ごとに問題を変更し、被験者には時間内にタスクを終わらせる必要がないことを教示として与えた。

(i) 実験条件

- ・条件 A: ランダム割り込み, メインモニタ表示
- ・条件 B: ランダム割り込み, サブモニタ表示
- ・条件 C: 推定割り込み, メインモニタ表示
- ・条件 D: 推定割り込み, サブモニタ表示

エージェントによる割り込みタイミングの決定方法が"ランダム"か"推定による低拒否度判定時"か、エージェントの表示場所がタスク実行用の"メインモニタ"かエージェント表示専用の"サブモニタ"かの、2要因・4条件の実験条件を設けた。これは、仲介によるインタラクション開始支援を行う上で、拒否度推定によるタイミング制御が有効であるか、また、エージェン

トの表示場所によって被験者のエージェントに対する印象が変化するかを検証するためである。

本実験での推定法は、3.2.1節で述べた、AS時とNAS時の割り込み拒否度推定とし、頭部運動履歴は算出のみで推定に利用しなかった。また、エージェントからの頻繁な割り込みによる主観評価値への影響に配慮し、ランダム・推定割り込み共に最小割り込み間隔を2分間とした。ランダム割り込みは、2分から3分間で1回の割り込みを行い、推定割り込みは、2分から2分30秒までを低拒否度のAS発生時、2分30秒以降をAS・NASを問わず低拒否度判定時とした。これは、先行研究においてAS時の拒否度がNAS時と比較して有意に低い結果であったことを考慮したためである。

サブモニタ表示は、図2で示すようにメインモニタ脇の7インチサブモニタ上に秘書エージェントを表示させた。メインモニタ表示は、表示用ウィンドウを画面右下に配置し、サブモニタに表示されるエージェントの大きさや物理的に等しくした。また、本実験では、視線制御による要求アピールを行わず、各モニタには、エージェントの全身が表示されるだけとした。

(ii) 評価方法

被験者の割り込み拒否度評価は、評価入力用のダイアログを音声「ちょっとよろしいですか」と共に表示し、割り込み後5分間会話が続きと仮定した場合の割り込み拒否度を5段階で主観評価させた。各評価値は、「1: 全く問題ない, 2: 問題ない, 3: どちらでもない, 4: 問題だ, 5: 非常に問題だ」とした。また、被験者には入力評価値にエージェントによる割り込み頻度を考慮しないよう教示を与えた。エージェントの印象に関する主観評価は、エージェントの割り込みタイミングの正確性、不適切なタイミングでの割り込みに対する許容度、エージェントを日常的に利用したいかの使用意欲の3つとし、各条件終了後に5段階(1:最低~5:最高)で主観評価させた。なお、被験者には、割り込みのタイミングに関して、全条件で「エージェントが低拒否度と推定した時である」と教示を与えた。

4.2 実験結果

実験開始後5分未満を除いた20分間を分析対象とした。図4に、各要因ごとの拒否度、正確性、許容度、使用意欲に関する評価値の平均値を示す。全評価項目に関して、2要因分散分析を行った。拒否度において、割り込み要因の主効果に有意差が確認され($F = 13.73, p < 0.01$)、表示要因は主効果に有意差はなかった。交互作用が見られたため、表示要因の各水準における割り込み要因の単純主効果検定を行ったところ、サブモニタ表示でより拒否度が低下していた($F = 11.18, p < 0.01$)。正確性・許容度・使用意欲においても、共に割り込み

要因の主効果のみに有意差が確認された ($p < 0.01$)。今回の実験では、要求アピール機能を使用しておらず、タスク中のエージェントを注視したり、インタラクションを行う必要がなかった。そのため、被験者からはタスク中にエージェントを見ることがなかったとの報告も受けており、表示要因による印象の違いが生じ難い結果となったと考えられる。

また、ランダム・推定割り込みにおける、拒否度評価値(3段階)の頻度を図5に示す。実験で収集した割り込み拒否度は5段階評価であるが、本研究での拒否度推定は低・中・高の3段階であるため、主観評価値1・2を拒否度"低", 3を"中", 4・5を"高"と置き換えて扱う。ランダム割り込みは、条件A・B合わせて112回、平均間隔は2分51秒であった。対して、推定割り込みは、89回(AS:49回, NAS:41回)、平均間隔は4分14秒となった。推定割り込みは、低拒否度を判定するまで割り込みを控えるため、ランダムと比較して割り込み頻度が若干低下しているが、大きな乖離は見られなかった。これは、推定対象をASだけでなく、NASまで拡張した結果と言える。また、推定精度は平均53%、誤差1以下の精度は平均70%となり、先行研究での実験より若干精度が低下したが、高拒否度を低く推定する危険な推定は少ない結果であった。ランダム割り込みの大半が高拒否度であったことから、推定によるタイミング制御の有効性が確認された。しかし、ASとNASの精度差は大きく(AS:平均拒否度1.9・適合率73%, NAS:平均拒否度3.2・適合率27%), タスクが特に知的作業に偏った影響と考えられる。

5 考察

5.1 仲介によるインタラクション開始支援

割り込みタイミングの適切さが、エージェントに対する印象に大きく影響を与える結果となった。エージェントが特定の目的を持つ場合は、やはり、その目的に対してユーザの主観的な達成感が重要であると考えられる。条件AとBは共にランダム割り込みだが、条件Bにおいて結果的に高拒否度割り込みが多くなったことが、他の評価項目に影響したと推測される。

一方、割り込みの正確さに対する評価とは無関係に、誤推定に対する許容度はメイン表示が上であった。実験後、サブモニタ表示のエージェントに対し、被験者からは「専用スペースを与えられているのに失敗するとガッカリする」「専用デバイスの意義が感じられなかった」といった報告を受けており、専用デバイスを利用したエージェントの性能に対する期待を、被験者が裏切られたと感じたことが原因と推測される。これはエー

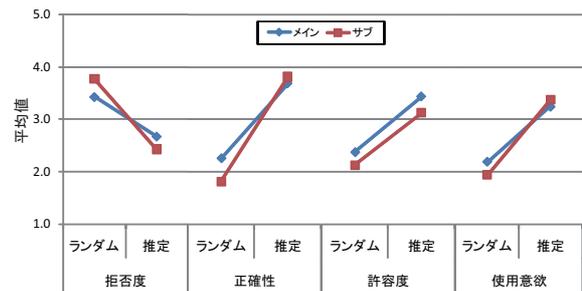


図 4: 実験結果

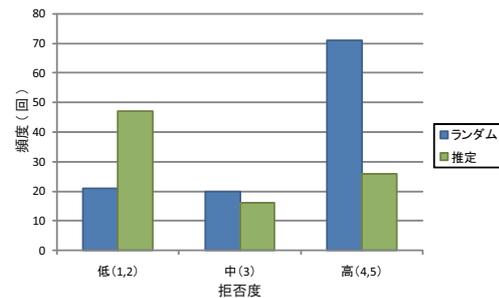


図 5: 拒否度比較: ランダム vs. 推定

ジェントの外見と性能の不一致による適応ギャップ [11] と同様の現象と考えられる。ソフトウェアエージェントの印象は、その外見だけでなく、使用するデバイスやそのコスト(ユーザが例え負担しなくても)を含め、実際の機能を天秤に掛けて判断される可能性が考えられる。また、サブモニタの利用に関しては、被験者から使用意欲に影響したとの報告がなされた。メインモニタへの表示は作業集中時でも視界に入るため、使用が敬遠される傾向にあった。これは、エージェントに対する印象が変化した訳でなく、あくまでも作業のし易さの問題と言える。ユーザのエージェントに対する信頼感や親近感、やはり両者の間に継続的なインタラクションがあってこそ発生すると考えられ、要求アピール機能を有効とした条件下で実験を行い、検証する必要があると考えられる。

5.2 頭部運動履歴の推定への利用可能性

3.2.1 節で述べたように、ユーザの頭部運動履歴の利用による推定精度の向上が期待される。そこで、実験中の被験者の頭部位置から前後移動を判定し、エージェントが低拒否度と推定し割り込んだ場合、実際の主観評価値の分布と、頭部運動の割合を分析した。頭部の前後移動の判定は、先行研究に基づき、割り込み時に検出された顔の X 座標から、割り込み直前 15 秒間の X 座標平均値を減算し、結果が正となった場合を前方移動、負となった場合を後方移動とした。また、割

り込み時に顔検出が出来なかったデータは分析から除外した。分析結果を図6に示す。

低拒否度においては、後方移動の割合が高く、逆に高拒否度になるほど、前方移動の割合が増加する傾向が見られた。前方移動時の平均拒否度 2.9 に対し、後方移動時は平均 2.2 となり、t 検定による有意差が確認された ($p < 0.01$)。前方/後方移動時に、必ずしも拒否度が低い/高いと決定はできないが、頭部運動指標の導入による推定精度向上の可能性が示唆された。

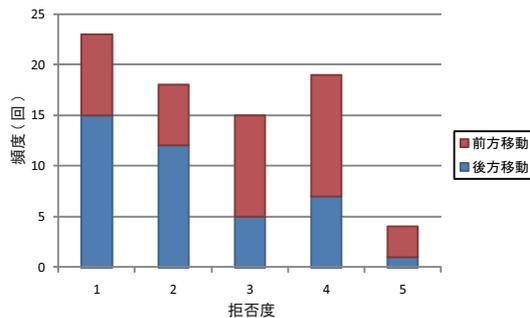


図 6: 低拒否度推定時の評価値分布と頭部運動の割合

6 おわりに

本研究では、ユーザに対する会話開始要求や情報提示要求を一括して仲介し、ユーザの割り込み拒否度に応じた視線制御によるアンビエントな提示要求アピールを行う、秘書エージェントの開発を行った。実験により、拒否度推定に基づく情報提示制御の有効性を確認した。今後の課題は、頭部運動履歴を利用した推定法の提案と要求アピールの有効性と影響の検討である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(21700130)、および、文部科学省特別教育研究費共生情報工学研究推進経費によるものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] B.P.Bailey, J.A.Konstan and J.V.Carlis: The Effect of Interruptions on Task Performance, Annoyance, and Anxiety in the User Interface, *Proc of INTERACT'01*, pp. 593-601 (2001)
- [2] 水口, 竹内, 倉本, 渋谷, 辻野: デスクワークにおける忙しさの自動推定, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 6, No. 1, pp. 69-74 (2004)
- [3] Daniel Chen, Jamie Hart, and Roel Vertegaal : Towards a Physiological Model of User Interruptability, *INTERACT 2007*, LNCS 4663, Part II, pp. 439-451 (2007)
- [4] Shamsi T.Iqbal, Brian P.Bailey: Leveraging Characteristics of Task Structure to Predict the Cost of Interruption, *Proc. of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 741-750 (2006)
- [5] 三好, 倉本, 渋谷, 辻野: タスク集中度と認知時間を指標とした周辺表示法の評価, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J89-A, No. 10, pp. 831-839 (2006)
- [6] 中島幸宏, 武川直樹, 湯浅将英, 大和淳司: 擬人化エージェントとの視線・仕草による相互理解 - 「じーっ, うん」で, ワカッテクレタ? -, *HAI2008* (2008)
- [7] K, Kobayashi, S. Yamada: Informing a User of Robot's Mind by Motion, *CIRAS2005*, SS4B-3 (2005)
- [8] Yuasa, Mukawa, Kimura, Tokunaga, Terai: An utterance attitude model in human-agent communication: from good turn-taking to better human-agent understanding, *Proc. of CHI2010*, pp. 3919-3924 (2010)
- [9] 小川, 小野: ITACO: メディア間を移動可能なエージェントによる偏在知の実現, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 8, No. 3, pp. 373-380 (2006)
- [10] 小松, 関, 山口, 笹間, 山田: 異なるメディアに現れるバーチャルエージェントがユーザの行動に与える影響, 第 24 回人工知能学会全国大会 (2010)
- [11] 山田, 角所, 小松: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, *人工知能学会誌*, Vol. 21, No. 6, pp. 648-653 (2006)
- [12] 田中, 松村, 藤田: 利用アプリケーション切り替え時に着目したユーザの割り込み拒否度推定法の検討, *人工知能学会論文誌*, Vol. 25, No. 6, pp. 683-693 (2010)
- [13] 田中, 藤田: ユーザの割り込み拒否度を考慮した円滑な会話開始支援エージェント, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J92-A, No. 11, pp. 852-863 (2009)
- [14] 藤田, 田中, 竹井: デスクワーク中の割り込み拒否度の頭部運動からの推定可能性の検討, *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009* (2009)