原著論文

割り込み拒否度推定に基づくアンビエント情報提示による円滑なインタラクション開始支援†

田中 貴紘*・藤田 欣也*

近年、情報システムがユーザへ情報を提示する機会が増えてきている。しかし、情報提示タイミングや提示頻度、提示方法にユーザの作業状況が適切に反映されることは少ない。本研究では、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実現に向け、外部からの情報提示（割り込み）要求を一括して調停し、割り込みによる作業効率低下を軽減するインタラクション開始支援法を提案する。エージェントは、PC作業履歴からユーザの割り込み拒否度を推定し、提示タイミング制御を行う。さらに、推定結果に合わせ、CGキャラクターの共同注視・視線交差により、ユーザへ割り込み要求をアンビエントにアピールする。実験により、拒否度推定に基づくタイミング制御とアピールによるアンビエント情報提示が、それぞれ割り込みによる負荷の軽減に有効であることを示し、さらに、両手法の組み合わせが割り込みによる作業効率の低下を軽減する可能性を示した。

キーワード：割り込み拒否度、ユーザ状態推定、調停、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、ヒューマン・エージェント・インタラクション

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きている。さらには、在宅テレワークの普及やサテライトオフィス間のコミュニケーション支援・情報共有に向けた取り組みも行われている。一方で、電子メールの着信通知やインスタントメッセージツールによる会話、エージェントやロボット等からの情報提示など、情報システムからユーザへ、情報を随時提示する機会も増えてきている。しかし、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、その提示方法にもユーザ状態は考慮されていない。そのため、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]。

作業中のユーザの忙しさを推定することで情報提示タイミングを制御する研究には、幾つかの先行研究がある。PC作業を対象として、キー入力数やマウス操作量などのPC操作情報から作業中の忙しさを推定する研究[2, 3]や、PC作業の切れ目を検出することで、

割り込みに適切なタイミングを推定する研究[4, 5, 6]が行われている。また、オフィスワークを対象に、マイクやカメラなど各種センサ情報からユーザの作業種を判定し、ユーザの忙しさを推定する研究も行われている[7, 8, 9]。しかし、思考などの知的作業への対応が困難、事前に作業の構造解析が必要、多様なセンサを作業環境に設置することは現状においては容易ではない等、実用性に課題が残されている。一方、情報提示方法を変更することで、ユーザ作業を阻害しない割り込みの可能性が指摘されている[10]。エージェントやロボットによる情報提示を想定した、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、作業中のユーザに対する間接的な情報提示の有効性[11]や、人間の日常的な動きをキャラクターやロボットが模倣することでユーザに気付きを促すことが可能と報告されている[12, 13]。

著者らは、人と共生する情報システムの実現に向け、先行研究として、PC作業時のアプリケーション切り替え(focused Application-Switching: AS)に着目した、PC作業時割り込み拒否度(割り込みを受け入れられない度合い)推定法を提案し、実環境下での有効性を検証してきた[14, 15]。また、インスタントメッセージングツールを対象に、アバタの視線制御を用いた、真に忙しい場合は気付かない程度のアンビエントな表現による、会話開始要求の提示方法を提案してきた[16]。しかし、状態推定結果に基づく制御は、状態

† Support for Acceptable Interaction Start using Ambient Information Presentation based on User Uninterruptibility Estimation Takahiro TANAKA and Kinuya FUJITA

* 東京農工大学大学院
Tokyo University of Agriculture and Technology

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た。また、アンビエント表現による情報提示への気付き易さは、PCモニタ上の使用領域や個人差の影響を受け易く、集中時と重なった場合の悪影響が懸念された。さらには、円滑なインタラクション開始を実現するために、タイミング制御と提示制御がどのように有効であるか、また、併用の効果があるかの検討も必要であった。

そこで本研究では、他ユーザや情報システムからの情報提示(割り込み)要求を一括して仲介・調停し、人と人、人と情報システム間の円滑なインタラクションの開始を支援する秘書エージェントの開発を最終的な目標とし、割り込み拒否度推定に基づく提示タイミング制御技術と、視線によるアンビエント情報提示技術の組み合わせによる、円滑な情報提示方法の実現を目的とする。エージェントは、ユーザのPC操作履歴から推定した作業中の割り込み拒否度に基づき、拒否度が低く変化したタイミングで、視線制御を使ったアピールによるアンビエントな情報提示を行うことで、割り込まれる側の心的負担を軽減した、インタラクション開始支援を実現する。

本論文では、まず、関連研究について次章で述べた後、3章で割り込み拒否度推定とアンビエント情報提示法を併用したインタラクション開始支援と秘書エージェントの試作について述べる。次に、4章で評価実験、5章で考察を述べた後、6章でまとめる。

2. 関連研究

2.1 ユーザ状態推定

これまで、ユーザコンテキストを利用して作業中のユーザ状態の推定を試みる研究は行われている。中でも、PC作業中のユーザの忙しさを推定する研究では、キー入力数やマウス操作等のPC操作量に基づく推定方法が提案されている[2, 3]。これらの研究では、ユーザのPC操作量が多くなるほどユーザが忙しいと想定されており、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PC操作量などの物理的アクティビティとして計測できない場合には、忙しさを適切に反映することが困難と予想され、知的作業を含めたユーザの忙しさの推定が一つの検討課題として挙げられる。

一方、ユーザの作業中への割り込みではなく、作業の切れ目を検出し割り込みを行う試みもなされている。これらの研究では、メインタスクへの割り込みタイミングと情報認知・作業効率の違いについて実験的に検証した結果、メインタスクの開始時(ファイルメ

ニューからの新規ファイル読み込み時)、タスク集中前(アプリケーションのメニューバー操作時)が、割り込みタイミングとして望ましいと指摘している[4]。また、ユーザの行うタスクの構造分析を元に割り込み拒否度を推定する研究[5]においても、新規ファイルの作成やファイル保存などの作業の準備段階の方が、ファイル編集などの実作業段階と比較して拒否度が低くなることを示している。区切りキーや無操作時間に着目し、作業の小休止を検出し割り込みを行う方法も検討されている[6]。ユーザのPC環境や使用方法・目的は多岐に渡り、またマルチタスクによる作業遂行も頻繁に発生するため、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。

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。ユーザの身体に筋電計と心拍計を装着し、忙しさを推定する研究[7]では、高精度の推定が可能とされているが、生体情報は外部要因の影響を受け易く、また、直接ユーザの身体にセンサを装着することは実環境への適用が困難であるといえる。一方、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[8, 9]。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。これらのセンサ情報は、ユーザの作業内容や忙しさの推定に有用な情報となる可能性は高いが、利用環境へのセンサ設置が必要であり、導入コストの面からも現状においては容易ではないなど、実用性に課題が残されている。

2.2 アバタを用いた情報提示

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、誘目効果が強く強制的にユーザに働き掛けるため、誤推定発生時に作業を妨害する危険度が高い[10]。よって、ユーザの認知負荷の少ない直観的な提示に加え、真に忙しくない場合は気付き易く、逆に忙しい場合は気付き難い、誤推定にロバストな割り込み方法の検討が必要と言える。

近年、直観的な情報提示方法として、身体性を持ったエージェントやキャラクタによる、ノンバーバル情報を利用した情報提示方法の研究が行われている。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とされている[17]。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されている[12]。また、ロボットが人の日常的な動作を模倣するとその意図を人が理解し易いこと[13]、キャラクタのノビや動作の向きによって、キャラクタによる発話要求の表現が可能であることも報告されている[18]。身体性を持ったエージェントやキャラクタを使用することで、表情表出やジェスチャ等のノンバーバル表現を情報提示へ応用することが可能と考えられる。また、人とエージェントとの間に親近感や信頼感を伴う関係が生じると、人のエージェントに対する態度が変化すること[19]、エージェントの表示サイズや人との距離によっても、人はエージェントに異なる反応を示すこと[20]が報告されている。エージェントの外見や表示方法を検討することで、仮に誤差による不適切な割り込みが発生した場合でも、人のエージェントに対する心理的な悪影響を軽減し、システムの継続的な使用に有効と考えられる。

2.3 PC作業時割り込み拒否度推定法とアバタを用いた情報提示の検討

従来研究において、PC操作量のみから知的作業をも反映した忙しさを推定することは容易ではなかった。著者らは、作業中のアプリケーションの切り替え(AS)時に着目し、AS時には、作業内容を問わず割り込みに対する拒否度が一時的に低下することを実験的に確認した。そこで、AS発生直前のPC作業履歴の詳細な分析を行い、AS時の拒否度に有意に影響を与える19個の特徴を選定し、これら特徴を用いて、低・中・高の3段階でのAS時割り込み拒否度推定法を提案した[14]。学生を被験者とした実験の結果、低・高拒否度の識別は5割以上の適合率を実現し、また、推定誤差が1以下となる確率が8割を超える結果となった。推定結果に基づき情報提示制御を行う際に、高拒否度と低拒否度が入れ替わる誤推定はユーザの作業を阻害する危険性が高く、誤差1以下の割合は実用性を検討する上で重要と考えられるが、提案手法は、このような危険な誤推定を回避可能であることが示された。しかし、低拒否度を正しく推定出来た割合は1時間に平均1～2回程度に留まり、同一アプリケーションを長時間継続して使用するほどAS発生率が減少するため、ユーザへの情報提示機会は十分とは言えない結果であった。そこで、推定精度を維持しつつ、より多くの情報提示機会を確保するため、同一作業継続(Not focused Application- Switching: NAS)時の割り

込み拒否度推定も行えるよう、NAS時の拒否度に影響する4種の特徴を加えて拡張を行った、PC作業時割り込み拒否度推定法を提案した[15]。表1に、AS時およびNAS時特徴を示す。職場実環境において、業務従事者13名を被験者に収集した約930時間分のデータに対し、本推定法を適用した結果を図1に示す。図1は3段階の拒否度推定結果に対し、実際に被験者が回答した拒否度主観評価値が含まれていた割合を示す。各拒否度の頻度は、「低／中／高拒否度と推定した場

表1 PC作業時拒否度に影響を与える指標群

	指標
作業の切れ目	A AS後にウィンドウ数が増加
	B AS後にウィンドウ数が減少
	C 過去2分間にAS後のウィンドウ数増加がない
	D 過去2分間にAS後のウィンドウ数減少がない
	E ウィンドウ閉時のWindowメッセージを検出
遷移アプリケーション間の関係	F AS前にクリップボードの更新を検出
	G 親プロセスウィンドウから子プロセスウィンドウへの遷移
	H 子プロセスウィンドウから親プロセスウィンドウへの遷移
	I 過去2分以内に同アプリケーションを使用
	J Explorerへ遷移
	K Explorerから遷移
	L Explorerへ遷移し、かつ過去2分以内にもExplorerへ遷移していた
PC操作量	M Explorerから遷移し、かつ過去2分以内にもExplorerから遷移していた
	N 前ASから2分以上経過したAS
	O 前ASから15秒以内のAS
	P AS直前の20秒間に打鍵操作を検出
	Q AS直前の20秒間にマウス操作を検出
	R 過去2分間のキー・マウス操作時間の割合が10%超
	S 過去2分間にキーとマウスを併用
NAS時	T 直前の20秒間に打鍵操作を検出
	U 過去2分間にキー・マウス操作時間の割合が30%超
	V 過去2分間にキーとマウスを併用
	W 過去5分以内にExplorerから遷移

図1 業務従事者を対象とした拒否度推定結果（研究開発/事務職13名、930時間）

図2 アバタによる拒否度表示と会話要求アピール

合に、実際の評価が低／中／高拒否度だった割合」であるため、例えば、低拒否度と推定したうち、実際に低拒否度評価であった割合は、低拒否度推定の適合率を示す。同様に、低拒否度推定時の高拒否度の割合は、高拒否度を低拒否度とする誤推定の割合(逆側誤推定率)を示す。実験の結果、職場環境においても研究室環境と同程度の精度で拒否度推定が可能であり、また、高い拒否度を低く推定する危険な誤推定を回避できる可能性を示した。特殊なセンサを用いずとも、一般的なPC作業全般を対象とした割り込み拒否度推定が可能であることを示したが、推定精度向上が課題であった。

また、著者らは、インスタントメッセージツールを対象として、他のオンラインユーザのアバタを画面左上に表示し、このアバタの視線制御による会話開始アピール機能を持ったエージェントの試作を行ってきた[16]。実行例を図2に示す。エージェントは、他ユーザからの会話開始要求を受け取ると、直接割り込むのではなく、アバタの視線交差と共同注視、2つの視線制御により“話し掛けたい”ことをアピールする。これに気付いたユーザが自ら話し掛けることで、割り込まれることなく会話を開始することが可能となる。実験により、アピールによる円滑な会話開始支援の可能性を示したが、モニタ上のアバタの表示箇所とユーザの使用領域が近い場合には、作業への集中状態であってもアピールに気付き易くなり、アピールタイミングの制御が必要であること、複数アバタを表示した場合は、それぞれが非同期にアピールを行うため、全体として誘目効果が高くなるなどの課題が挙げられた。

3. 割り込み拒否度推定に基づくアンビエント情報提示

本章では、円滑なインタラクション開始支援を目的とした、割り込み拒否度推定とアピールによるアンビエント情報提示を併用するインタラクション開始支援

の提案と、これを機能として実装した、秘書エージェントの試作について述べる。

3.1 “調停”によるインタラクション開始支援

ユーザの忙しさを推定し、推定値を用いてユーザ間のコミュニケーション支援を試みる研究の多くでは、ユーザ同士が推定値を公開し合い、割り込み側のユーザが相手の忙しさに応じて割り込む手段を選択するシステムが提案されている[21]。しかし、このようなシステムでは、割り込むタイミングや手段は、割り込み側に選択権があり、割り込まれる側は忙しさを公開していても、必ずしも自身の状況に配慮された割り込みとならない可能性がある。また、作業中の忙しさは、プライバシー情報とも捉えられており、公開の是非や社会的関係による公開範囲の変更の必要性なども議論されている[21]。割り込む側も、適したタイミングや手段か、その都度判断する必要があるため、相手側に配慮しようとするほど認知的負荷が高く、また、配慮したにも関わらず、誤推定による不快感を与える怖れがある。

一方、割り込みを受けた作業中には、それまで遂行していた作業に関する情報を“一時的に記憶する負荷”、割り込んできた作業を実施する間も、元作業を“リハーサル(記憶が失われないよう定期的に読み出す)し続ける負荷”、および作業復帰の際に一時的に格納した“記憶を呼び出すための負荷”が発生することが指摘されており、割り込みによる作業効率の低下の原因とされている[22]。また、これらの負荷は、割り込みの発生通知と割り込み作業への切り替えの間に数秒の遅延(Interruption Lag)がある場合には、遅延がない場合よりも負荷が軽減され、復帰が早まることが示唆されている[24]。

本研究では、ユーザのPC上に常駐する秘書エージェントが、外部からの会話要求や情報提示要求を一括して保留し、それら要求を受信したタイミングではなく、ユーザの割り込み拒否度が低下したタイミングで、視線を使ったアンビエントなアピールにより、ユーザ自身が要求に気付くよう促すことで、円滑なインタラクション開始を支援する。本研究ではこれを、調停によるインタラクション開始と呼ぶ。

調停によるインタラクション開始までの具体的な流れを図3に示す。秘書エージェントは各ユーザPCに常駐し、随時ユーザのPC操作履歴から割り込み拒否度を推定する。他ユーザへ割り込みを行いたい場合は、自身のエージェントを介して、対象ユーザへ割り込み要求を送信する。送信後は、そのまま作業を継続し、対象ユーザからの反応を待つ。エージェントは、

図3 調停によるインタラクション開始

外部から割り込み要求を受信すると、要求を保持した状態で、ユーザの割り込み拒否度が低下するまで待機する。そして、低拒否度状態が検出されたタイミングで、秘書キャラクタの視線制御により、ユーザへ要求の存在をアピールする。最後に、アピールに気付いたユーザが、任意のタイミングで、自らエージェントに対して情報確認を行い、インタラクションが開始される。

調停により、ユーザはお互いの作業量や割り込み拒否度などのプライバシー情報を伝送・公開する必要がない。また、割り込み側は、割り込み要求さえ送信すれば、相手側に配慮したタイミングでの割り込みが自動で行われ、拒否度の変化を注視したり、タイミングを判断したりするなどの負担もなく、自身の作業を行いながら返信を待つだけで良い。割り込まれる側は、自身の気付きによって能動的に行動を選択することができるため、開始タイミングの主導権を保持することが可能となり、気付きから割り込みの間に、任意の長さの遅延を設けることが可能である。よって、割り込みによる作業への負荷のうち、一時的に記憶する負荷と記憶を呼び出すための負荷を軽減することで、割り込みによる作業効率の低下を軽減すると考えられ、円滑なインタラクション開始に繋がると期待される。

調停によるインタラクション開始を実現するためには、割り込み拒否度推定を利用した提示タイミング制御と、真に忙しい場合には気付かないアンビエントな表現による情報提示法の組み合わせが必要である。次節では、この二つの機能を実装した、秘書エージェントの試作について述べる。

3.2 秘書エージェントの試作

本研究で試作した秘書エージェントのシステム構成を図4に示す。秘書エージェントは、主に、割り込み拒否度推定モジュールと、視線制御による提示要求アピールモジュールの2つのモジュールから構成され

図4 秘書エージェントの構成

図5 システム実行環境例

る。エージェントは、ユーザのPC操作履歴から3段階の割り込み拒否度を推定する。外部からの会話開始や情報提示の要求を受信すると、ユーザの低拒否度発生タイミングに合わせて、共同注視と視線交差を併用した要求アピールを行い、外部からの割り込み要求に対するユーザの気付きを促す。モジュールの詳細については、次節で順に述べる。

また、本研究では、秘書キャラクタの表示領域として、ユーザの作業用メインモニターとは別に、メインモニター脇にUSBサブモニターを設置し、使用することを想定している。図5にシステム実行環境の例を示す。専用デバイス上にエージェント表示領域を設けた理由は、ユーザの作業領域の一部をエージェントが占有することで作業効率が低下するのを回避し、作業に使用している領域によって、アピールの誘目効果がバラつくのを防ぐためである。さらには、ユーザのエージェントに対する好意的印象の醸成を意図している。これ

は、エージェントの表示位置が人に近く、かつ小さく表示されているほど、人はエージェントからの割り込みを受け入れ易くなるとの報告[20]や、身近なエージェントとの継続的なインタラクションにより親近感や信頼感が生じ、人がエージェントに対して好意的に振舞う可能性が指摘[19]されており、エージェントが、ユーザの作業領域には浸食せず、しかし、近い位置で常に存在し、調停というインタラクションを継続することで、誤推定による不適切な動作が発生したとしても、エージェントに対する心理的悪影響を軽減し、継続的な使用を促進すると期待されるためである。20代大学生・大学院生の男女8名を被験者とし、推定・アピールの同様の機能を有したエージェントを、メインモニタに表示した条件とサブモニタに表示した条件で比較した予備実験では、被験者が主観的に感じる推定精度に加えて、不適切な割り込みに対する許容度やエージェントの使用意欲においても、サブモニタに表示した条件が有意に高い結果となることが確認されている[25]。

3.2.1 割り込み拒否度推定モジュール

本モジュールでは、2.3節で述べた通り、著者らが提案するPC作業時割り込み拒否度推定法[14, 15]により、PC作業履歴のみから低・中・高の3段階の割り込み拒否度を推定する。

本モジュールは、まず、ユーザから0.5秒毎にPC作業履歴(キー入力数、クリック数、ホイール回転量、アプリケーション名、プロセスID、ウィンドウメッセージ、クリップボード更新信号、同時起動ウィンドウ数)を収集し、表1に示すような、作業履歴上の特徴を2値化して検出する。次に、PC作業時をAS時とNAS時に分割し、それぞれに設定された推定式により、拒否度推定値を出力する。AS時推定は、AS前後でのウィンドウ数の増減変化ごとに、増加時(≡作業開始)推定式、減少時(≡作業終了)推定式、無変化時(≡作業継続)推定式の3種類の推定式を切り替えて行う。各推定式を式(1)～(4)に示す。各指標の係数と拒否度判定の閾値は実験的に定めている。

PC作業時拒否度推定式

- アプリケーション切り替え時：AS時推定式 F_{AS}

$$\begin{aligned} &\text{➤ 増加時: } F_{AS} = f_{inc} \\ &f_{inc} = \{A + G - N + I \cdot (1 - K) + K \cdot (C + O)\} \\ &\quad + \{R + (P + S) \cdot (1 - K)\} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ 不変時: } F_{AS} = f_{neu} \\ &f_{neu} = \{F + I - N + K \cdot M + J \cdot L\} \\ &\quad + \{2 \cdot \max(P, Q) + 2 \cdot \max(R, S)\} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ 減少時: } F_{AS} = f_{dec} \\ &f_{dec} = -\{B + E \cdot J + D + H \cdot (1 - E) + N\} \\ &\quad + \{2R - 2S\} \end{aligned} \quad (3)$$

- 同一作業継続時：NAS時推定式 F_{NAS}

$$F_{NAS} = 2T + U + V + W \quad (4)$$

$$\text{拒否度} = \begin{cases} \text{高 } F_{AS} \geq 0.8, F_{NAS} \geq 0.7 \text{ のとき} \\ \text{中 } 0.5 \leq F_{AS} < 0.8, 0.2 \leq F_{NAS} < 0.7 \text{ のとき} \\ \text{低 } F_{AS} < 0.5, F_{NAS} < 0.2 \text{ のとき} \end{cases}$$

職場環境下で業務従事者を対象とした評価実験では、AS時とNAS時共に、同程度の精度で推定可能であること、高い拒否度を低く推定する危険な誤推定を回避できる可能性を確認している[15]。

3.2.2 提示要求アピールモジュール

本モジュールは、外部からの割り込み要求を受信した場合に、ユーザの割り込み拒否度に基づき、秘書キャラクタの視線制御によるアンビエントな要求アピールを行う。

先行研究[16]を元に、日常的に人が他者へ話し掛けたい場合に行う、“話し掛けたい相手の様子を伺う動作”を模倣した、「ユーザへ振り返る：視線交差」と「ユーザと同じ対象を見る：共同注視」の2種類の視線制御により、ユーザへ割り込み要求が存在することをアピールする。また、比較的誘目効果の高い視線交差をAS時に行うアピール、共同注視をNAS時に行うアピールとする。これは、AS時の割り込み拒否度がNAS時と比較して有意に低いという結果に基づき、要求に全く気付かない事態を避け、かつ、よりリスクの低い割り込みを行うためである。図6に、共同注視と視線交差によるアピール実行例を示す。

- 共同注視(NAS時)：現在のユーザの注視対象と予想されるアクティブウィンドウを、エージェントが同様に注視する素振りを見せることで、“自身の作業内容に興味がある≡要求があるのではない

図6 共同注視・視線交差によるアピール

か”と気づきを促す。

- **視線交差(AS時)**：AS時は一時的に拒否度が大きく低下することを利用し、着座したユーザの方をエージェントが振り向き視線交差するという強いアピールによって、“見られている”様子を伺われている”と気づきを促す。

先行研究[16]では、ユーザがアピールに気付くまで、AS時の視線交差とNAS時の共同注視を交互に継続して実行していた。しかし、アピールの誘目効果は、ユーザの作業状況に影響を受けること、集中時であればアピールに気付かないという保証がないなど、課題も挙げられた。そこで、本モジュールでは、ユーザの低拒否度推定時を、視線アピールの発動タイミングとする。また、割り込み拒否度推定は、AS時推定とNAS時推定の併用により行うが、NAS時推定はその性質上、作業アクティビティが観測され難い思考などの知的作業や、PC・非PC作業の混合(紙資料などを併用する作業)時に大きく推定精度が低下し、AS時推定と比較して作業種の影響を受け易いため、提示機会確保の側面が強い[23]。そこで、割り込み拒否度推定モジュールから、推定値に加え、算出した推定式の種類を受け取ることで、AS時推定による低拒否度推定時をアピールタイミングとして優先し、任意の時間内にユーザの低拒否度ASが発生しなかった場合はNAS時推定も利用するよう、推定式間の優先順位を設定可能とした。

4. 評価実験

本実験では、秘書エージェントの調停によるインタラクション開始支援の有効性の検証を目的とした割り込み実験を行い、タスク中の被験者の割り込み拒否度主観評価と、エージェントに対する印象評価を行った。

4.1 実験方法

実験は、割り込みタイミングと割り込み方法を要因とする4種類の実験条件下にて、被験者にタスクを行わせ、エージェントがタスク中の被験者に自動で割り込み、割り込みに対する拒否度の主観評価値を回答させた。実験タスクは、PC上でウェブ単語検索を利用した英文和訳とパズル(数独)を並行して解答させた。被験者は20代大学生・大学院生の男女10名とし、順序効果を考慮し、1条件につき25分間タスクを行わせた。なお、被験者には時間内にタスクを完了する必要がないことを教示として与えた。

4.1.1 実験条件

実験は、割り込みタイミングに関するタイミング要

因と、割り込み方法に関する提示要因の2要因を設定した。タイミング要因には、従来の情報システムと同様に、割り込み要求発生と同時に割り込む「ランダム割り込み」と、被験者の低拒否度を推定した際に割り込む「推定割り込み」の2水準を設けた。また、提示要因では、ダイアログウィンドウで割り込む「直接提示」と、秘書キャラクタの視線制御による「アピール提示」の2水準を設けた。以下に、実験条件をまとめる。

- 条件A：ランダム割り込み、直接提示
- 条件B：推定割り込み、直接提示
- 条件C：ランダム割り込み、アピール提示
- 条件D：推定割り込み、アピール提示

ランダム割り込みは、3分間から4分間に1回の頻度で、任意のタイミングでの割り込みとした。推定割り込みは、最短割り込み間隔を2分間とし、割り込み間隔が2分以上3分未満の場合は、低拒否度AS時のみを対象に、3分を超えた場合はAS・NASの低拒否度時を割り込みタイミングとした。これは推定に基づく割り込み回数が、ランダムと比較して少なくなり易いためであり、両水準間の回数差が小さくなるよう、予備実験を元に設定した。

直接提示水準では、評価入力用ダイアログを表示することで割り込みを行い、アピール提示水準では、アピールに気付いた被験者がエージェントに触れることで評価入力用ダイアログを提示した。また、アピール開始時刻と評価入力時刻を記録し、アピールに気付くまでの時間も集計した。秘書キャラクタは、実験条件によらず、図5に示すように、常にサブモニタ上に表示した。

4.1.2 評価方法

被験者に入力させる割り込み拒否度は、先行研究と同様に、割り込み後5分間会話が継続と仮定した場合の拒否度を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”の5件法とした。推定結果との比較は、先行研究と同様に、評価値1・2を拒否度「低」、3を「中」、4・5を「高」とする、低・中・高の3段階で行った。また、被験者には、割り込みタイミングのみを評価し、割り込み頻度を考慮しないよう教示を与えた。アピール提示水準の場合は、アピールに気付いたタイミングでの拒否度を入力させた。エージェントに対する印象評価は、割り込みタイミングが適切であったか(正確性)、不適切タイミングでの割り込みを許容できるか(許容度)、提示

制御システムとして秘書エージェントを使用したいか（使用意欲）の3項目とし、各条件終了後に“1：全く思わない～5：非常に思う”の5段階で評価させ、また条件間の順位を回答させた。なお、被験者には、全条件で“エージェントが低拒否度と推定した時に割り込む”と教示した。

4.2 実験結果

4.2.1 拒否度比較

図7に、各条件における、被験者による割り込み拒否度主観評価回答数を示す。条件ごとの拒否度平均値は、条件Aは3.6、条件Bは2.3、条件Cは2.9、条件Dは1.7となった。2要因分散分析の結果、タイミング要因と提示要因に交互作用は見られず、タイミング要因の主効果($F(1,155) = 37.16$)と、提示要因の主効果($F(1,155) = 11.87$)が1%有意で確認された。よって、ランダム割り込みよりも推定割り込みの方が拒否度は有意に低く、同様に、直接提示よりもアピール提示の方が有意に低いことが確認された。

各条件における拒否度（3段階）頻度の比較を図8に示す。条件BとDは、エージェントが低拒否度と推定した場合に割り込むため、図中の低拒否度頻度は、

図7 各条件における拒否度主観評価回答数

図8 各条件における拒否度（3段階）頻度

「低拒否度と推定した場合に、実際の評価が低／中／高拒否度だった割合」であり、推定の適合率を示す。条件Bにおける低拒否度推定の適合率は63%、逆側誤推定率は21%となり、先行研究における実験結果と同程度であった。一方、条件Dにおいては、推定の適合率は85%と向上し、逆側誤推定率は4%となった。また、ランダム割り込みである条件Aでは、割り込みの63%が高拒否度時の割り込みと偏りがあったのに対し、アピール提示とした条件Cでは、各拒否度が30%程度となった。アピールに気付くまでの時間は、条件Cで平均23.6秒（標準偏差20.8、最短3.5秒、最長1分34秒）となり、条件Dでは平均10.3秒（標準偏差11.4、最短3.5秒、最長37秒）となった。

4.2.2 エージェントの印象評価

図9に、各条件におけるエージェントに対する印象評価平均値を示す。まず、正確性評価に対し2要因分散分析を行った結果、タイミング要因と提示要因に交互作用は見られず、タイミング要因の主効果($F(1,36) = 35.78$)と提示要因の主効果($F(1,36) = 9.21$)が1%有意で確認された。同様に、許容度でも交互作用は見られず、タイミング要因のみ主効果が1%有意で確認された($F(1,36) = 12.41$)。使用意欲でも交互作用は見られず、タイミング要因の主効果($F(1,36) = 12.95$)と提示要因の主効果($F(1,36) = 15.36$)が1%有意で確認された。よって、全評価項目において、条件Aが最も低く、条件Dが最も高い結果となった。また、条件BとCにおいて、使用意欲に差が見られなかった。被験者が回答した4条件間の平均順位は、条件Dが1.3、条件Cが2.3、条件Bが2.5、条件Aが3.6となった。タイミングはランダムであっても、アピール提示の方が好ましいとする報告も挙げられた。

図9 各条件における印象評価結果

5. 考察

5.1 タイミング制御と提示制御の併用の有用性

割り込み拒否度推定によるタイミング制御のみを行った場合は、適合率が63%となり、先行研究と同程度の結果であった。これに、アピール制御を併せることで適合率は85%となり、推定単体よりも20%以上向上する結果となった。さらに、逆側誤推定率は4%と非常に低く、高い拒否度を低いとする危険な誤推定を高確率で回避することが出来た。条件Dにおいて、アピールに気付くまでの時間は平均10.3秒であったが、アピールにすぐ気付いたと思われる5秒未満の頻度は、全体の58%となり、条件Bの適合率と同程度となった。同様に、ランダム割り込みを行った条件Cでも、5秒未満の頻度は全体の22%であり、やはり条件Aの適合率と同程度となった。推定アルゴリズムは条件BとDで全く同じであるため、本来の推定精度に違いはないが、高拒否度時のアピールに被験者が気付かなかったため、被験者の体感的な推定精度が向上したと考えられる。正確性の印象評価においても、このような体感的な推定精度の向上により、推定とアピールを併用する条件Dが最も高く評価されたと考えられる。よって、アンビエントなアピール提示は、推定誤差にロバストな情報提示制御の実現に繋がる可能性が示唆されたと言える。

許容度に関しても、条件Dが最も高い結果となった。内観報告では、タイミング制御と提示制御のそれぞれの利点が評価理由として挙げられた。タイミング制御に関しては、推定による割り込みタイミングが、全体的に適切であったことが理由として挙げられた。これに加え、被験者が、AS時の割り込みから、エージェントが“作業の切れ目を狙っている”と、エージェントの行動理由を想像し、仮に不適切なタイミングであっても、努力の上の失敗と見なし許したとの報告もあった。一方で、ランダムな割り込みは、なぜそのタイミングであるかの理由を全く想像できず、ストレスを感じたとの報告も複数人の被験者から受けた。システムの動作理由を推測できる情報や表現の提示が、ユーザのシステムへの理解を促す[13]ことも報告されており、被験者が、エージェントを擬人化して捉え、その行動理由を自分なりに想像し、納得できたことも、良い印象に繋がったと考えられる。一方、アピール提示に関しては、ほとんどの被験者が、強制的に割り込まれず、自身から働き掛けて割り込みを発生させるため、自分に常に主導権があり作業を中断させられた気がしないと回答し、気付きから対応までの間の存在を評価理由として挙げていた。ユーザの裁量で

決定可能な間が、“ユーザ側の都合が優先される関係”として捉えられ、エージェントへの許容度に影響したと推測される。

使用意欲に関しても条件Dが最も高く、全被験者が、適切なタイミングで、かつ、気付きから対応までの間が存在することで、スムーズに作業を中断出来た点を評価理由として挙げた。条件AとB間、条件AとC間の評価値の伸びを比較すると、正確性や許容度に関しての評価は、タイミング制御の方がより向上しているが、条件BはCよりも適切なタイミングで割り込みが行われたと評価されているにも関わらず、割り込み制御システムとしての使用意欲に両者の差はなかった。これは、割り込みによる負担の軽減効果に関しては、タイミング制御が提示制御に優越する訳ではなく、両手法単独の効果に余り差がないためと推測された。そこで、割り込みの前後10秒間[24]を対象に、打鍵が検出された時間の割合をそれぞれ算出し、割り込み前後での打鍵率の差分を条件ごとに比較した。打鍵率に着目した理由は、両実験タスクにおいて、解答(思考内容を出力)に必ず使用し、また、打鍵量では英文和訳と数独では解答に要する回数が異なるためである。割り込み前後の打鍵率差の平均値を図10に示す。ランダム・直接提示の条件Aは、割り込み後に打鍵率が平均8.3%低下し、最も低い結果となった。タイミング制御のみの条件Bは4.8%低下、アピール提示のみの条件Cは4.9%低下と同程度であり、条件Aよりも低下が抑えられていた。一方、条件Dでは5.6%の上昇となった。これは、割り込みによる被験者への負荷のうち、それまでの作業内容を“一時的に記憶する負荷”と、復帰時に“記憶を呼び出すための負荷”が軽減され、作業再開が早まったためと推測される。また、2

図10 割り込み前後の打鍵率の変化

要因分散分析の結果, タイミング要因 ($F(1,155) = 4.04$) と提示要因 ($F(1,155) = 3.91$) の主効果が, それぞれ 5% 有意で確認された。以上から, 調停によるインタラクション開始支援が, 割り込まれる側の負担を軽減し, 作業効率の低下を抑制する可能性があると考えられる。

5.2 秘書エージェントの実現に向けて

本研究では, 他ユーザや情報システムからの情報提示(割り込み)要求を一括して仲介・調停し, 人と人, 人と情報システム間の円滑なインタラクションの開始を支援する秘書エージェントの開発を最終的な目標としている。本論文では, 主に割り込まれる側の支援を目的に, タイミング制御と提示制御の併用による調停を提案し, その有用性を検証した。作業中のインタラクション開始には, 割り込む側と割り込まれる側が存在するため, 割り込む側への支援も今後の課題の一つとして挙げられる。割り込む側は, 割り込み要求の送信後, 相手側からの反応を待つだけである。しかし, 要求側も作業を行っており, その状況は時々刻々と変化する。そのため, いざ返信を受け取った時には, 会話できない状態となり, 返信自体が重大な割り込みとなる可能性もある。そのため, どの程度の時間で返信が見込めるのかの予測や判断材料を, エージェントが要求送信前に提示するなどの支援が考えられる。また, アピール提示は, 返信が為されるまで相手は気付いておらず(または無視している), 割り込みが実行されていないと見做すことが出来るため, 要求をリセットすることは容易である。自身の拒否度変化や待ち時間の長さによって, 要求をキャンセルしたり, 返信手段(電話・インスタントメッセージからメールへ等)を自動変更したりするなどの支援も考えられる。また, 被験者からは, アピール提示によって, 重要な情報に直ぐに気付かない可能性を懸念する声も挙がった。提示したい情報の重要性や緊急性に応じて, 要求への気付き易さをコントロールすることが可能となれば, より有用性の高い情報提示制御の実現に繋がると考えられる。エージェントの表示位置や動作の種類・大きさ・速さ・頻度等を制御することで, アピールへの気付き易さが変化することは確認[25]されており, 提示強度のコントロールは可能であると考えられる。また, 割り込み拒否度推定精度の改善と, 推定対象とする作業種の拡張も今後の課題として挙げられる。著者らは, 作業中の頭部運動を用いて, PC・非PC作業の混合状態も対象とした, 拒否度推定の可能性を検討し, 推定への適用可能性を確認している[26]。

6. おわりに

本研究では, 他ユーザや情報システムからの情報提示要求を一括して仲介し, 人と人, 人と情報システム間の円滑なインタラクションの開始を支援する秘書エージェントの実現に向け, 拒否度推定に基づくタイミング制御と, アピールによるアンビエント提示制御を組み合わせた, 調停によるインタラクション開始支援を提案した。実験により, タイミング制御と提示制御の有効性を検討し, さらには, 両手法の併用が, 推定誤差にロバストで, より適切なタイミングでの作業効率低下を軽減した情報提示制御法の実現に繋がる可能性を示した。今後の課題は, 割り込み側への支援, 頭部運動等の外部要因を利用した推定精度向上と対象作業拡大の検討である。

謝辞

本研究の一部は, 科学研究費補助金(21700130, 23300045), および, 独立行政法人情報通信研究機構(NICT)委託研究「計算機利用履歴や環境情報を利用した状況推定技術」によるものである。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] G. Mark, V. M. Gonzalez, J. Harris, "No task left behind? Examining the nature of fragmented work", Proc. CHI'05, pp.321-330 (2005).
- [2] 本田, 富岡, 木村, 大澤, 岡田, 松下: 作業者の集中度に応じた在宅勤務環境の提供: 仮想オフィスシステム Valentine, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1472-1483 (1998).
- [3] 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).
- [4] Mary Czerwinski, Edward Cutrell and Eric Hirvut, "Instant Messaging: Effects of Relevance and Timing; people and computers XIV", Proc. of HCI2000, Vol.2, pp.71-76 (2000).
- [5] 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).
- [6] 上田, 石田, 倉本, 渋谷, 辻野: 計算機作業環境におけるユーザのインタラクションに応じた周辺情報の提示タイミング, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-A, No.2, pp.260-269 (2008).
- [7] Daniel Chen, Jamie Hart, and Roel Vertegaal, "Towards a Physiological Model of User Interruptibility", INTERACT 2007, LNCS 4663, Part II, pp.439-451 (2007).
- [8] J. Fogarty, S. E. Hudson, C. G. Atkeson, D. Avrahami, J. Forlizzi, S. Kiesler, J. C. Lee, J. Yang, "Predicting

- human interruptibility with sensors”, ACM Trans. Computer-Human Interaction, Vol.12, No.1, pp.119-1464 (2005).
- [9] J.Lester, T.Choudhury, N.Kern, G.Borriello and B.Hannaford, “A Hybrid Discriminative / Generative Approach for Modeling Human Activities”, Proc. of IJCAI-05, pp.766-772 (2005).
- [10] 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).
- [11] 工藤, 小澤, 吉岡: アバタとエージェントを利用した仮想対話インタフェースによるSoft Interaction, 人工知能学会論文誌, Vol.19, No.4, pp.351-359 (2004).
- [12] 中島, 武川, 湯浅, 大和: 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?-, Proc. of HAI2008 (2008).
- [13] K. Kobayashi, S. Yamada: Informing a User of Robot's Mind by Motion, Proc. of CIRAS2005, SS4B-3 (2005).
- [14] 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).
- [15] 田中, 深澤, 竹内, 野中, 藤田: 業務従事者を対象としたPC作業時の割り込み拒否度推定可能性の検討, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.126-137 (2012).
- [16] 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).
- [17] A.Kendon, “Some Functions of Gaze-direction in social interaction”, Acta Psychologica, Vol.26, pp.22-63 (1967).
- [18] 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).
- [19] 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).
- [20] 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).
- [21] J. David, H.Ramos, S.Voida, G.Mark, “A design space analysis of availability-sharing systems”, Proc. of UIST'11, pp.85-95 (2011).
- [22] D.D.Salvucci, N.A.Taatgen, J.P. Borst, “Toward a unified theory of the multitasking continuum: from concurrent performance to task switching, interruption, and resumption”, Proc. of CHI2009, pp.1819-1828 (2009).
- [23] 田中, 深澤, 竹内, 野中, 藤田: 業務中の割り込み拒否度推定可能性の検討, HIシンポジウム2011, 2223L (2011).
- [24] J.G.Trafton, E.M.Altmann, D.P.Brock, F.E.Mintz, “Preparing to resume an interrupted task: Effects of prospective goal encoding and retrospective rehearsal”, International Journal of Human-Computer Studies, Vol.58, pp.583-603 (2003).
- [25] 田中, 藤田: 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, HAIシンポジウム2010, 3B-4 (2010).
- [26] 安部, 田中, 藤田: 頭部運動指標によるデスクワーク形態の識別可能性の検討, 第73回ヒューマンインタフェース学会研究会 (2011).
- (2012年3月12日 受付)
(2012年4月21日 採録)
- [問い合わせ先]
〒184-8588 東京都小金井市中町2-24-16
東京農工大学大学院
田中 貴紘
TEL: 042-388-7928
E-mail: takat@cc.tuat.ac.jp

著者紹介

田中 貴紘 [非会員]

2006年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2007年東京農工大学大学院共生科学技術研究院助教, 現在に至る。知的エージェント, ヒューマンエージェントインタラクションなど, 人と人, 人とエージェント間のコミュニケーション支援に興味を持つ。

藤田 欣也 [非会員]

1988年慶應義塾大学大学院理工学研究科修了。相模工業大学, 東北大学医学部, 岩手大学を経て, 現在東京農工大学大学院教授。共有仮想空間コミュニケーション, VRシステムや感覚の遠隔共有など, 人と共生する情報システムのためのヒューマンインタフェースの研究に従事。工学博士。

Support for Acceptable Interaction Start using Ambient Information Presentation based on User Uninterruptibility Estimation

by

Takahiro TANAKA and Kinya FUJITA

Abstract :

In recent years, the opportunity that users receive information from information systems has been increasing. The timing, frequency and presentment of interruption have not been controlled in most of the systems. In this paper, we proposed the interaction start method which reduces the negative effect of work efficiency of the interrupted user by mediating an interruption request from outside, users and information systems, for developing the secretary agent that supports acceptable interaction start. The agent estimates the user uninterruptibility from PC operation records, then controls the timing of interruption based on it. Moreover, the agent uses the ambient appeal using the joint attention and mutual gaze animations of CG character for presenting the interaction request. We confirmed the usefulness of the both methods and a reduction effect of negative influence for the work efficiency by interruptions.

Keywords : interruptibility, user state estimation, mediation, HCI, HAI

Contact Address : **Takahiro TANAKA**

Tokyo University of Agriculture and Technology

2-24-16, Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8588, JAPAN

TEL : 042-388-7928

E-mail : takat@cc.tuat.ac.jp