

作業態度を反映したユーザの割り込み拒否度推定の検討

Study of User Interruptibility Estimation reflecting Workers Attitude

田中 貴紘*¹ 青木 和昭*¹ 藤田 欣也*¹
Takahiro Tanaka Kazuaki Aoki Kinya Fujita

*¹東京農工大学大学院

Graduated school, Tokyo University of Agriculture and Technology

Frequent and uncontrolled interruptions by information systems that do not reflect the user state can result in fragmented working time and decreased intellectual productivity. To avoid adverse interruptions, interruptibility estimation methods based on PC operation information have been proposed. This study focuses on head motions and postures, and the stagnation of task performance, which are expected to reflect worker attitude toward the work. Based on the analysis of the relationship between the head-related parameters PC operation records and interruptibility, we proposed an interruptibility estimation algorithm using four head-related indices and a stagnation-related index that reflect interruptibility during PC work. Improvement of the estimation accuracy was demonstrated by evaluation experiments.

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り、在宅テレワーク環境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が行われている。一方で、情報システムからの通知や遠隔の他ユーザからの話し掛けなど、ユーザがシステムから情報提示に伴う割り込みを受け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、ユーザの状態を反映しない割り込みは知的生産性を低下させると指摘されている [Mark 08]。

ユーザの状態推定に関する従来研究として、PC 操作量 [本田 98]、ペンの位置や会話有無 [水口 04]、あるいは各種センサ情報 [Danniger 08] による忙しさ推定の試みがあるが、これらは物理的なアクティビティを指標として用いることから、深思考などの知的作業による割り込み拒否状態を反映することは困難と予想される。一方、作業中のブレイクポイントは割り込みにより発生する認知負荷が低くなるため、作業種によらず、拒否度が低下する可能性が指摘されている [Monk 04]。従来研究 [Iqbal 06] では事前のタスク構造分析に基づくブレイクポイントの自動検出が試みられているが、作業内容が多岐に渡る実環境での自動検出方法が課題である。

著者らは、これまで、利用アプリケーションの切り替え (Application-Switching: AS) 情報を作業の切り替わりタイミングと見なし、PC 作業中のユーザの割り込み拒否度 (割り込みを受け入れられない主観的な度合) 推定手法を提案してきた。また、実際の職場環境において、提案手法の有効性の検証を行い、実環境での推定可能性を確認した [田中 12]。一方、マルチタスクや割り込みの影響に関する先行研究では、タスク切り替え時には記憶の中断・再開にかかる認知負荷が発生し、作業復帰遅延 (Resumption lag: RL) [Altman 02] が生じることが報告されており、発生する認知負荷を拒否度推定に反映することで、推定精度の向上が期待された。しかし、拒否度と認知負荷の関係を分析したところ、実環境においては拒否度が

高いほど RL は短くなるという結果であった [Tanaka 14]。これは、実環境においては、割り込みにより発生する認知負荷の高低よりも、作業者の作業に対する態度や集中度合の方が、割り込み拒否度により強く影響したためと推測された。

作業者の作業態度や集中度合に関する先行研究では、外部からの観察可能な情報として、作業中の頭部の動き [McDuff 12] や作業中の小休憩頻度 [内山 14] が報告されている。頭部の動きは注視対象や作業者の姿勢を表し、また、疲労等により集中度合が低下すると、作業中に短い休憩が発生する頻度が高くなるとされている。

そこで本研究では、作業者の作業態度や集中度合を反映すると期待される、作業中の頭部運動と作業停滞に着目し、PC 作業中の割り込み拒否度推定手法の改善を試みた。分析により抽出した、頭部の「前傾」「後退」「上方回転」「前傾継続」と「操作間隔」を新たな指標として、既存手法の拡張を行ったところ、推定精度の向上が確認されたので報告する。

2. 頭部運動・作業停滞と拒否度の分析

2.1 頭部運動・作業停滞による作業態度反映の可能性

作業中の割り込み拒否度は、ユーザの作業態度の影響を受ける可能性が示唆された [Tanaka 14]。先行研究では、外部から観察可能な情報として、頭部位置が体の位置や姿勢、注視対象の移り変わりや集中状態の変化を反映する可能性が報告されている [McDuff 12]。そこで著者らは、作業態度を反映する要因として、作業者の頭部運動に着目した。作業者の頭部にマーカーを装着し、高精度な 3 次元モーションキャプチャ装置を用いて頭部運動と割り込み拒否度との関係を検討した結果、頭部が前傾している場合は拒否度が高く、逆に頭部が上を向いた (Pitch 回転) 場合には拒否度が低くなることが確認された [木村 11]。しかし、実環境にて頭部運動を利用するためには、より簡便な装置で、ある程度正確に頭部運動を取得する方法を検討することも課題であった。

また、オフィス環境における知的生産性評価に関する先行研究では、知的生産性の低下とは、短い作業中断頻度の増加として表出すると指摘している [内山 14]。これは、疲労等により作業者の集中度合が低下すると、作業中に短時間の休憩を取るためである。この短時間休憩の頻度が高いほど、作業者が作業

に集中しておらず、結果として知的生産性が低下するとされている。先行研究では、実験タスクの平均解答時間からの乖離度合に基づき、短時間休憩が否かを判別しているため、作業内容に制約のない実環境では適用は困難である。しかし、オフィスワークにおいても、作業者は何らかの目的を持ち、目的達成のため作業を遂行している点は共通すると言える。PC作業を推定対象とした場合、目的達成のためには作業遂行行為（PC操作）を継続する必要があるため、PC操作が検出される間隔は、作業者の集中度合を反映する可能性が考えられる。

2.2 割り込み実験によるデータ収集

作業中の頭部運動・PC操作と割り込み拒否度の関係を分析するため、作業中の被験者にシステムが割り込み、その時点の割り込み拒否度主観評価値を収集する割り込み実験を行った。

本研究では、デスクワーク中のユーザを想定し、机に向かって椅子に着席した被験者の頭部運動履歴とPC操作履歴を収集する実験用システムを構築した（図1）。実験用システムは、被験者のPC上に常駐し、作業中の被験者のPC操作履歴を収集する。また、Webカメラと顔トラッキングソフトウェア（Seeing Machines社 faceAPI）を用いて、作業中の頭部運動履歴を収集する。さらに、システムが作業中の被験者に割り込みを行い、割り込み拒否度の主観評価値を回答させた。

取得するPC操作履歴は、キー入力数、クリック数、ホイール回転量、アクティブウィンドウ名、プロセスIDとプロセスの親子関係、ウィンドウメッセージ、クリップボード更新信号、および、同時起動ウィンドウ数とし、これを500ms毎に取得した[田中12]。頭部運動履歴は、頭部の左右位置（X座標）・上下位置（Y座標）・前後位置（Z座標）と、頭部の上下の向き（Pitch角度）・左右の向き（Yaw角度）、および、左右の傾斜（Roll角度）を500ms毎に取得した。計測の際は、被験者が机に正対した状態で、背筋を伸ばして椅子に着席し、両手をキーボード上に置いた姿勢を基準とした。

拒否度の主観評価値は、被験者の頭部が予め設定した割り込み条件を満たした場合に、システムが被験者に割り込みを行い、回答させた。入力する評価値は、「割り込み後に5分間程度会話をする」場合の、割り込みを受け入れられない度合を5段階（1：全く問題ない～5：非常に嫌だ）とした。また、割り込みの最低間隔を2分間とし、被験者には、入力評価値へ割り込み頻度を考慮しないよう教示を与えた。

被験者は、大学生男女8名と大学教員2名の10名とし、各被験者から5時間の計50時間の実験を行った。被験者にはタスクを課さず、作業内容にも制限を設けずにデータを収集し

た。被験者の主な作業は、プログラミング、文書作成、データ整理等のPC作業、紙資料の閲覧、工作などの非PC作業が観察された。

2.3 分析

実験により収集した実験データ（割り込み回数：567回）を分析し、割り込み拒否度を反映する頭部運動指標、および、作業停滞指標の選定を行った。

2.3.1 拒否度推定に用いる頭部運動指標の検討

まず、作業中の頭部の運動量と割り込み拒否度との関係を分析した。これは、作業中に頭部が多く動く場合は作業量が多く、拒否度が高くなると考えられるためである。しかし、頭部の移動量・回転量と拒否度に相関は確認されなかった。よって、頭部の単純な運動量や回転量から拒否度を推定することは困難であり、先行研究にて示唆されたように、位置や移動の方向を考慮する必要があると言える。そこで、「頭部の位置・向き」、「頭部の移動・回転」、「頭部状態の継続性」と拒否度との相関を分析した。

(1) 頭部の位置・向き

頭部の前後位置と拒否度との関係を分析した。被験者ごとに取得した基準姿勢のZ座標値から現在の頭部のZ座標値を減算し、非階層クラスター分析による2クラスタへの分割を試みた。分析の結果、基準値から86前方を平均値とする平均拒否度3.5のクラスタと、141後方を平均値とする平均拒否度2.4のクラスタに分割された。また、両クラスタ間に有意差が確認された（ $F(1, 430) = 62.0, p < 0.01$ ）ことから、頭部の前後位置が拒否度推定に有用であることを示唆する結果と言える。本研究ではこれを、「頭部が前傾していると拒否度が高くなる」とした。

また、頭部の上下向きと拒否度との関係の分析を行った。現在の頭部のPitch角度から被験者がPCモニタ上端を注視した時のPitch角度を減算し、拒否度評価値を対象とした、非階層クラスター分析を行った。分析の結果、モニタ上端から21.4度下方を平均値とする平均拒否度3.3のクラスタと、5.1度上方を平均値とする平均拒否度2.4のクラスタに分割され、クラスタ間に有意差が確認された（ $F(1, 248) = 18.2, p < 0.01$ ）。よって本研究では、「頭部が上を向いていると拒否度が低くなる」とした。

(2) 頭部の移動・回転

頭部の前後移動と拒否度との関係を分析した。移動量の算出方法は、現在のZ座標値と1.5秒前の座標値の差分とした。非階層クラスター分析の結果、1.5秒間に平均200mm後退とする平均拒否度2.3のクラスタと、平均25.2mm前進とする平均拒否度3.3のクラスタに分割された。また、両クラスタ間に有意差が確認された（ $F(1, 293) = 29.1, p < 0.01$ ）。頭部の前後移動量と拒否度の関係が示唆されたことから、本研究では、「頭部が後退すると拒否度が低くなる」とした。また、同様に、頭部の上下回転と拒否度の関係を分析したが、クラスタ間に有意差は確認されなかった。

(3) 頭部状態の継続性

頭部のZ座標値が基準値よりも前にある状態を前傾とし、過去1分間に前傾していた時間比率を算出し、非階層クラスター分析を行った。その結果、平均前傾時間比率を0.74とする平均拒否度2.0のクラスタと、平均前傾時間比率0.83の平均拒否度4.5のクラスタに分割された。また、両クラスタ間に有意差が確認された（ $F(1, 430) = 1566.8, p < 0.01$ ）。作業中の前傾状態が長く続くほど作業に対する集中度が高いという、直観的にも妥当な結果と考えられる。本研究では、「頭部の前傾時間

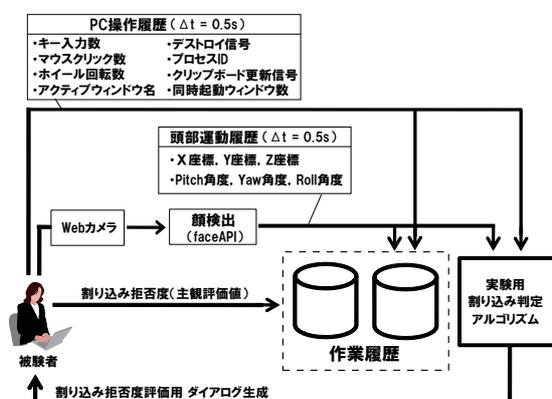


図1: 実験用システムの概要

比率が高いと拒否度が高くなる」とした。同様に、過去数分間に上を向いた回数、後退した回数、前進・後退の切り替え回数などの分析を行ったが、拒否度との相関は確認されなかった。

2.3.2 拒否度推定に用いる作業停滞指標の検討

PC 作業中の休憩時には PC 操作は行われないと仮定し、作業中の PC 操作間隔と拒否度の関係を分析した。PC 操作間隔は、キー操作とマウス操作（クリック、ホイール使用）が未検出であった時刻から、どちらか一方の操作が検出されるまでの時間として算出した。ただし、離席による長時間の PC 操作間隔の影響を排除するため、PC 操作間隔の上限を 60 秒間とした。分析の結果、PC 操作間隔と拒否度の間に、低い負の相関 ($r = -0.234$) が確認された。よって、操作間隔が長くなるほど、拒否度が低下する可能性が示唆された。そこで、PC 操作間隔と拒否度の非階層クラスター分析を行った。その結果、PC 操作間隔 5.8 秒を中心とする平均拒否度 3.3 のクラスと、54.5 秒を中心とする平均拒否度 2.5 のクラスに分割された。また、両クラス間に有意差が確認された ($F(1, 565) = 1790.6, p < 0.01$)。よって本研究では、「PC 操作間隔が長いと拒否度が低くなる」とした。

次に、集中度合が低下した場合には頻繁に作業停滞が発生すると仮定し、過去数分間の作業停滞回数と拒否度の関係を分析した。作業停滞状態は、上述の分析によって得られた 2 クラスの中間値である 25 秒間を閾値とし、これを超えた場合とした。しかし、過去 1 分間と 5 分間の停滞回数と拒否度の相関分析を行った結果、過去の停滞回数と拒否度に相関は確認されなかった。

3. 作業態度を反映した割り込み拒否度推定

3.1 PC 作業時割り込み拒否度推定法の概要

これまで著者らは、PC 作業時を推定対象とした PC 作業時割り込み拒否度推定法を検討してきた [田中 12]。この推定法では、PC 作業中の状況をアプリケーション切り替え (AS) 時と同一作業継続 (NAS) 時に分け、それぞれの状況において拒否度に影響を与える推定指標を選定し、指標を元にした推定式を設定している。表 1 に NAS 時推定指標を示す。各推定指標は 2 値化されており、それぞれの特徴が検出された場合を 1、そうでない場合を 0 として計算される。特に、19 種の推定指標を用いる AS 時推定式と比較して、NAS 時推定式は、主に PC 操作量に関連する 4 種の指標のみに基づいているため、AS 時推定と比較し誤差が生じやすい傾向が確認されていた。そこで本研究では、NAS 時推定式に頭部運動指標と作業停滞指標を加え拡張することで、推定精度の向上を試みる。

3.2 頭部運動・作業停滞を反映した拒否度推定式

前節までの分析結果に基づき、本研究では表 2 に示す、4 個の頭部運動指標と 1 個の作業停滞指標を選定した。各指標の閾値は、クラスター分析における各クラスターの平均値を元に実験的に設定している。また、従来研究と同様に、すべての特徴を検出/非検出で二値化して扱う。

本研究では、この 5 個の指標に従来手法で推定に用いた PC 操作指標 4 個を加えた、計 9 個の推定指標を用いて NAS 時割り込み拒否度推定式の拡張を行った。推定式の各係数は、重回帰分析に基づき、推定式と拒否度の相関が最も高くなるよう決定した。推定式を式 (1) に示す。推定式は、各指標を表 1 と表 2 に示した A~I の指標 ID を用いて表記する。従来手法と同様に、算出される推定値を正規化し、0 から 1 の範囲の値をとる。指標値は、特徴を有する場合を 1、それ以外を 0 とする。

$$F(x) = 2 \cdot A_x + B_x + C_x + D_x + E_x + F_x + 2 \cdot \bar{G}_x + 2 \cdot \bar{H}_x + \bar{I}_x \quad (1)$$

表 1: NAS 時推定指標の概要

特徴		拒否度 の変化
ID	特徴名	
A	直前 20 秒間にキー操作検出	高く
B	過去 2 分間の操作率が 30%以上	
C	過去 2 分間にキーとマウスを併用	
D	過去 5 分間以内シェルから遷移	

表 2: 頭部運動指標と作業停滞指標

特徴		拒否度 の変化
ID	特徴名	
E	頭部が基準 Z 座標よりも前に位置	高く
F	過去 1 分間の前傾時間比率が 80%以上	
G	直前 10 秒間に頭部が 150mm 以上後退	低く
H	直前 10 秒間に頭部がモニタより上向き	
I	PC 操作間隔が 6 秒以上	低く

本手法で判定する割り込み拒否度は、先行研究と同様に、低・どちらでもない・高の 3 段階とした。推定式 $F(x)$ で得られる推定値から、3 段階の拒否度を判定するため、検討データにおいて各拒否度を最も識別する値を実験的に求め、式 (2) で示す閾値を設定した。

$$\text{拒否度} = \begin{cases} \text{高} & F(x) \geq 0.8 \\ \text{どちらでもない} & 0.5 \leq F(x) < 0.8 \\ \text{低} & F(x) < 0.5 \end{cases} \quad (2)$$

4. 提案手法による拒否度推定の試行

前節で提案した推定式を、推定指標の選定にて分析対象とした検討用データに適用し、NAS 時割り込み拒否度推定を試みた。なお、推定対象の NAS は実験開始後 5 分以降とし、対象データは、NAS 時の割り込み拒否度主観評価値 554 回分とした。実験で得られた 5 段階の主観評価値から 3 段階への置き換えは、先行研究と同様に、拒否度 1・2 を“低”、3 を“どちらでもない”、4・5 を“高”と置き換えて扱う。

4.1 推定結果

推定試行結果を図 2 に、各結果を (a) 従来手法 (PC 操作指標のみ) と (b) 提案手法 (頭部指標・停滞指標追加) に分けて示す。図 2 は、各推定結果に対し、実際の各評価値が含まれていた割合を示す。よって、低拒否度と推定した結果のうち、評価値が低拒否度であった割合は、低拒否度推定の適合率となる。PC 操作指標のみに基づく従来手法では、低拒否度推定の適合率は 64%、再現率は 42%、高拒否度推定の適合率は 62%、再現率は 35%であった。また、推定式と拒否度の相関係数は 0.35 であった。一方、提案手法では、低拒否度の適合率 72%、再現率 42%、高拒否度の適合率 83%、再現率 34%となった。また、推定式と拒否度の相関係数は 0.50 となった。提案手法により、低拒否度推定で適合率 8%、高拒否度推定で適合率 21%の向上が確認された。

4.2 考察

試行の結果、頭部指標と停滞指標を追加することによって、適合率が約 10~20%向上する結果となった。推定式と拒否度評価値との相関が向上しており、頭部と停滞指標の追加によって、より人の主観的な拒否度に近づいたと考えられる。特に、

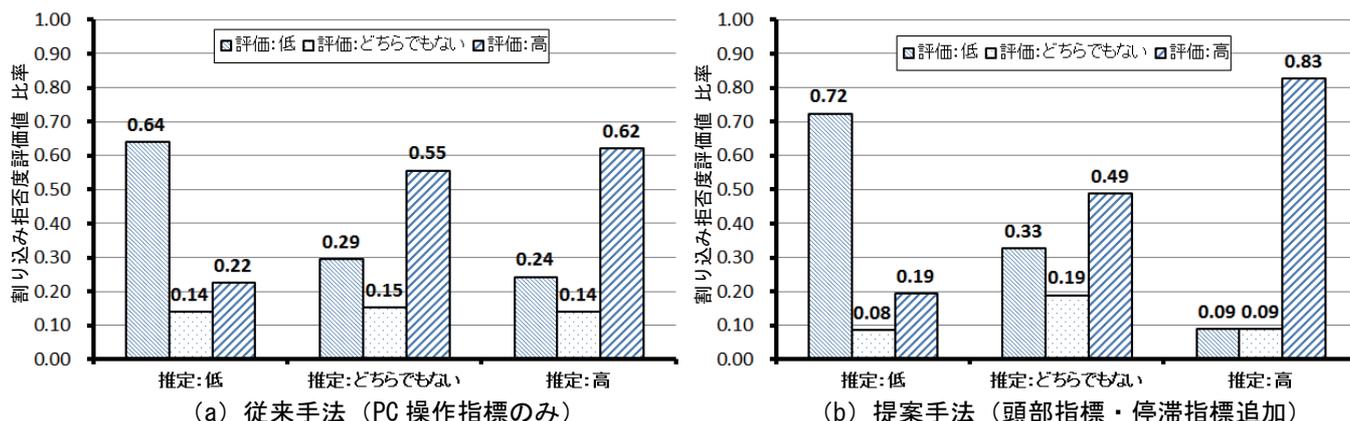


図 2: 推定試行結果 : (a) 従来手法 (PC 操作指標のみ) , (b) 提案手法 (頭部指標・停滞指標追加)

高拒否度推定精度が大きく向上したことから、本研究で追加した指標は、高拒否度状態とそれ以外を識別することに有効であったと推測される。

頭部指標は、PC 操作指標と異なり、物理的な作業量を反映しない。そのような頭部指標の追加により精度が改善したことから、作業者の作業態度や集中度合といった、内的状態を推定へ反映することを可能としたと推測される。

本研究では、作業停滞指標として PC 操作履歴を対象とした分析を行ったが、作業中の休憩状態は頭部運動としても表出されると予想され、詳細な分析が必要である。

5. おわりに

本研究では、作業者の作業態度の考慮による、PC 作業時割り込み拒否度推定の改善を検討した。分析により得られた、拒否度を反映する頭部指標と作業停滞指標の追加により、推定精度の改善を確認した。今後の課題は、頭部運動と作業停滞の関係分析、および、AS 時割り込み拒否度推定法の拡張が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金、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

[Altman 02] E. M. Altman and J. G. Trafton, Memory for goals: An activation-based model, *Cognitive Science*, Vol.26, pp.39-83, 2002.

[Mark 08] G. Mark, D. Gudith and U. Klocke, The cost of interrupted work: more speed and stress, *Proc. of CHI2008*, pp.107-110, 2008.

[本田 98] 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.

[水口 04] 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.

[Danniger 08] M. Danninger and R. Stiefelwagen, A context-aware virtual secretary in a smart office environment, *Proc. of the 16th ACM international conference on Multimedia*, pp.1143-1144, 2008.

[Monk 04] C. A. Monk, D. A. Boehm-Davis and J. G. Trafton, Recovering from interruptions: Implications for driver distraction research, *Human Factors*, Vol.46, pp.650-663, 2004.

[Iqbal 06] S. T. Iqbal and B. P. Bailey, Leveraging characteristics of task structure to predict costs of interruption, *Proc. of CHI2006*, pp.741-750, 2006.

[田中 12] 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.

[McDuff 12] D. McDuff, A. Karlson, A. Kapoor, A. Roseway and M. Czerwinski, AffectAura: An intelligent system for emotional memory, *Proc. of CHI2012*, pp.849-858, 2012.

[木村 11] 木村, 田中, 藤田, 頭部の前後・回転運動に着目したデスクワーク中の割り込み拒否度と頭部運動の関係の分析, *情報処理学会論文誌*, Vol.52, No.4, pp.1485-1494, 2011.

[Tanaka 14] T. Tanaka, N. Taatgen, K. Aoki, K. Fujita, Resumption lag at interruptible timing was not short in actual environment, *Proc. of CHI2014*, 2014.

[内山 14] 内山, 宮城, 石井, 下田, 大林, 岩川, 知的生産性評価のための集中指標算出ツールの開発, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.16, No.1, pp.29-40, 2014.