

ユーザからのフィードバックに適応する モバイル型デスクトップ作業支援システムの提案と実装

Proposal and Implementation of Mobile Type Desktop Work Support System to Using User Feedback

齋藤 晴紀*¹ 栗原 聡*^{2*3}
Haruki saito Satoshi Kurihara

*¹電気通信大学大学院情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications

*²電気通信大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

*³人工知能先端研究センター
Artificial Intelligence eXploration Research Center

In recent years, attention has been focused on ambient information processing research which actively interacts with the environment or human. In this paper, focusing on desktop work using office PC (personal computer), we are conducting research to improve comfort of work environment. In the desktop work, placement of the window of the PC, taking out and tidying up desk items makes the operator feel annoying, leading to a decrease in work efficiency and an increase in working time. We treat PC windows and desk items as agents that can act, and try to reduce user's placement behavior. So far, this time we have implemented a mechanism to adapt to mobileization and user feedback, and evaluated the application range and the improvement of the accuracy of the interaction in the evaluation experiment.

1. はじめに

近年、科学技術の進歩を背景に、環境情報や行動情報を解析し、環境や個別の人の行動予測に基づいて能動的にインタラクションを行うアンビエントの研究に注目が集まっている [1]. アンビエント研究の多くは、空調やBGM、照明などを操作することにより、ユーザの生活空間の快適性向上を目指すものが多い [2][3]. しかしながら、人は生活空間内で趣味や仕事に関する作業を行っていることが多く、生活空間の快適性向上だけでなく、作業そのものをサポートするためのアンビエント研究もまた重要な研究課題の一つである。

本論では、現代のオフィスや家庭環境で増加する、机上でPCを用いるデスクトップ作業に着目し、デスクトップ作業の快適性向上を目的とする研究について述べる。デスクトップ作業において、PC上のアプリケーションウィンドウの配置操作、机上の物品の取り出しや片付けは、本来の作業目的と異なる準備動作である。本来の作業目的と異なる準備動作は作業者に煩わしさを感じさせ、作業効率の低下や作業時間の増大を招く恐れがある。

藤田ら [4] や児島ら [5] が提唱するデスクトップ作業支援システム (AIDE: Autonomous Interactive Desk Environment) では、PC上のウィンドウや机上の物品を自律行動可能なエージェントとして扱うことで、作業内容に応じてウィンドウや作業物品が自立的に配置されるようになっている。ウィンドウや作用物品が自立的に配置されることで、ユーザが行う配置動作の煩わしさを低減し、作業環境の快適性向上を図っている。このAIDEの研究によって、PCウィンドウや机上物品のエージェント化のメカニズムや解決すべき課題が明らかとなった。本研究では、藤田ら [4] や児島ら [5] の研究成果をもとに、

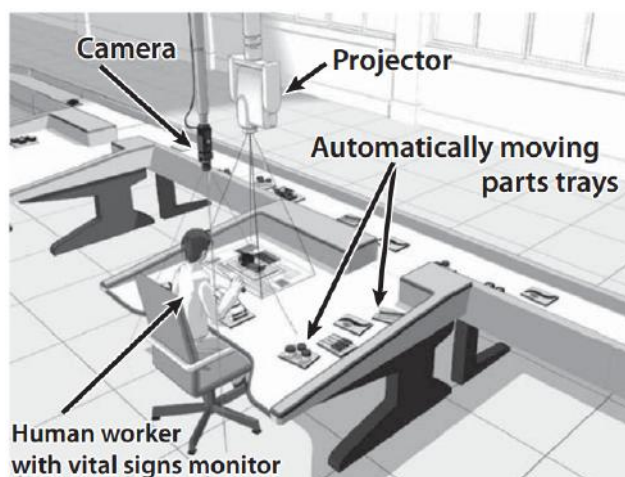


図 1: Attentive Workbench (AWB) の概観 [7]

AIDEを拡張することで、モバイル化とユーザフィードバックへの適応メカニズムを実装し、適用範囲の拡大とインタラクションの精度向上を目指したAIDE Mark-IIを提案する。

2. 関連研究

作業支援を目的としたインタラクションシステムの研究として、安藤ら [6] の研究が挙げられる。安藤らは、工場で行われるセル生産システムに着目し研究を行っている。セル生産システムとは、一人、あるいは少数の作業者が製品の組立作業を完成まで行う生産方式である。安藤らは、複数の複数の小型物品搬送ロボットを用いて作業に使う物品の運び出し、収納を通じて支援を行う「Attentive Workbench (AWB) 図1[7]」の

連絡先: 齋藤晴紀, 電気通信大学大学院,

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1丁目5-1,

TEL 042-443-5000, hsaito@ni.is.uec.ac.jp

構築を目指している。AWB では、カメラによって作業員や作業状況の情報を取得し、取得情報からプロジェクトによる情報提示や、自走式トレイによる物品の搬送が行われる。AWB に関し、安藤らは卓上の限られた作業空間に密集するトレイ群から物品を迅速に絞り込む手法を提案している。提案手法では、まず、作業員の指差し動作に応じて、物品を運ぶ小型物品搬送ロボットがリアクション動作をとる。次に、ロボットのリアクション動作によって候補となる複数の物品を提示し、それに応じた作業員がさらに物品を指差しによって絞り込むリアクションをとる。ロボットのリアクションを用いることで作業員の意図推定を行っており、人とシステムの相互作用、「インタラクション」によって作業環境が構築している。

オフィス環境の一つである会議室におけるアンビエントのインタラクションシステムの研究例を述べる。大山ら [8] によって、人の配置や表示コンテンツによってディスプレイ自体が自律的に移動・変形する「自律型可変ディスプレイ」が提案されている。大山らは、実際に壁型ディスプレイがどのように使われているか調査し、ユーザが使用するディスプレイ形状にはいくつかのパターンが存在することを示した。そのパターンにしたがって、ディスプレイが表示コンテンツと周辺の空間配置という二つのトリガによってインタラクションを起こす。インタラクションが自然に行えているか、作業内容にどんな影響をもたらすか、といった検証までは行われていないものの、デザインスタディの結果から、人々は作業に合ったディスプレイの形状を求めていることを明らかにし、アンビエント情報基盤が作業空間へ取り入れられることの有用性を示している。

3. AIDE: Autonomous Interactive Desk Environment

インタラクティブデスクトップ作業支援システム「AIDE (Autonomous Interactive Desk Environment)」とは、PC 上のアプリケーションウィンドウや机上の実物体を「自律可能なエージェント (自律エージェント)」として扱うことで、作業支援を行い作業の効率化を試みている。具体的には、システム自身が作業員がこれから実行しようとしている作業を予測し、ウィンドウや作業物品を自律的に適切な配置場所へと移動することで、より快適な作業環境を迅速に構築するインタラクションを行う。

AIDE の概観を図 2 に示す。AIDE では、作業員が PC 作業を通常通り行えるように作業員の正面にメインディスプレイを配置している。その他に、机部分にもタッチ式ディスプレイを配置しており、ディスプレイ上に表示されるアプリケーションウィンドウと書類や本、メモなどの実物体の見比べが容易となるように構築している。さらに、実物体の自律的な移動を可能にするために、Web カメラとロボットアームを設置している。Web カメラは机全体を俯瞰できるように設置しており、実物体の名前と場所の情報を取得するために用いられ、取得した情報をもとにロボットアームを用いて実物体を把持し、移動を行う動作を想定している。また、作業員のジェスチャーによってインタラクションを行うことを想定し、作業員の動作認識が可能な Kinect を使用している。

AIDE がユーザに対して作業支援を行うためには、あらかじめユーザの作業情報を取得する必要がある。つまり、事前に作業履歴から各作業目的に応じてよく使用する PC ウィンドウや作業物品の配置の特徴を抽出したうえで、リアルタイムセンシングのデータと抽出した特徴量の比較結果に応じて、作業支援インタラクションを実行しなくてはならない。



図 2: AIDE の概観図

児島ら [5] は、PC のウィンドウの位置、大きさ、表示階層などの情報に対し、作業が切り替わる条件を詳細に設定して作業の切り分けを行っている。さらに、切り分けた作業に対して k-means 法による分類手法を用いて作業ごとに用いるウィンドウや作業物品のグループをまとめている。k-means 法は事前に分類数を決定する必要がある。しかし、事前に作業分類数を知ることは困難であるため、人手でクラスタリング内容を見ながら、クラスタ数を変化させ、複数回クラスタリングを行い、最適だと思われるクラスタ数を決定する手法をとっている。

インタラクション実行時においても、PC のウィンドウの位置、大きさ、表示階層などの情報に対し、作業が切り替わりを判断する条件を設定し、作業支援を行うようにしている。AIDE の実装した主観評価の実験において良好な結果を残しているものの、作業を予測判断の結果が間違っていた場合、作業支援の内容の修正は行われず、間違った作業が繰り返し行われる。また、作業ごとのユーザの配置の趣向が変わっても、作業支援の内容が修正されることはない。

これまでの AIDE の研究によって、3 つの課題が明らかとなった。一つ目に、作業のクラスタリング方法において、作業が切り替わる条件を詳細かつ複雑に設定している点である。作業のクラスタリングに人手を要するので、作業員の負担が増加している恐れがある。二つ目に、デスクトップ型 PC でのみしか利用できない点である。ノート型 PC も多く利用される現代において利用シーンが限定的になってしまう。三つ目に、一方的な作業支援で終わってしまっている点である。提示した作業支援が間違っても、繰り返し誤った作業支援が行われてしまう。

4. 提案手法

AIDE Mark-II では、まず、作業履歴から作業目的毎にタスクとタスクに使用するウィンドウや作業物品を抽出する。次に、抽出したタスクと現在の作業状況から、ウィンドウと作業物品の再配置操作するインタラクションを実行する。最後に、インタラクションを実行した後に、ユーザのリアクションをセンシングし、フィードバックするメカニズムを実装することでインタラクションの精度向上を図る。さらに、モバイル環境でも動作可能とするキャリブレーション機構も組み込んでいる。

4.1 NMF を用いたタスクの抽出

非負値行列因子分解 (NMF: Non-negative Matrix Factorization) [9] による作業分類を行い、作業分類の簡易化と自動化を図る。NMF は、0 または正の値を持つ行列を解析する手

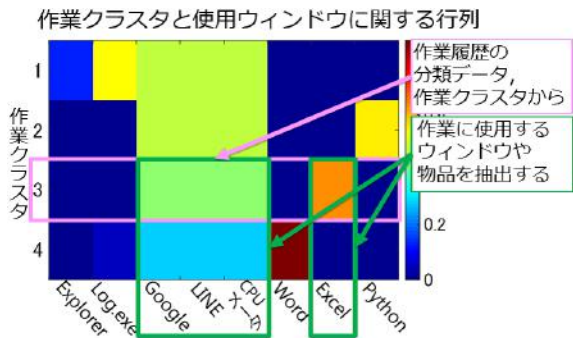


図 3: 可視化した NMF 解析後の作業クラスタと使用ウィンドウ

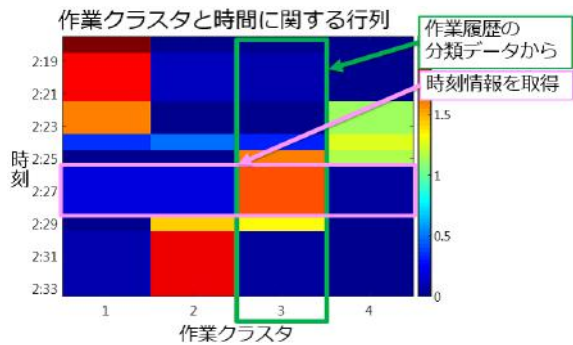


図 4: 可視化した NMF 解析後の作業クラスタと時刻

法である。0 または正の値を持つ行列に表現できれば、データの種類によらず解析ができる。

まず、作業履歴のデータから、行に時刻、列にウィンドウまたは作業物品の使用の有無を二値で表した行列を作成し、解析を行う。NMF によって、時間とクラスタに関する行列とクラスタとウィンドウ、物品に関する行列が得られる (図 3)。次に、時間とクラスタに関する行列から各々のクラスタの特徴量が最も高い時刻を求め (図 4)、その時刻から作業履歴データを参照し、クラスタとウィンドウ、物品に関する行列に座標情報を付与する。最後に、クラスタ内で特徴量が高く、クラスタ間で出現頻度が低いものをメインウィンドウとして設定する。AIDE Mark-II のインタラクションはメインウィンドウの選択に応じて実行される。

4.2 モバイル化の実装

モバイル環境下で動作する AIDE Mark-II を図 5 に示す。携帯可能なロボットハンドは、起動時に予め設定した 2 点を移動しカメラ座標とハンド座標を調整する。ユーザはマーカーを用いて作業に必要な作業領域と物品の収納スペースとなる非作業領域をシステムに明示する (図 6)。システムは明示された作業領域をもとにロボットを制御して物品の出し入れを行う。また、画面領域の変化を検出し、変化量に応じてウィンドウサイズの拡大縮小を行う。メインウィンドウのみ、アスペクト比の横における変化倍率の逆数を掛けた幅で表示することで、ウィンドウサイズが小さくなり過ぎることを防ぐ。

4.3 ユーザフィードバックへの適応メカニズム

インタラクションを行った一分後に、作業情報をフィードバックする。提示したインタラクション内容と一分後の作業情報を比較し、提示したインタラクションの妥当性を判定する。



図 5: AIDE Mark-II の外観

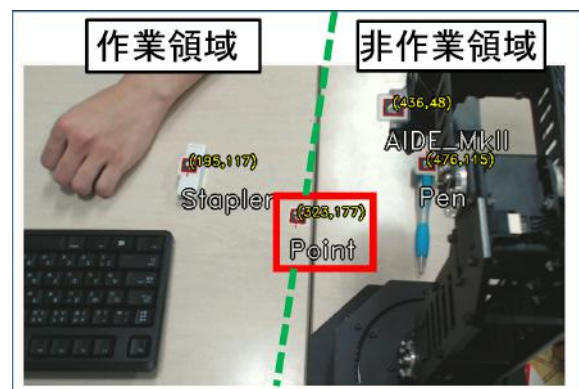


図 6: 作業領域と非作業領域

判定結果から、AIDE Mark-II はユーザのフィードバックに次のように適応する。

ウィンドウや物品に変化が無い場合、インタラクションが適切であると判断し、今後も同様のインタラクションを行う。提示したインタラクションのウィンドウや物品の座標情報のみが異なっている場合は、インタラクションの実行もとのクラスタ内のウィンドウや物品の座標を更新する。メインウィンドウが変わらず、ウィンドウや物品の追加や削除が行われている場合は、インタラクションの実行もとのクラスタ内のウィンドウや物品の追加や削除を行う。このとき、追加する座標はフィードバック時の座標とする。メインウィンドウが変化して、尚且つウィンドウや物品の追加や削除が行われている場合は、メインウィンドウが同じとなるクラスタを検索し、検索結果が存在すれば、そのクラスタ情報を更新する。存在しなければ、現在の作業情報を新たなタスクとして、タスククラスタに追加する。

さらに、AIDE Mark-II がユーザに対してインタラクションを行えなかったときも、ユーザのフィードバックに適応する。ウィンドウがアクティブになったにもかかわらず、提示できるインタラクションがなかった場合、一分後にユーザのフィードバックを取得する。フィードバック時のメインウィンドウを作業履歴から生成されたタスククラスタ内で検索する。一致するタスククラスタがある場合は、フィードバック時の情報と比較作業を行い、タスククラスタ中の座標の更新や追加、削除を行う。存在しなかった場合、新たなタスククラスタとして追加する。

5. 評価実験

3名の被験者の協力の下、デスクトップ型PCを用いて1時間で決められたタスクを6つ行って貰い、データを取得した。各実験においては、同一の被験者で行った。クラスタリングの検出精度の検証とエージェントの動作評価を行った後、得られた結果を基に、モバイル環境で設定するタスクとフィードバックへの適応メカニズムの評価実験で使うタスクを設定した。

5.1 エージェントの動作評価実験

決められたタスクの構成要素に対する生成されたタスククラスタの精度をF-尺度を用いて検証した。さらに、生成されたタスククラスタを用いて動作評価を行った。評価実験では、デスクトップ型PCを用いて被験者にタスクで使用するウィンドウや物品を含め全てのウィンドウと物品を出鱈目な位置に置いてもらった。そして、AIDE Mark-IIを起動し、各タスクでメインウィンドウとなるウィンドウをアクティブにして、再配置動作が上手く行われるかどうかを評価した。

動作評価に関しては、タスク毎の動作結果に対して、「良い、やや良い、やや悪い、悪い」の尺度で評価してもらった。評価基準は、そのままタスクを始められるときは「良い」、多少の調整の後、スムーズにタスクを始められるときは「やや良い」、タスクを始めるのに手間取るときは「やや悪い」、見当違いな動作をしたときは「悪い」とした。F値と動作評価を表1に示す。

表 1: クラスタリングの F 値と動作評価

タスク	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	F 値	評価	F 値	評価	F 値	評価
1	1.0	良い	1.0	良い	0.86	良い
2	1.0	良い	1.0	良い	0.57	やや良い
3	0.89	やや良い	1.0	良い	-	悪い
4	0.86	やや良い	1.0	良い	0.86	良い
5	0.91	良い	1.0	良い	1.0	良い
6	0.86	やや良い	0.67	悪い	0.57	悪い
平均	0.92	-	0.95	-	0.63	-

5.2 モバイル環境下での動作の評価

F-尺度と動作評価の結果が良かったタスクをモバイル環境の評価実験で用いて、エージェント動作の評価の変化を確認した。先ほどのエージェント動作の評価実験と同様に、AIDE Mark-II 起動後に、出鱈目に配置したウィンドウなどが、メインウィンドウをアクティブにしたとき適切に再配置されるか評価した。評価基準は先ほどの実験と同様に設定した。ノートPCを用いたモバイル環境で、AIDE Mark-II を動作させたときの評価結果を表2に示す。スペースの都合上、被験者Bと被験者Cのみの結果のみ載せる。

表 2: モバイル環境下での被験者 B の動作評価結果

タスク	被験者 B		被験者 C	
	デスクトップ	モバイル	デスクトップ	モバイル
1	良い	やや良い	良い	やや良い
2	良い	やや良い	-	-
3	良い	やや良い	-	-
4	良い	良い	良い	良い
5	良い	良い	良い	やや良い

5.3 ユーザフィードバックへの適応の評価

F-尺度と動作評価の結果が悪かったタスクを用いて、エージェント動作がユーザフィードバックによって改善されたかを確認した。デスクトップ環境で、これまでの実験と同様に、AIDE Mark-II 起動した後に、メインウィンドウをアクティブにして再配置動作に対する評価を行った。評価結果を表3に示す。

表 3: エージェント動作評価結果

タスク	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	フィードバックなし	フィードバックあり	フィードバックなし	フィードバックあり	フィードバックなし	フィードバックあり
3	-	-	-	-	悪い	良い
4	やや良い	良い	-	-	-	-
6	やや良い	良い	悪い	良い	悪い	良い

6. 考察

NMFを用いた作業クラスタリングの精度評価では、F値の平均が2人の被験者で9割以上を示したが、1人の被験者で約6割となった。タスクの分類がおよそ出来ているが、精度向上のための改善が必要である。作業時間が短いタスクの検出に問題があったと考えられる。モバイル環境での動作評価では、デスクトップ環境に比べ、やや評価が下がったが、作業がスムーズに行われていたことが実験結果から伺える。画面領域に応じてウィンドウが小さくなってしまふことが要因と考えられる。ユーザフィードバック適応後のエージェントの動作評価では、全てのタスクで改善が見られた。ただ、メインウィンドウと同じでサブウィンドウが異なる場合などに対応できず、更なる改良が必要と考える。

7. おわりに

本研究では、既存のAIDEを拡張したAIDE Mark-IIを提案し、評価した。AIDE Mark-IIにて、ユーザの作業分類にNMFを用いることで、クラスタリングの自動化と簡易化を図った。モバイル化においては、ロボットの位置補正動作やウィンドウサイズの変換等の対策を講じて対応した。さらに、ユーザの応答を観測し、観測結果からタスククラスタを更新することによるユーザフィードバックへの適応メカニズムを構築し、インタラクションの精度を向上させた。

今後の課題としては、座標情報を含むクラスタリング手法の適用やモバイル環境でのユーザフィードバックへの適応、画像認識技術の導入などが挙げられる。

参考文献

- [1] Le Guilly, et al, 2015 Intelligent Environments, pp. 17-24, 2015
- [2] 西山高史 ほか, 人工知能学会誌, pp. 230-237, 2013
- [3] 青木茂樹 ほか, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), pp. 259-265, 2015
- [4] 藤田 ほか, 2015 年度人工知能学会全国大会論文集, pp. 1-4, 2015
- [5] 兒島 ほか, 2016 年度人工知能学会全国大会論文集, pp. 1-4, 2016
- [6] 安藤 ほか, 精密工学会学術講演会講演論文集, pp. 949-950, 2015
- [7] M. Sugi, et al, Journal of Robotics and Mechatronics, pp. 135-145, 2009
- [8] 大山貴史 ほか, 情報処理学会, pp. 62-71, 2016
- [9] Lee, et al, Nature Vol. 401, pp. 788-791, 1999