

推薦論文

デスクトップ上の画面変化に基づく 取り消し操作把握支援手法

坂本 有沙¹ 片山 拓也¹ 寺田 努^{1,†1,a)} 塚本 昌彦^{1,b)}

受付日 2013年11月12日, 採録日 2014年5月17日

概要: GUIにおいてユーザの直前の作業内容を取り消す操作は、あらゆるアプリケーションに導入されている。しかし、従来の取り消し操作は、瞬時に操作が実行されるため取り消された部分を見逃したり、作業を一時中断した場合や複数作業を並行して行っている場合に、ユーザが取り消された内容を把握できない状況が生じる。これまでも取り消し操作を支援する研究が行われているが、それらはアプリケーションに依存し、汎用的なものは存在しない。そこで本研究では、アプリケーションに依存しない取り消し操作の可視化手法を提案する。提案手法では、取り消し操作にともなう視覚的变化に着目し、デスクトップ上の画面変化から取り消し操作の対象を特定する。

キーワード: ユーザインタフェース, 取り消し操作, 可視化, 画面変化

Support Method for Finding Undone Operations Based on Changes on Desktop Screen

ARISA SAKAMOTO¹ TAKUYA KATAYAMA¹ TSUTOMU TERADA^{1,†1,a)} MASAHICO TSUKAMOTO^{1,b)}

Received: November 12, 2013, Accepted: May 17, 2014

Abstract: Undo operation in Graphical User Interfaces is implemented on most applications and widely used. However, conventional implementations of undo operations have the following two problems: (1) users may miss the undone part since the operation is instantaneously performed, and (2) it is difficult to know the undone contents if the user temporarily interrupts a work the user works on multiple operations in parallel. Though there have been several researches to improve undo operations, they are specialized to specific applications. In this research, we propose a visualization mechanism for undone operation, which is independent from the running applications based on the idea that an undo operation causes the change of display graphically. Our method specifies the area for undo operation by changes on the screen.

Keywords: user interface, undo operation, visualization, changes on desktop screen

1. はじめに

パーソナルコンピュータで利用されている GUI (Graphical User Interface) では、一般に取り消し操作によって直前の作業を取り消せる。しかし、この取り消し操作は瞬時

に反映されるため、取り消された対象の位置が分からない、あるいは位置が分かっても取り消された内容を把握できない場合がある。また、ユーザの意図した取り消し操作が行われなかった場合に变化した箇所を見逃したり、取り消し部分がディスプレイ領域外に存在する場合に取り消し操作が実行されたことに気付かない可能性がある。

一方で、取り消し内容把握を支援する商業製品や研究が

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 657-8501, Japan

^{†1} 現在, 科学技術振興機構さきがけ
Presently with PRESTO, Japan Science and Technology
Agency, Chiyoda, Tokyo 102-0076, Japan

^{a)} tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

^{b)} tuka@kobe-u.ac.jp

本稿の内容は 2013 年 7 月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム 2013 で報告され, コンシューマ・デバイス&システム研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である。

いくつか存在する。商業製品として、Microsoft 社の Office では、「元に戻す」ボタン横のプルダウンメニューを展開すれば、取り消し履歴が表示される。また、Adobe 社の画像編集ソフトウェア Photoshop では、操作履歴を常時閲覧できるヒストリウィンドウを備えている。これらの機能により、ユーザは取り消される対象を取り消し操作実行前に確認でき、所望の操作までのすべての操作が一括で取り消せる。しかし、これらは、それぞれに提示方法が異なるためユーザを困惑させたり、「入力」や「フォントの色」のように操作の表現が簡略化されているため、取り消される作業内容を正確に把握しにくい。研究としては、取り消し操作にグラフィカルな操作履歴を用いた研究 [1] があり、過去の操作が確認できるが、専用のエディタでしか利用できない。総じて、これらは専用のアプリケーションに依存した設計になっており、汎用的に用いることができない。

さらに、選択的な取り消しを実現した研究 [2] や、共同編集可能な環境での取り消し操作にする研究 [3] や選択的な取り消しを実現した研究 [4] など、数多くの研究が行われているが、取り消し対象位置の把握支援に取り組んでいるものはなく、ユーザが視認できないディスプレイ領域外での取り消し操作への対策も講じられていない。

そこで本研究では、アプリケーションに依存しない取り消し操作の可視化手法を提案する。提案手法は、一般に取り消し操作実行時には視覚的変化がともなうという特徴をもとに、デスクトップ上の画面変化を画像マッチングを用いて検出し、人の目では見逃してしまう可能性のある小さな変化を含んだ取り消し操作の対象を特定する。提案システムは、どこが修正・変更されたか分かりにくい、取り消された操作の詳細が分からない、ディスプレイ領域外での取り消し操作に気付かない、という 3 つの問題点を解決する機能を備える。

本稿は以下のように構成されている。2 章で関連研究について述べ、3 章で取り消し操作にともなう画像変化について論じる。4 章で提案手法について述べ、5 章で評価について述べる。最後に 6 章で本稿のまとめを行う。

2. 関連研究

1 章で述べた Adobe 社の Photoshop などの取り消し操作履歴可視化手法では、操作の表現が簡略化されており分かりにくい。この問題点を解決するため、操作履歴のグラフィック表示やオブジェクトごとの履歴保存を用いて選択的な取り消しを実現する手法が提案されている。西田らは、ペイントやブラウザにおいて、取り消し操作を「過去の状態を回復させる操作」ととらえ、すべての過去の作業状態の遷移をヒストリグラフを用いて提示する手法を提案している [5]。グラフのノードは作業状態を示し、それに続くノードとその間を結ぶエッジは操作を表し、ノードを選択するとそのノードと対応する作業状態を回復できる。増田

らは、選択的取り消しのためのインタフェースとして、専用の履歴ブラウザを設計している [6]。この履歴ブラウザでは図形オブジェクトごとに操作コマンドをグループ化し、作業画面のスナップショットからなる履歴をフリップコミックで提供している [7]。取り消したい操作の描かれているスナップショットを選択するだけで希望の操作が取り消されるため、ユーザは操作内容や効果を気にすることなく、視覚的に対象のオブジェクトの状態を理解できる。また、インタラクティブな GUI 開発環境 Amulet [8] では、コマンドオブジェクトを視覚的に階層化することで、各オブジェクトに対する操作の順序や関係性を分かりやすく提示できる。さらに、操作を選択的に取り消すことも可能で、その操作を再利用して他のオブジェクトに対して実行できる [9]。

1 章で述べた問題点を解決するために上記の研究が行われているが、すべての問題点を網羅した研究は存在せず、取り消された対象の位置把握の支援に着目した研究はこれまで存在しない。また、これらは専用のアプリケーションに依存した設計である。そこで、すべての問題点に対応でき、汎用的に使用できるシステムが必要となる。

3. 取り消し操作にともなう画像変化

本研究では、取り消し操作にともなうデスクトップ上に視覚的変化が起こることに着目し、汎用的な取り消し操作可視化手法を提案する。提案手法の設計にあたり、表 1 に示される 9 つのアプリケーションにおける取り消し操作時の挙動を調査し、視覚的変化を用いることで汎用的な手法実現が可能か検証した。表において、つねに視覚的変化があるものを○で示し、ユーザが視覚的変化を確認するために条件があるものを△で示す。表の操作の種類において、テキスト編集はテキストの入力や修正、切り取り、貼り付けを表し、図形編集は図形の移動や削除、複製、挿入、位置やサイズの変更、回転を表す。

調査の結果、どのアプリケーションにおいても、テキスト編集や図形編集のほかに、コピー・切り取り・貼り付けといった汎用的な機能の取り消し操作時に視覚的変化をともなうことが分かる。しかし、PowerPoint などでのレイヤ変更では、他と重なっていないオブジェクトのレイヤを変更する場合や、元々他より前面にあるオブジェクトを最前面にする場合に視覚的変化を確認できない。また、通常は視覚的変化をともなう操作であっても、取り消し操作を実行する部分がディスプレイの領域外に存在する場合も視覚的変化を確認できない場合がある。たとえば、対象のウィンドウの一部がディスプレイの領域外にあり、ディスプレイ領域外の操作を取り消す場合、PowerPoint や Word、Excel、ペイントにおいては画面上部のツールバーもしくはタイトルバーに視覚的変化が発生する場合があるが、それ以外のアプリケーションでは視覚的変化を確認できない。

表 1 各アプリケーションにおける取り消し可能な操作
Table 1 Undoable operations for each application.

アプリケーション	操作の種類	視覚的变化
Microsoft PowerPoint 2007	デザイン変更	○
	図形編集	○
	レイヤ変更	△
	スライド編集	○
	ページ設定	○
	アニメーション変更	○
	テキスト編集	○
Microsoft Word 2007	インデント変更	○
	行間変更	○
	テキスト編集	○
	図形編集	○
	レイヤ変更	△
	箇条書きの変更	○
	段落番号の編集	○
	フォント変更	○
	ワードアート変更	○
	配置変更	○
Microsoft Excel 2007	セル内テキスト編集	○
	セル編集	○
	グラフ編集	○
	レイヤ変更	△
Microsoft ペイント 6.1	線の描画	○
	塗りつぶし	○
	消しゴムでの消去	○
	図形編集	○
Microsoft エクスプローラ	ファイル管理	○
Microsoft メモ帳 6.1	テキスト編集	○
Mozilla Firefox 9.0.1	テキスト編集	○
	Google カレンダー編集	○
	ブックマーク管理	○
Mozilla Thunderbird 10.0.1	テキスト編集	○
	メール移動	○
	メール削除	○
Microsoft Visual Studio 2008	テキスト編集	○
	ツール編集	○

○：つねに視覚的变化が存在
△：視覚的变化確認のために条件が存在

さらに、スクロールバーをともなう広範囲にわたるコンテンツにおいて、非表示領域で取り消し操作が行われる場合、PowerPoint や Word, Excel, メモ帳, Visual Studio では、取り消し操作と同時に取り消し部分が確認できるよう自動でスクロールする。一方、ペイントや Thunderbird では表示領域は移動しない。ユーザが取り消し操作にともなう視覚的变化を確認できない場合、取り消された対象が把握できないだけでなく、取り消し操作が行われたかどうか把握できない。さらに、ユーザが取り消し操作が行われていないと勘違いし、複数回の取り消し操作を実行する問題も発生する。そのため、視覚的变化をユーザが確認できない場合でも取り消し操作が行われたことをユーザに知らせる



図 1 赤枠表示モード
Fig. 1 Red rectangle mode.

機能が必要になる。

以上の調査結果より、大部分の取り消し操作は視覚的变化をともなうことから、画像変化を用いた取り消し操作の認識によって、アプリケーションやプラットフォームに依存しない汎用的な取り消し操作の機能拡張が行えると考えられる。一方、画面外にウインドウが存在する場合など単純に画像差分を用いるだけではうまくいかない場合が存在するため、そのような場合でも取り消し内容を把握できる機能を実現する必要がある。

4. 提案手法

本研究では、3章での調査から明らかになった、取り消し操作にともなうアプリケーションウインドウに視覚的变化があることを利用し、どこが修正・変更されたか分かりにくい、取り消された操作の詳細が分からない、ディスプレイの領域外での取り消し操作に気付かないという従来の取り消し操作の問題点に対して、以下の3つの機能を提案する。その際、本研究では取り消し操作のトリガとして、取り消しによく用いられている Ctrl キーと Z キーの同時押下を用いる。

4.1 強調表示機能

取り消し部分を明確にする強調表示機能として、取り消し部分を赤い枠で強調する赤枠表示モードと、取り消し操作を滑らかに提示する滑らか表示モードを提案する。前者は、ユーザが取り消し操作の実行箇所をまったく把握できていない場合に有効であり、後者は取り消し操作の実行箇所を曖昧に把握している場合に有効である。

赤枠表示モード

Ctrl キーと Z キーが同時に押下された瞬間のスクリーンショットを取り消し操作前のディスプレイ状態として取得し、Ctrl キーもしくは Z キーどちらかが離されてから 1 秒後のスクリーンショットを取り消し操作後のものとして取得する。次にそれぞれのスクリーンショットにおける各ピクセルの RGB 値を比較し、RGB 値が異なる領域をそれぞれ囲む最小の四角形を取り消し操作が実行された範囲として描画する (図 1)。

滑らか表示モード

赤枠表示モード同様、取り消し操作前のディスプレイ状態を取得し、それをディスプレイに重ねて描画する。その描画したスクリーンショットの不透明度を 100% に設定した状態から 30 ミリ秒間隔で 1% ずつ減少させていくこと

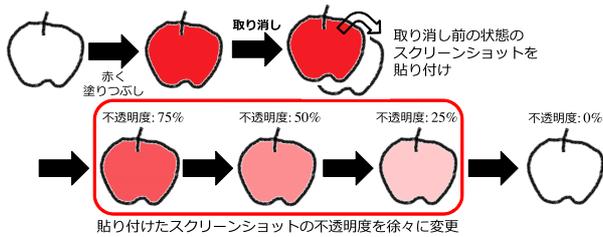


図 2 滑らか表示モード

Fig. 2 Smooth transition mode.

で、最終的に不透明度を 0% にし、重ねたスクリーンショットが見えない状態にしている。これによって、通常では一瞬で実行される取り消し操作が、図 2 に示すようにまるで徐々に実行されているかのようにユーザに提示できる。

4.2 取り消し内容提示機能

2 つ目の機能は、過去の操作を視覚的に把握するために、取り消された内容をユーザに提示する。提示内容は、ペイントにおける線の色・太さの選択、文書作成におけるフォントやサイズ・効果の選択など、視覚的でない操作も含む。以下、本機能の詳細を説明する。

入力の記録

本機能はキーボードとマウスの入力履歴を提示する。提案システムはそれぞれの入力イベントをフックし、1 秒間隔でそのときのスクリーンショットと関連付けて保存する。処理時間短縮のため、過去 60 秒間の入力イベントとスクリーンショットのみをメモリ上に保持する。また、スクリーンショットは、取り消し操作に無関係な画面変化を除外するため、アクティブなウィンドウのみを記録する。記録するイベントは、各キーの KeyDown、マウスの MouseDown, MouseUp, MouseMove である。

期間の特定

提案手法は、取り消し操作後のスクリーンショットに類似したスクリーンショットを蓄積した画面遷移履歴から探索することで、取り消された期間を特定する。比較法には、対象の 2 つのスクリーンショットの輝度ヒストグラムにおける、Bhattacharyya 距離を用いる。Bhattacharyya 距離とは、画像間の類似性評価指数として代表的なもので、2 つの離散的確率分布間の距離を求める尺度として用いられている。ここで、 R は類似度、 H_1 、 H_2 は比較対象それぞれの輝度のヒストグラムの成分集合、 N はヒストグラムのビンの総数を表す。

$$R = \sqrt{1 - \frac{1}{\sqrt{H_1 H_2} N^2} \sum_I \sqrt{H_1(I) H_2(I)}} \quad (1)$$

$$\left(\because \bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J) \right) \quad (2)$$

式 (1) において、 $R = 0$ の場合、比較する 2 つのスクリーンショットが一致している。取り消し操作実行後のス

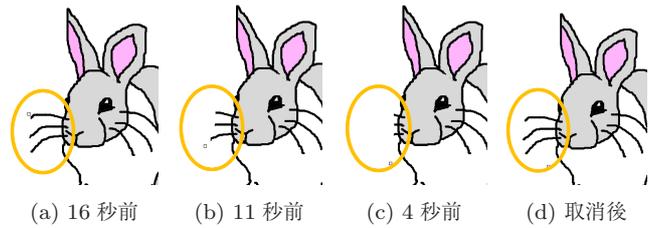


図 3 比較対象のスクリーンショット

Fig. 3 Compared screenshots.

クリーンショットは、取り消された操作を行う前のものと最も類似すると考えられるため、 R が最小の時点を取り消された時点とする。具体的に、次のような条件を設けた。

- (1) $R = 0$ となった場合：その時点を取り消し操作実行前とし、比較を終了
- (2) $R = 0$ とならない場合： $R < 0.05$ を満たす、最小の R の時点を取り消し操作実行前とし、 $R < 0.05$ を満たして以降に $R > 0.05$ となった時点で比較を終了

ここで (2) の条件を設けたのは、各スクリーンショットにおけるデスクトップ上の時計やアイコンの差異により、完全にスクリーンショットが一致しないことがあるためである。さまざまな取り消し操作のパターンで類似度計算を行った結果、 $R < 0.05$ とした場合、ほぼ正確に取り消された内容を取得できたことから、今回この閾値を採用した。

実行例として、オレンジの実線で囲んだ部分の 3 本の黒い実線を消しゴムで消す作業を取り消した様子を図 3 に示す。ここで、図内のキャプションは取り消し操作の何秒前かを表す。このとき、取り消し操作後のスクリーンショット (図 3(d)) と取り消し操作前の各スクリーンショット (図 3(a), 図 3(b), 図 3(c)) との Bhattacharyya 距離の値 R はそれぞれ 0.000 , 9.153×10^{-4} , 2.086×10^{-3} となったため、図 3(a) との比較時に条件 1 を満たす。この場合、取り消し操作によって 16 秒前まで戻ったと判断する。

内容の提示

上記で得られた取り消し操作によって戻された期間をもとに、取り消し内容を提示する。この時点以降に記録されたスクリーンショットに関連付けられているキーボードとマウスの入力履歴を結合し、得られた一連の入力履歴を図 4 や図 5 のように提示する。図 4 はキーボードの入力イベント履歴を提示するもの、図 5 はマウスの入力イベント履歴を提示し、マウスの軌跡を線で提示しているものである。キーボード入力、打鍵されたキーの系列を提示し、同時に変化した部分を枠で囲って示す。図 4 の場合、オレンジで囲んだ部分において、元々入力されていた文字の削除の BackSpace キーとアルファベットキー、変換の Space キー、確定の Enter キーが入力されたことを提示している。また、マウス入力はドラッグを水色の実線で示し、マウスボタンのダウンイベントがあった点を赤色、アップイベン

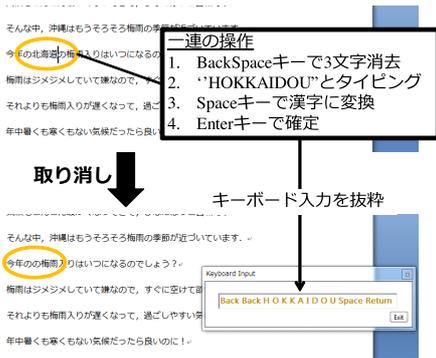


図 4 取り消し内容提示機能：キーイベント

Fig. 4 Showing undo contents: keyboard event.

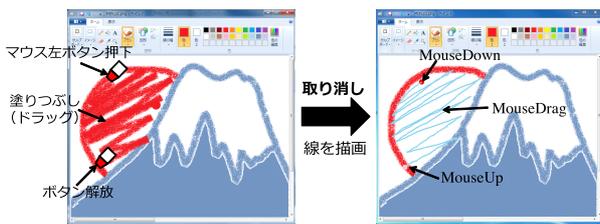


図 5 取り消し内容提示機能：マウスイベント

Fig. 5 Showing undo contents: mouse event.

トがあった点をピンク色で示す。図 5 の場合、マウス操作として線の描画開始時と終了時のクリック、描画のためのドラッグ操作があったことを提示している。

4.3 取り消し通知機能

従来の取り消し操作は、ディスプレイ領域外で取り消し操作が行われた場合、操作による画面の変化を確認できない。そこで、ディスプレイ領域外で取り消し操作が実行された場合のみユーザに通知し、ユーザが任意に取り消された内容を取得できる機能を提案する。本稿では、ウィンドウの点滅により取り消し操作実行を通知することとした。具体的には、Ctrl キーと Z キーが同時に押された瞬間にアクティブなウィンドウのハンドルを取得し、そのハンドルを持つウィンドウに対して画面外での取り消し操作が行われたことを検出すると、タスクバーボタンおよびタイトルバーを点滅させる。検出されなかった場合、点滅はなく、あらかじめ選択した強調表示機能が実行される。

5. 評価

提案システムのプロトタイプを実装し、従来の取り消し操作と提案手法との比較実験を行った。実装と評価には、Microsoft Windows 7 OS 搭載の Lenovo ThinkPad X220 (CPU: Core i5 2.50 GHz, メモリ: 4.00 GB) を用い、Microsoft Visual C#2008 により、機能を実現した。

5.1 実験方法

実験では、日常的に利用するアプリケーションにおいて、



(a) 状況 1 (b) 状況 2

図 6 比較実験の状況：Word

Fig. 6 Situations of the experiment: Word.

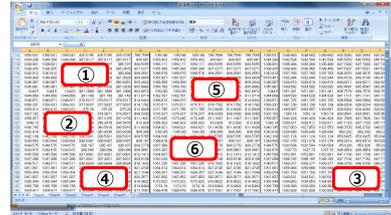
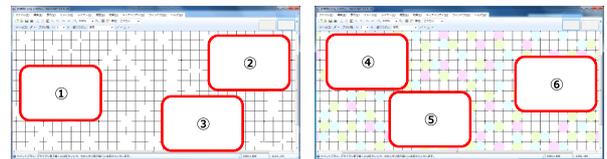


図 7 比較実験の状況：Excel

Fig. 7 Situation of the experiment: Excel.



(a) 状況 1 (b) 状況 2

図 8 比較実験の状況：ペイント

Fig. 8 Situations of the experiment: Paint.

取り消し操作による視覚的変化の把握が困難であろう状況を設定し、以下に示す従来の取り消し操作と 5 つの提案手法を用いた取り消し操作との把握精度を比較した。

- 方法 a: 提案手法なし (従来手法)
- 方法 b: 赤枠表示モード
- 方法 c: 滑らか表示モード
- 方法 d: 方法 b と取り消し内容提示機能の併用
- 方法 e: 方法 c と取り消し内容提示機能の併用
- 方法 f: 取り消し通知機能

今回、4 つのアプリケーションにおいて、以下のような操作を取り消し操作の対象とした。

- I. Word: 8~20 文字のテキスト入力
- II. Excel: 4~6 桁のランダムな数字入力
- III. ペイント: 点や線の描画
- IV. エクスプローラとデスクトップ: ドラッグによるファイル移動

被験者には、各機能の説明を口頭でのみ行い、1 つのアプリケーションにつき、6 つの異なる箇所での作業に対して、Ctrl キーと Z キーの同時押下で取り消し操作を行わせた。詳細な取り消し操作実行箇所として、Word では図 6, Excel では図 7, ペイントでは図 8, エクスプローラおよびデスクトップでは図 9 のように設定した。図 9 における矢印は、ファイル移動の動きを表している。

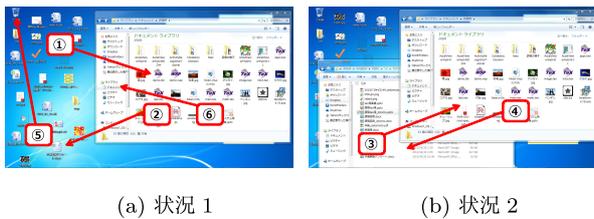


図 9 比較実験の状況：エクスプローラ・デスクトップ

Fig. 9 Situations of the experiment: Explore and Desktop.

ここで、取り消し操作の対象の作業は、被験者に見られないように毎回入力する。具体的に、次のような操作をあらかじめ入力し、被験者に取り消し操作を実行させた。Wordでは、図 6(a) の範囲 ① 内文末に、「取り消しを便利にする」と入力した。Excelでは、図 7 の範囲 ⑤ 内の任意のセルに「123.45」と上書き入力した。ペイントでは、図 8(a) の範囲 ① 内の格子線を消しゴムで消すという操作を行った。エクスプローラとデスクトップでは、図 9(b) の範囲 ② から矢印の先へ、PDF ファイルのアイコンをドラッグ&ドロップした。

そして、1 試行終了ごとに被験者に変化部分や変化内容を正確に把握できたかを口頭で回答させ、1つのアプリケーションでの試行終了ごとに、方法 a~方法 e について、取り消し操作が分かりやすかった場合を 5、分かりにくかった場合を 1 とするアンケートに回答させた。方法 f については、表示領域外での取り消し操作の提示方法として妥当であれば 5、不適であれば 1 とするアンケートに回答させた。さらに、全試行終了後にアプリケーションごとに最適な方法を 1 つずつ選択させた。また、全試行を通して、被験者には提案手法の問題点や改善点、優れた点などを自由回答させた。取り消し操作の対象の作業順序は、図 6~図 9 における ①~⑥ の範囲に割り振られた数字に従って、すべての被験者に対して同様だが、取り消し操作時に実行される機能（方法 a~方法 f）の順序は被験者ごとにランダムに設定した。被験者は 21~25 歳の取り消し操作を日常的に利用する、筆者らが所属する研究室の男子学生 15 人である。

5.2 実験結果

まず、方法 a~方法 e について、取り消し操作による画面変化の位置と内容、それぞれの把握結果について議論し、アンケート結果から取り消し操作の分かりやすさへの影響について議論する。そして、方法 f について、表示領域外での取り消し操作の通知としての妥当性について議論する。今回、分散分析について、アプリケーションと手法の 2 要因の分散分析を行い [10]、Tukey 法による多重比較を行った [11]。ここで、分散分析から得られた F 比を $F(a, b)$ (a : 群の数, b : 自由度) で表し、分散分析表をもとに有意性を判定した。また、Tukey 法による多重比較から得られ

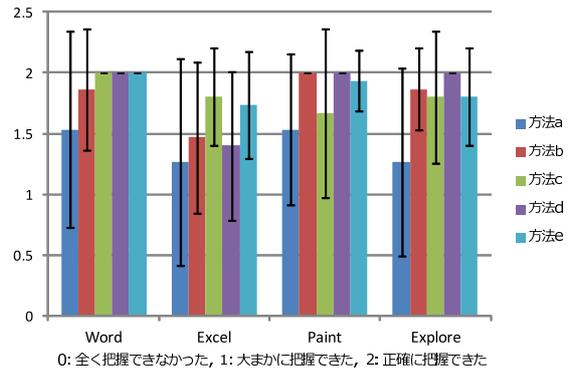


図 10 取り消し操作の位置把握精度の平均値と標準偏差
Fig. 10 Mean and SD of the accuracy to find the undone area.

た値を $q(a, b)$ (a : 群の数, b : 自由度) とし、スチューデント化された範囲の表をもとに、有意性を判定した [11]。ここで、偶然生起確率を p とし、各検定における有意水準を示す。

5.2.1 位置把握

それぞれのアプリケーションにおける各方法での取り消し操作の位置把握精度の平均値と標準偏差を図 10 に示す。ここで、正確な位置を把握できた場合を 2、大まかな位置を把握できた場合を 1、まったく把握できなかった場合を 0 とした。分散分析の結果、アプリケーションの主効果 ($F(3, 280) = 6.73, p < .01$) と手法の主効果 ($F(4, 280) = 8.86, p < .01$) で有意差があったが、交互作用では有意差はなかった ($F(12, 280) = 1.22, n.s.$)。そこで、それぞれの主効果について Tukey 法による多重比較を行った。まず、アプリケーションの主効果の比較では、II に対して I ($q(2, 75) = 5.35, p < .01$) や III ($q(2, 75) = 4.49, p < .01$)、IV ($q(2, 75) = 3.09, p < .05$) で有意差があった。この結果から、今回対象とした 4 つの中で、Excel での位置把握が最も困難だったと考えられる。次に、手法の主効果の比較では、すべての提案手法と従来手法の間に有意差があった (方法 b: $q(2, 75) = 7.14, p < .01$, 方法 c: $q(2, 75) = 6.26, p < .01$, 方法 d: $q(2, 75) = 9.09, p < .01$, 方法 e: $q(2, 75) = 6.82, p < .01$)。これにより、提案手法が位置把握に貢献しているといえる。また、方法 d に対して、方法 c ($q(2, 75) = 3.39, p < .05$) と方法 e ($q(2, 75) = 4.13, p < .01$) で有意差があった。この結果から、赤枠表示と取り消し内容提示を併用した場合、滑らか表示単体やそれと取り消し内容提示機能を併用した場合と比べ、位置把握を支援できていることが分かる。

5.2.2 内容把握

それぞれのアプリケーションにおける各方法での取り消し操作の内容把握精度の平均値と標準偏差を図 11 に示す。ここで、取り消された内容を正確に把握できた場合を 3、内容の一部は正確に把握できたが、その他は正確に把握できなかった場合を 2、大まかに内容を把握でき

表 2 アプリケーションの単純主効果における Tukey 法の結果

Table 2 Result of Tukey’s test in simple main effect for applications.

組合せ		I-II	I-III	I-IV	II-III	II-IV	III-IV
方法 a	q 値	0.00	16.09	21.45	16.09	21.45	5.36
	有意差	—	$p < .01$				
方法 b	q 値	2.14	32.14	42.86	34.29	45.00	10.71
	有意差	—	$p < .01$				
方法 c	q 値	13.51	2.46	2.46	11.05	15.96	4.91
	有意差	$p < .01$	—	—	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$

表 3 手法の単純主効果における Tukey 法の結果

Table 3 Result of Tukey’s test in simple main effect for methods.

組合せ		a-b	a-c	a-d	a-e	b-c	b-d	b-e	c-d	c-e	d-e
I	q 値	0.00	66.06	132.12	142.55	66.06	132.12	142.55	66.06	76.49	10.43
	有意差	—	$p < .01$								
II	q 値	3.55	28.38	127.70	152.53	31.93	131.25	156.08	99.32	124.16	24.83
	有意差	—	$p < .01$								
III	q 値	14.32	19.09	69.20	73.98	4.77	54.89	59.66	50.11	54.89	4.77
	有意差	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .05$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .05$
IV	q 値	10.74	12.08	38.94	41.62	1.34	28.20	30.88	26.85	29.54	2.69
	有意差	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	—	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	—

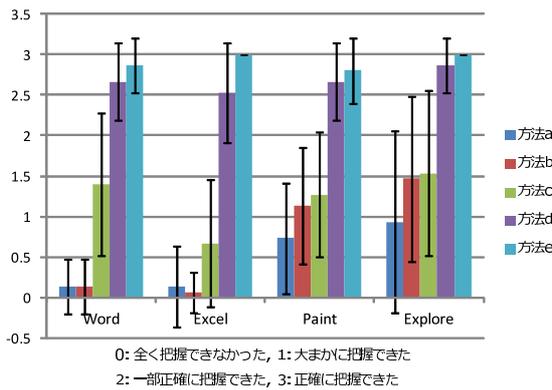


図 11 取り消し操作の内容把握精度の平均値と標準偏差
Fig. 11 Mean and SD of accuracy to know the undone contents.

た場合を 1, まったく把握できなかった場合を 0 とした。この数値化した内容把握精度について, 分散分析の結果, アプリケーションの主効果 ($F(3, 280) = 15.69, p < .01$) と手法の主効果 ($F(4, 280) = 176.92, p < .01$), 交互作用 ($F(12, 280) = 3.38, p < .01$) すべてにおいて有意差があった。そこで, アプリケーションの単純主効果の検定を行った結果, 方法 a~方法 c で有意差があった (方法 a : $F(3, 280) = 5.88, p < .01$, 方法 b : $F(3, 280) = 11.13, p < .01$, 方法 c : $F(3, 280) = 5.06, p < .01$, 方法 d : $F(3, 280) = 0.65, n.s.$, 方法 e : $F(3, 280) = 0.35, n.s.$)。有意差があった方法について, 多重比較を行った結果, 表 2 に示すように, 方法 a と方法 b における I と II, 方法 c における I と III 以外で 1%水準で有意差があった。また, 手法の単純主効果の検定を行った結果, すべてのアプリケー

ションで有意差があった (I : $F(4, 280) = 60.20, p < .01$, II : $F(4, 280) = 66.57, p < .01$, III : $F(4, 280) = 31.03, p < .01$, IV : $F(4, 280) = 29.28, p < .01$)。そこで, 多重比較を行った結果, 表 3 に示すように, I, II における方法 a と方法 b, IV における方法 b と方法 c 以外で有意差があった。以上の結果より, 取り消された作業内容の視覚的な提示が有効であり, 取り消し操作の把握を支援できると考えられる。また, Word と Excel において, 従来と赤枠表示モードが内容把握に与える影響はほとんど変わらないといえる。滑らか表示モードも Excel 以外のアプリケーションでの内容把握に与える影響は同様のことがいえる。さらに, エクスプローラにおいて, 強調表示機能の違いが分かりやすさに影響を与えていないことが分かる。

5.3 アンケート結果

5.3.1 主観評価

それぞれのアプリケーションにおける各方法での取り消し操作の分かりやすさの平均値と標準偏差を図 12 に, 各アプリケーションで最適な提示手法に選ばれた方法を図 13 に示す。

数値化した分かりやすさのアンケート結果について, 分散分析の結果, アプリケーションの主効果 ($F(3, 280) = 4.54, p < .01$) と手法の主効果 ($F(4, 280) = 89.72, p < .01$) で有意差があったが, 交互作用では有意差はなかった ($F(12, 280) = 1.17, n.s.$)。そこで, アプリケーションと手法それぞれの主効果について Tukey 法による多重比較を行った。まず, アプリケーションの主効果の比較では, III に対して II で有意差があった ($q(2, 75) = 3.37, p < .05$)。

表 4 手法の主効果における Tukey 法の結果

Table 4 Result of Tukey's test in main effect for methods.

組合せ	a-b	a-c	a-d	a-e	b-c	b-d	b-e	c-d	c-e	d-e
q 値	17.72	13.20	24.07	24.81	2.13	6.94	6.23	8.21	7.61	1.19
有意差	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	-	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	$p < .01$	-

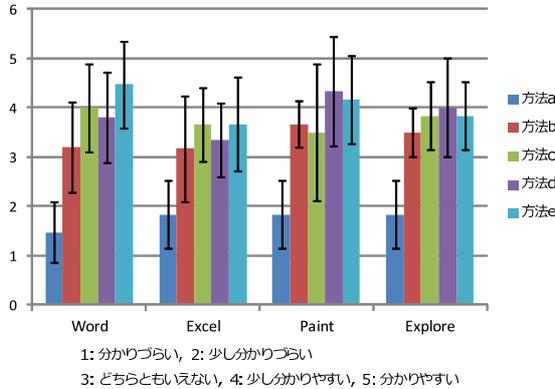


図 12 取り消し操作の分かりやすさの平均値と標準偏差

Fig. 12 Mean and SD of the comprehensibility of undo operation.

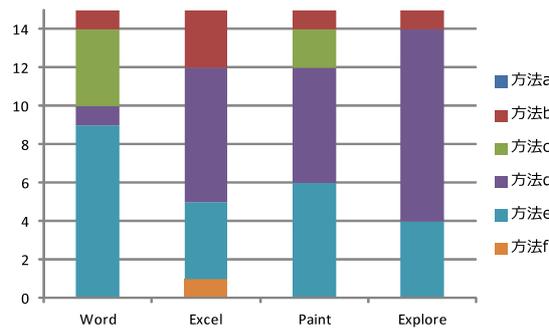


図 13 各アプリケーションにおける最適な提示方法

Fig. 13 Best method for each application.

次に、手法の主効果の比較では、表 4 に示すように、方法 b と方法 c、方法 d と方法 e 以外の組合せにおいて 1%水準で有意差があった。これにより、強調表示機能の違いが分かりやすさに影響を与えていないことが分かる。この結果は、前述の内容把握における、エクスプローラでの検定にも当てはまる。

また、図 12 と図 13 の結果より、被験者が分かりやすいと考える方法と各アプリケーションで最適だと考える手法の傾向がわずかに異なることが分かった。双方で、取り消し内容提示機能である方法 d、e が上位となっているが、II、III においては併用される強調表示機能が異なった。今後、追加で聞き取り調査を行い、その原因の明確化が必要だと考えられる。

5.3.2 自由記述

評価実験後、被験者に記入してもらった感想やコメントの中から、多くの被験者から指摘のあったものをいくつか紹介する。まず、肯定的なものとして、「滑らか表示モード

表 5 表示領域外への取り消し操作の把握結果

Table 5 Aware of undo operation outside the visible area.

Word	Excel	Paint	Explore
9/15 (人)	12/15	9/15	14/15

表 6 方法 f の妥当性のアンケート結果の平均値

Table 6 Mean of suitability of method f.

Word	Excel	Paint	Explore
2.87	3.07	2.93	3.07

1: 不適, 2: やや不適

3: どちらともいえない, 4: やや妥当, 5: 妥当

において、視覚的效果のおかげで、取り消し内容提示機能がない場合も、ある程度内容が把握できた」「マウス入力での取り消し内容提示機能において、ファイル移動の動きが視覚的に把握できるのは非常に便利であった」という意見があった。

次に、否定的なものとして、「赤枠表示モードは、画面上のすべての画面変化を提示するため、どの赤枠が重要なのか分かりにくかった」「取り消し内容提示機能において、マウスの軌跡を提示する際、現在の提示方法では各入力イベントが差別化されていない、矢印でもよいのではないか」「Excel やエクスプローラでの取り消し操作において、提案手法の有無にかかわらず、ある程度作業が予想でき、取り消し操作を把握できた」という意見があった。ここで、予想できる作業として、Excel では、カーソルの移動や選択した行列ラベルの強調、エクスプローラでは、緩やかなファイルの出現・消失という視覚的效果があげられた。

そのほかとして、「赤枠表示モードは変化にまったく気付いていない場合に有効であり、滑らか表示モードは変化にある程度気付いている場合に有効である」「実際に自らが作業している場合では、提案手法があれば、位置と内容どちらもより正確に把握できる」という意見があった。

以上から、提案手法は有効であるが、実装は不十分で改良の余地があるといえる。

5.4 取り消し通知機能の評価

それぞれのアプリケーションにおける、表示領域外での取り消し操作に気付けた被験者数を表 5 に、表示領域外での取り消し操作の提示方法としての妥当性のアンケート結果の平均値を表 6 に示す。表 5 より、すべてのアプリケーションにおいて、半分以上の被験者が表示領域外での取り消し操作に気付けたことが分かる。また、表 6 より、すべ

てのアプリケーションにおいて、点滅により表示領域外での取り消し操作を通知することが不適切だと感じた被験者が多かったことが分かる。この理由として、変化部分の把握に集中しているため点滅に気付かず、表示領域外での取り消し操作だと認識できていなかったことがあげられる。以上より、表示領域外での取り消し操作の把握を支援する手法が有効であるが、今後点滅以外の手法でより把握を支援できる方法を検討する必要がある。また、この場合、取り消される対象が表示されていないため、よりユーザの理解を助ける内容の提示方法が必要だと考えられる。

5.5 考察

まず、評価結果について考察する。結果として、アプリケーションにかかわらず、すべての提案手法は従来より位置把握を支援できているといえる。特に、赤枠表示モードと取り消し内容提示機能の併用が最適だという結果になった。変更箇所を赤枠で目立たせることで、ユーザの注意を引きつけられたと考えられる。一方で、内容把握において、強調表示機能単独での利用は、対象アプリケーションの影響を受けることが分かったが、取り消し内容提示機能の併用は、アプリケーションにかかわらず、内容把握を支援できていた。ここで、強調表示機能単独での利用に比べ、取り消し内容提示機能の併用が把握を促すということは、アンケート結果からも示されている。つまり、位置把握と内容把握どちらにおいても、取り消し内容提示機能の併用は有効だが、強調表示機能の利用はユーザが主に何を把握したいかによって変更することが望ましいといえる。

取り消し操作に対する挙動の差

取り消し操作に対する挙動はアプリケーションごとに異なる。たとえば、取り消し操作を連続的に行った場合、多くのアプリケーションでは取り消し可能な操作が存在しなくなるまで取り消し操作を行い、それ以降は何も起こらないが、Excelでのセル内のテキスト編集や、メモ帳におけるテキスト編集では、直前の操作のみ取り消しが可能であり、連続的に取り消すことはできない。提案システムでは、ユーザの入力履歴とスクリーンショットの変化を合わせて保持しているため、ユーザの入力を遡らせるような入力をエミュレートすることで、従来の取り消し操作では取り消せなかった範囲の取り消し操作を実行できる可能性がある。

また、現在の実装では、取り消し内容提示機能において、連続的な取り消し操作の再現に対応できていない。今後、操作履歴をさらに遡り、二度目以降の取り消し操作に対応できる機構を検討する必要がある。

可視化方法の改善

赤枠表示モードでは、ユーザの操作以外の画面変化もユーザの操作による変化と誤認するため、実際の取り消し操作が実行された部分と異なる範囲に赤枠を表示してしまうことがある。今後、これらの問題点の解決方法を検討す

る。滑らか表示モードでは、変化部分の把握が遅れると変化内容の把握が困難であった。赤枠表示機能と併用することでこの問題を解決できる可能性がある。取り消し内容提示機能では、記録した入力情報をユーザが容易に理解できるような直観的な提示方法を検討する。

実使用を考慮した実装

現在の実装では、システム実行開始時にユーザが提示手法をあらかじめ選択する必要があり、実行アプリケーションごとに機能を選択できない。また、システム実行中は取り消し操作を検出すると、ユーザの要不要にかかわらず機能を実行し、ユーザの作業を妨げる恐れがある。これらを解決するため、取り消し操作が実行されるアプリケーションやその操作の範囲、キー入力かマウス入力かの操作の種類、取り消し操作によって遡る期間から、システム側で機能実行の有無や実行する機能を自動で選択できることが望ましい。

6. おわりに

本研究では、デスクトップ上の画面変化とユーザインタフェースの操作履歴を用いることで、アプリケーションに依存せず、取り消し操作を可視化するシステムを提案した。本稿では、どこが修正・変更されたか分かりにくい、取り消された操作の詳細が分からない、画面外での取り消し操作に気付かないという問題点に対して、強調表示機能、取り消し内容提示機能、取り消し通知機能の実装と評価を行った。評価の結果、位置把握の支援において、提案手法は有効であり、内容把握の支援において、取り消される内容を提示することが有効だと分かった。今後は、プロトタイプ利用結果とアンケート評価結果から明らかになった問題点を改善し、評価で用いた取り消し操作による変化部分の違いや方法の実行順序の違いによる影響を考慮したさらなる評価を行う。また、今回の実験では被験者の特性に偏りがあったため、異なる年齢や性別、職種など被験者の条件を変化させることで異なる結果が得られる可能性がある。今後は幅広い被験者を対象に評価実験を行う必要がある。そして、取り消し操作における問題点を解決し、ユーザの操作をサポートする、より快適な取り消し操作を提供する。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）および文部科学省科学研究費補助金挑戦的萌芽研究（25540084）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Kurlander, D. and Feiner, S.: A Visual Language for Browsing, Undoing, and Redoing Graphical Interface Commands, *Visual Languages and Visual Programming*, Plenum Press, pp.257–275 (1990).
- [2] Cass, A.G. and Fernandes, C.S.T.: Using Task Models for Cascading Selective Undo, *Proc. 5th International*

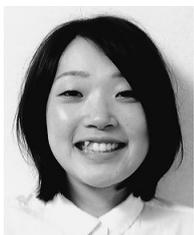
Workshop on Task Models and Diagrams for Users Interface Design (TAMODIA 2006), pp.186-201 (2006).

- [3] Weiss, S., Urso, P. and Molli, P.: A Flexible Undo Framework for Collaborative Editing, *Technical Report of Institut National de Recherche en Informatique (INRIA)*, No.6516 (2008).
- [4] Seifried, T., Rendl, C., Haller, M. and Scott, S.: Regional Undo/Redo Techniques for Large Interactive Surfaces, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012)*, pp.2855-2864 (2012).
- [5] 西田知博, 林 真志, 辻野嘉宏, 都倉信樹: ヒストリーグラフを用いたアンドゥ機構の提案と評価, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンインタフェース研究会), Vol.99, No.69, pp.67-72 (1999).
- [6] 増田尚則, 今宮淳美: Undo 機能をもつグラフィカル履歴ブラウザ設計と視覚的探索方法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J85-D1, No.8, pp.798-810 (2002).
- [7] Meng, C., Yasue, M., Imamiya, A. and Mao, X.: Visualizing Histories for Selective Undo and Redo, *Proc. 3rd Asia Pacific Computer and Human Interaction (APCHI 1998)*, pp.459-464 (1998).
- [8] Myers, B.A., McDaniel, R., Miller, R.C., Ferreny, A.S., Faulring, A.D., Kyle, B., Mickish, A., Klimovitski, A. and Doans, P.: The Amulet Environment: New Models for Effective User Interface Software Development, *IEEE Trans. Software Engineering*, Vol.23, No.6, pp.347-364 (1997).
- [9] Myers, B.A. and Kosbie, D.S.: Reusable Hierarchical Command Objects, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 1996)*, pp.260-267 (1996).
- [10] 田中 敏: 実践心理データ解析改訂版, 新曜社 (2006).
- [11] 永田 靖, 吉田道弘: 統計的多重比較法の基礎, サイエンスティスト社 (1997).

推薦文

汎用的なデスクトップ上の取り消し操作を、画面変化の履歴、視覚的な変化に着目して行う手法の提案と評価であり、新規性が認められ、厳密な評価も行われており、論文として有用性も高く、論文誌に推薦する価値がある。

(コンシューマ・デバイス&システム研究会主査 石川憲洋)



坂本 有沙

2012年神戸大学工学部卒業。2014年同大学大学院博士前期課程修了。コンテキストウェアサービス、ユーザインタフェースに興味を持つ。



片山 拓也

タフエースの研究に従事。

2008年大阪大学工学部卒業。2010年同大学大学院博士前期課程修了。2013年神戸大学大学院博士後期課程修了。2013年神戸大学大学院工学研究科学術推進研究員。博士(工学)。コンテキストウェアサービス、ユーザイン



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。2007年神戸大学大学院工学研究科准教授、現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事を兼務。博士(工学)。アクティブデータベース、ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE等、5学会の会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師、1996年同専攻助教授、2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授、2004年神戸大学電気電子工学科教授、現在に至る。2004年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務。工学博士。ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等、8学会の会員。