

アルゴリズム理解促進のための擬似力覚呈示に関する検討

Presenting Pseudo-Haptics for Understanding Algorithm

三好 康夫^{*1}
Yasuo Miyoshi

柏原 昭博^{*2}
Akihiro Kashiara

岡本 竜^{*1}
Ryo Okamoto

^{*1} 高知大学
Kochi University

^{*2} 電気通信大学
The University of Electro-Communications

In learning algorithm with existing learning materials, it is difficult for novice learners to be aware of their own mistakes of understanding and regularity of procedure. Therefore, we provide a learning environment where they are allowed to manipulate the algorithm execution on a tablet device, and pseudo-haptics to their manipulations is presented. In this paper, we classify and organize the pseudo-haptics for understanding of algorithm according to feeling of visual incongruity. This paper also discusses suitable pseudo-haptics for presenting cognitive suggestion and for bringing about awareness of important points and mistakes in algorithm.

1. はじめに

本研究では、タブレット端末上で学習者がタッチ操作によるアルゴリズムの実行操作が行える学習環境を提供し、アルゴリズムの理解促進支援を目指す。初学者のアルゴリズム学習において、既存の教材では、処理手順の規則性や理解の誤りに気づかせることが困難である。そこで、本学習環境ではアルゴリズムの実行を学習者自身に行わせ、その操作に対して擬似力覚を呈示する。擬似力覚とは視覚的情報から力覚が生じる錯覚のことであり、この擬似力覚の視覚的違和感により、処理手順の誤りや重要なポイントを顕在化させ認知的示唆を与える。本稿では、アルゴリズムの理解の過程において、擬似力覚呈示によりどのような認知的効果が得られるのかについて検討する。

2. アルゴリズム理解のための実行操作環境

2.1 先行研究

アルゴリズム学習に関する研究としては、大きく以下の3つに分類できる。(1)アルゴリズムの可視化による理解促進支援:アルゴリズムをフローチャートとして可視化したり、アルゴリズムの振る舞いをアニメーションとして再現して学習者に見せることで理解促進を支援しようとする研究である。(2)アルゴリズムの記述による理解促進支援:学習者にアルゴリズムをプログラミング言語、ビジュアルプログラミング言語、フローチャート等で記述させ、学習者のアルゴリズムの振る舞いを再現し見せることで理解のリフレクションを促そうとする研究である。(3)アルゴリズムの実行操作による理解促進支援:アルゴリズムの振る舞いを学習者自身に操作によって再現させることで理解促進を支援しようとする研究である。アルゴリズムの理解が不十分な状態でアルゴリズムを記述することは困難であるが、(3)の手法であれば、理解が不十分な状態であっても試行錯誤的に実行操作を行うことが可能である。従って、(1)と(2)の間で行うのに適した支援手法といえる。

本研究は(3)に該当し、先行研究としては[Nakahara 2009][緒方 2005]等が存在する。緒方らの手法は他者と対話しながら実行操作を試行錯誤する環境を提供するが、正しく理解できているかの気づきについては(1)の手法に頼っている。Nakaharaらのシステムは、最後に判定ボタンを押すと誤った操作を行った直前の状態に戻されるだけであるため、判定ボタンを押さない限り、誤りに気づかずに誤った状態のまま試行錯誤を続けてしまうこと

連絡先:三好 康夫, 高知大学, 〒780-8520 高知県高知市曙町 2-5-1, 088-844-8346, miyoshi@is.kochi-u.ac.jp

が危惧される。本研究では試行錯誤中に自分で誤りに気づかせることを重視し、アルゴリズムを実行操作する環境に、3章にて詳述する擬似力覚を導入する。

2.2 提案する学習環境

本研究では、ソートアルゴリズムの理解を目的とした学習環境の構築を目指す。現在はクイックソートを対象に、図1に示すようなインタフェースの試作を行っている。上部にはクイックソートアルゴリズムの解説教材が表示され、下部が実行操作を行う領域となっている。タブレット端末で指による操作を行うため、操作パレットのアイコンや、数値カードは大きめにデザインしている。学習者は実効操作領域で、操作パレットを用いて行う「軸(Pivot)の指定」「ポインタの指定」「数列の分割」と、直接的に操作する「数値カードの交換」「ポインタの移動」を行うことができる。1つの操作をステップという単位で扱い、数列に軸を指定するところから数列を分割するまでを1フェーズとする。クイックソートは再帰的アルゴリズムであるが、フェーズが再帰的に繰り返されていることを学習者に理解させることが重要となる。

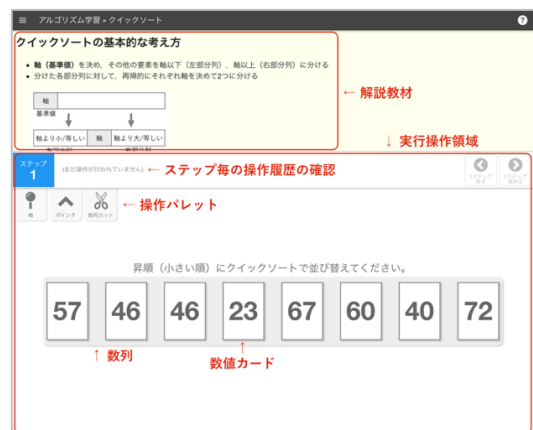


図1 試作システムのインタフェース

そこで本学習環境は、学習者のアルゴリズムの理解度に応じて、次の3段階の学習モードを用意する。(1)ステップ単位での学習を行うモード:ステップ毎に正誤判定を行うことにより、学習者が操作を誤ると次のステップに進めないモードである。このモードの目的は、学習者にクイックソートの流れを一通り把握してもらうことである。(2)フェーズ単位での学習を行うモード:ステップ単位での学習者の操作が誤っていても次のステップに進めるが、フェーズの終わりに正誤判定を行うため、フェーズのどこか

で操作を誤っていると次のフェーズに進めないモードである。このモードでは、学習者にフェーズ内の手順を理解できているかを内省してもらうこと、再帰的にフェーズが繰り返されていることを把握してもらうことを目的とする。(3)全体を通した学習を行うモード:最後にのみ正誤判定を行うため、途中で操作の誤りがあっても次のステップ、フェーズに進むことができるモードである。このモードは、再帰的な繰り返しも含め、クイックソートの手順の流れ全体を理解できているかを内省してもらうことを目的とする。

3. 認知的示唆を与えるための擬似力覚呈示

3.1 擬似力覚とは

擬似力覚とは、視覚的情報から力覚が生じる錯覚のことであり、オブジェクトの視覚的な動作がそれを操作しようとする者の感覚と整合しないことにより、違和感を覚えることで起こる。例えば、タブレット端末でオブジェクトを指でドラッグ操作しようとする際に、オブジェクトの動きを指の動きより遅らせることで、オブジェクトを重く感じさせることができる。こうした擬似力覚を呈示されて得られる認知的効果について検討するため、擬似力覚呈示の効果を表すモデルの構築に取り組んできた[柏原 2015]。本稿では、学習活動における何らかの気づき(認知的示唆)を与えるために呈示できる擬似力覚の種類について検討する。

まず前提として、擬似力覚を与えるためにできることは操作と操作対象のオブジェクトとの間に「動きのずれ」を生じさせることだけであり、学習者が操作を始めるまでは擬似力覚を与えることができないことを確認しておく必要がある。また、本稿では誤りを許容して操作させる際の擬似力覚のみを扱う。従って、操作後に操作がキャンセルされてしまう場合(例えば、ノード間にリンクを張る操作を行ったがキャンセルされてリンクが切断されてしまう、オブジェクトをドロップしたがキャンセルされて元の位置に戻されてしまう、スワイプで画面を遷移させようとしたが何か引っかかるような感覚があり遷移できない、など)は扱わない。

以上を踏まえ、擬似力覚の種類を表 1 のように分類した。これらの擬似力覚により期待される認知的示唆は、対象となるオブジェクトが重要であること、操作が何らかの理由により誤りであること、あるいは、操作が正しいことを示唆することであり、表 2 のようにまとめられる。

3.2 アルゴリズム実行操作における擬似力覚呈示

これまでの先行研究[柏原 2015]では、主に知識マップを作成する環境における擬似力覚呈示を与える認知的示唆について検討してきた。マップの作成環境における擬似力覚は、ノードが重要な知識・概念であること、リンクが重要な関係であること、及び誤りを直感的に示唆するが、それに対しソートアルゴリズム実行操作においては、操作順序や操作内容が誤っていることを示唆することが擬似力覚の役割となる。

例えば、操作パレットを用いる「軸の指定」操作では、軸アイコンをドラッグ操作で「移動」し、指定したい数値カードにドロップすることで「選択」する。もしこのとき、軸の指定を行うステップではなかった(操作順序が誤っている)場合であれば、操作開始直後にドラッグ中の軸アイコンの「動きが遅れる」ことにより「重さや抵抗」の擬似力覚が与えられ、軸を指定する操作が誤りであることが示唆される。また、誤った数値カードにドロップしようとしていれば(操作内容が誤っている場合)、軸アイコン(または数値カード)が「反発する」ことにより「斥力」の擬似力覚が与えられ、軸の指定先が誤りであることが示唆される。

視覚的違和感が与えられることにより、学習者は解説教材の見直しが誘発され、そこから自分の操作の誤りに気づくというプ

表 1 擬似力覚の呈示方法の種類

目的操作	タッチ操作	擬似力覚を与えるタイミング	対象物の視覚的な動き(例)	与える擬似力覚	
移動(配置)	ドラッグ	操作開始直後～	動きが遅れる	重さ, 抵抗	
		操作中, 操作後	先に動こうとする	引力	
			(周囲が)離れていく	斥力	
			(周囲が)近づいてくる	引力	
			(関連する線が)薄く, 細くなる	張力(弱), 斥力	
(関連する線が)濃く, 太くなる	張力(強), 引力				
選択	タップ	操作後	反応が遅くなる	重さ, 固さ, 抵抗	
	ドロップ	操作中, 操作後	反発する	斥力	
			吸着しようとする	引力	
	(ノード間のリンク等)ドラッグによる線の描画	操作開始直後～	動きが遅れる	重さ, 抵抗	
			反発する	斥力	
			吸着しようとする	引力	
			線が薄く, 細くなる	張力(弱), 斥力	
		操作中, 操作後	線が濃く, 太くなる	張力(強), 引力	
			操作後	線が伸びようとする	張力(弱), 斥力
			線が縮まろうとする	張力(強), 引力	
確認(全体に対して)			スワイプ	操作中, 操作後	(一部が)遅れて動く
シェイク	〃	(一部が)大きく揺れる	軽さ		
傾ける	操作中	(一部が)滑り落ちる	重力		

表 2 擬似力覚により期待できる認知的示唆

与える擬似力覚	期待される認知的示唆
重さ, 軽さ, 固さ, 抵抗, 重力, 張力(弱), 斥力	誤り
張力(強), 引力	重要, 正解

ロセスが期待される。また、そうした違和感に対する探求が認知的効果を高めることが期待できる。擬似力覚呈示の特徴は、誤りに対して直接的なエラー表示等のメッセージを呈示しなくても、自分で誤りに気づくための見直しを起こす点である。

4. おわりに

本稿では、擬似力覚の呈示方法についてまとめ、アルゴリズム実行操作において擬似力覚呈示により操作順序と操作内容の誤りを示唆する方法を示した。今後は開発中の学習環境を用いて評価を行い、擬似力覚による認知的示唆が期待通りに行われることやエラー表示との効果の違いについて検証したい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費挑戦的萌芽研究 (No. 15K12408) の助成による。

参考文献

- [柏原 2015] 柏原昭博, 塩田剛: 擬似力覚呈示による知識構築支援, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J98-D, No.1, pp.104-116 (2015)
- [Nakahara 2009] Nakahara, T., Konishi, T., Kogure, S., Noguchi, Y., and Itoh, Y.: Learning environment for algorithm and programming where learners operate objects in a domain world using GUI, *Proc. of ICCE2009*, pp.59-66 (2009)
- [緒方 2005] 緒方広明, 笹田智伸, 殷成久, 矢野米雄: アルゴリズム学習を対象とした PDA を用いた参加型シミュレーション環境, 日本科学教育学会年会論文集 29, pp.123-124 (2005)