

GhostCube: 逆再生によるルービックキューブ解法支援

鯨坂 修平[†] 原 慎一朗[†] 松内 萌[†] 羅 書洋[†] 吉田 匠吾[†]
謝 浩然[†] 宮田 一乗[†]

概要: ルービックキューブはシンプルなルールとは裏腹に完成難度は高く、特に初心者を対象とした支援が行き届いていない状況である。本研究では、ルービックキューブ攻略中に特定の手順へと遡り、途中から操作を再開できる「逆再生」システムがルービックキューブの学習効率を高めると仮定し、「逆再生」機能を有したルービックキューブ支援システムを提案した。また、本システムによる支援がユーザーの学習体験に如何なる影響を及ぼすかを検証する実験を行い、その結果、ルービックキューブの構造への理解が深まり、誤操作を認識しやすくなる結果が得られた。

1. はじめに

ルービックキューブは、シンプルなルール故に知名度は高いものの、その反面完成難度は高く、実際に触ったことがあっても六面完成まで辿り着けずに挫折してしまうユーザーも少なくない。

近年、空間 AR 技術の普及によって、それらの技術を様々な分野の支援に活用する研究は盛んに行われている。なかでも実世界の空間や物体に仮想空間の情報を投影し、それぞれの要素を組み合わせる技術であるプロジェクションマッピングは、実世界の対象に様々な価値を付与することが可能な特性を活かし、幅広い分野への支援が検討されている[1, 2]。

これらの技術活用は、ルービックキューブ分野においても同様であり、様々な検討が進められている[3, 4]。

しかし、ルービックキューブの支援システムでは、解法そのものやアルゴリズムに関する研究は積極的に行われている一方で、パズルを解く「過程」への支援に着目した研究は未だ少ないのが現状である。

本研究では、ルービックキューブ完成の過程で誤った操作を行った際に復元が困難である点に注目し、直感的な操作性を担保しながら、過去の手順を遡ることで苦手箇所を重点的に練習できる、空間インターフェースを活用した「逆再生」支援を提案する。

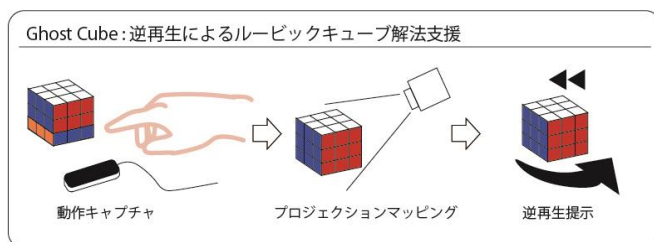


図 1 研究概要図

2. 先行研究

2.1 ルービックキューブ拡張支援研究

ルービックキューブの拡張支援は、大きく二つに分類される。一つはルービックキューブの解法支援であり、佐藤らは VR 技術と手のモーションデータを用いて解法を提示する手法を示した[5]。この分野の研究はデバイスにルービックキューブの解法を提示することを目的とするため、デバイス技術の進歩にしたがい、新たな支援研究や商品開発が盛んに行われている[6, 7]。

もう一つは、ルービックキューブの「面白さ」を増幅させるための研究で、AR マーカーを識別することで、仮想空間にいくつかのミニゲームをマッピングしてパズルを解くシステムや、VR 空間にルービックキューブを配置し、HMD を装着したユーザーがキューブの内側からパズルを解くインタラクションが研究されている[8, 9]。

このようにルービックキューブの解法や面白さを拡張する研究が数多くなされる一方で、キューブの操作過程に対する支援は少ない。

本研究では、解法と異なる操作を行った際に復元が困難である点に注目し、改善するためのシステムを実装した。

2.2 逆再生支援

本研究が提案する逆再生支援によってもたらされる「試行錯誤」体験に注目した関連研究はいくつか見られる。なかでも吉田らは一方向性の配信コンテンツは受け身の学習に繋がりがやすいと指摘し、高校数学を題材に学習中の試行錯誤を入力としたインタラクティブな e-learning システムを提案した[10]。

2.3 プロジェクションマッピング

Xie らはプロジェクションマッピングを用いたバルーンアート制作支援を行う中でドローンなどの軽量化ディスプレイを用いることにより、ユーザーの負担を減らすことに成功した[3]。これはヘッドギアを装備する必要がある VR や AR を用いた支援と大きく異なる点である。

ルービックキューブの解法は複数の段階に分けて完成を目指すものが多く、攻略に時間のかかる初心者への支援には比較的長時間の使用に耐えうる環境の提供が肝要である。

3. システム概要

本システムは仮想のルービックキューブとしてプロジェクションされた立方体を扱い、必要に応じて過去の手順に遡る逆再生処理を実行することで、ルービックキューブの解法を支援する。

3.1 提案システム

GhostCube システムは、図 2 で示した環境で構築されている。なお、プロジェクションマッピングで投影された映像がより鮮明に見えるよう、本実験では可能な限り光源を遮断した状態で実施した。システム的环境は奥行約 1m、幅約 1m で構築している。

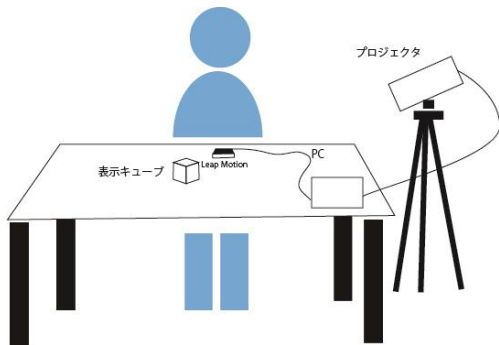


図 2 GhostCube 動作環境図

3.2 提案フレームワーク

本システムは入力部、データ格納部、出力部で構成されており、図 3 に示したように処理が実行される。

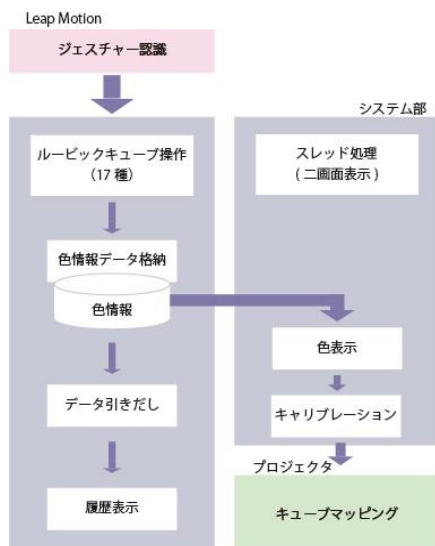


図 3 提案システムのフレームワーク

(1) 入力部

ルービックキューブは、上段・下段・左列・右列・前面・背面のいずれかに対して、時計回り・反時計回りの回転操作を行うことで盤面に変更を加えることができ、プレイヤーはこれらの操作を駆使して六面完成を目指す。

(2) データ格納部

データ格納部は、ルービックキューブの盤面情報に変更が加えられるたび、各面の色情報を 2 つのテキストファイルに保存する。また、手順を戻した際に、各面の保存された色情報を読み込む。

(3) 出力部

データ格納部で保存した手順を表示する履歴表示画面と、プロジェクタにてキューブのマッピングを行う提示画面の二画面で構成される。

4. システム構成

4.1 ジェスチャー認識による回転操作

本研究では Leap Motion を活用して、上記の 12 方向の回転操作に、視点を切り替えるための 4 方向の投影面切り替え操作、そして一手前の手順に遡る逆再生操作を加えた計 17 種類の操作に対応したハンドジェスチャーを実装した。

逆再生操作以外のジェスチャーは全てスワイプ操作により実行される。まず、12 方向の回転操作のうち、前面と背面を除く全ての動作は、全ての指を広げた状態で行う(図 4-1)。この操作は右手と左手で異なるジェスチャーとして認識されており、右手の上下スワイプで右列、左右スワイプで上段、左手の上下スワイプで左列、左右スワイプで下段の回転操作に対応させている。次に、前面と背面の回転操作は二本指での左右スワイプ操作と対応させた(図 4-2)。これも右手と左手で異なるジェスチャーとして識別されており、右手が前面、左手が背面の回転操作として実行される。

投影面の切り替えは一本指でのスワイプ操作と対応させた(図 4-3)。これは上下左右四方向の認識のみであり、左右の手の区別は行っていない。

最後に一手前の手順に遡るコマンドである逆再生操作に関しては、親指と人差し指で「つまむ」ジェスチャーを採用し、キューブ操作中に誤認識が発生しないよう配慮した(図 4-4)。



図4 ジェスチャー一覧

4.2 操作履歴の保存

ルービクキューブを構成する個々のブロックを定義し、その構成を平面で表現したルービクキューブの展開図を用いて保存した。本システムで提示する各面の色は、白、赤、青、オレンジ、黄色、緑の6色を用いることとする。図5に回転操作を行うキューブの展開図と色が格納される展開図を示す。キューブの各面回転操作を行う度に展開図データに色が格納される。その後、手順を戻した際に、色情報が遷移し、履歴データから逆再生動作を確立している。これらの動作を繰り返すことによって、任意の手順までキューブの状態を戻し、再びその手順の続きとしてルービクキューブを操作し続けることが出来るため、逆再生によるルービクキューブの解法支援を実現できる。

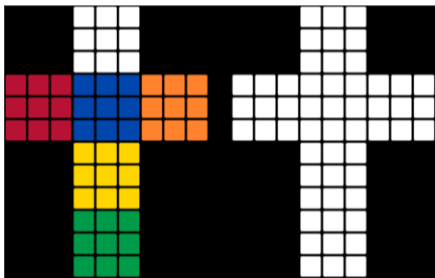


図5 回転操作を行うキューブの展開図(左)と色が格納される展開図(右)

4.3 逆再生インターフェース

表示部は2画面あり、1画面目は、過去の手順を最大10手まで表示できるデバッグ用表示画面、2画面目は、キューブへのプロジェクションマッピングを行う提示画面である。1画面目と2画面目とでスレッド処理にて同時に画面を立ち上げておく。つまり、1画面目でそれぞれの面の1マスごとに配列によって設定されている色情報を、2画面目で用意された iCubeRGB 配列に代入し、createCubeRect関数にて描画を行う。

キャリブレーションは手動で行い、一台のプロジェクタを用いて同時に三面を投影する(図6)。

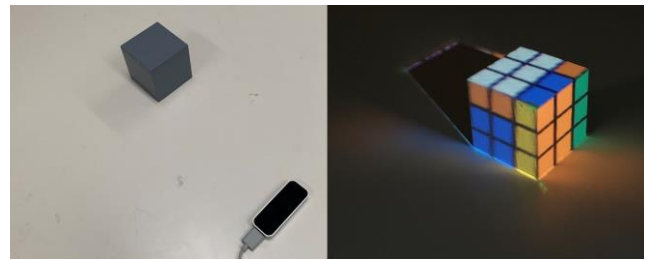


図6 投影前と実際の投影の様子

5. 実験と評価方法

本システムは、Processing を用いて実装した。なお、実行環境は以下のとおりである。

GPU: NVIDIA GeForce GTX 1080

CPU: Intel(R) Core(TM) i7-2700K CPU 3.50GHz

使用 SDK: Leap Motion Orion 3.2.1, keystone.

5.1 評価基準

本システムを、ルービクキューブの解法学習への支援効果に注目して評価する。特に、プレイ履歴の「逆再生」機能が、解法の学習効率にどのような影響をもたらすか、また、学習効果がどれほど増幅するかについて検証する。上記の評価項目を検証するために、「完成するまでに要した時間」及び、制限時間内で一面に同色のブロックをいくつ集めたかで評価する「完成度」、「完成に至った手数」、「手順の振り返り」、「解法理解」、「構造理解」、「過ちの認識」、「新たな解法の発見」、「履歴表示の必要性」の6つの項目を5段階で評価する項目を設け、それらの結果を分析した。

5.2 実験内容

本研究の評価実験は、被験者8人に対し「任意の面を一面完成させる」課題を与え、その解決の過程に逆再生操作が与えた影響を評価するものである。

まず、逆再生評価実験を行う前に事前アンケートを行った。事前アンケートには、被験者のこれまでのルービクキューブ経験や、ルービクキューブに対する知識、被験者自身がルービクキューブに対して得意意識を持っているか、攻略法を見ることによって実際にルービクキューブを解けるようになると思うかを問う設問を設けた。今回の評価実験では4つのグループに分け、それぞれのグループで2段階にわたる実験を行った。各段階における実験の所要時間は最大5分と設定した。

一つ目のグループでは、1段階目に1面のみを完成させるためのプロセスや攻略法を全く支援することなく目的の達成を目指し、2段階目は、1面のみを完成させるためのプロセスや攻略法[11]を支援することによって目的の達成を目指してもらった。二つ目のグループは、一つ目のグループと逆の順序で目的の達成を目指してもらった。

三つ目のグループでは、1段階目に1面のみを完成させ

るためのプロセスや攻略法を全く支援することなく目的の達成を目指し、2段階目は、本研究の逆再生操作システムを利用することによって目的の達成を目指してもらった。四つ目のグループでは、三つ目のグループと逆の順序で目的の達成を目指してもらった。これらの四つのグループからなる計8人の被験者のルービックキューブの1面のみを完成させるまでの時間や手数や終了した時点での完成度、事前アンケートの回答内容から、本研究における逆再生操作システムの有効性を学習効率や教育効果といった観点で評価し検証する。また、この評価実験の終了後にもアンケートに回答してもらった。実験終了後のアンケートには、本研究の実装に使用した Leap Motion の操作性や各グループの実験内容に即した設問を設け、本研究における逆再生操作システムの有効性を被験者による評価から検証する。

6. 結果と考察

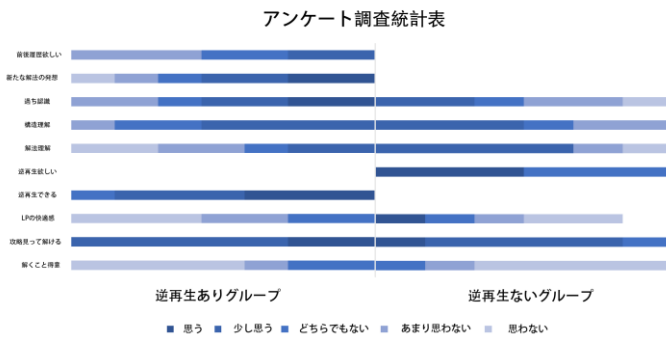


図7 アンケート結果一覧

まず、逆再生支援システムを使用しなかったグループのうち、「攻略資料なし→攻略資料あり」の順でパズルに挑戦したグループは「ルービックキューブの解法への理解」と「キューブの構造理解」の項目で効果を得られないと回答し、「逆再生支援の必要性」についても否定的な回答を示した。同じく逆再生支援を使用しなかったグループのうち、「攻略資料あり→攻略資料無し」の手順で挑戦した被験者は、初めに攻略資料を見なかったグループに比べ、「解法の理解」、「キューブ構造の理解」に関して高い結果が得られ、「完成度」の数値にも反映されている。また、このグループは逆再生システムの必要性にも肯定的な回答を示した。また、上記の2グループはいずれも、誤った操作を行った際にその過ちに気付きにくい傾向が見られた。

逆再生システムを使用したグループは、全体的に「解法に関する理解」への自己評価で特徴的な結果は得られなかったものの、「構造への理解度」に関する評価は高く、自身の誤操作を明確に認識できていた。逆再生システムを使用したグループのうち、「攻略情報なし→攻略情報あり」の手順で実験した被験者は「キューブ構造への理解度」への自己評価において「攻略情報あり→攻略情報なし」グループ

よりも明らかに高い評価が得られた。

本実験で得られた、被験者の一面完成度をグラフ化したものを図8に示す。縦軸が一面に揃えられた同色ブロックの数を示しており、横軸が実験段階を示している。青軸が逆再生支援利用者で橙の軸が逆再生支援未使用者を示している。この結果から、逆再生支援が一定の学習効果を上げたと言える。

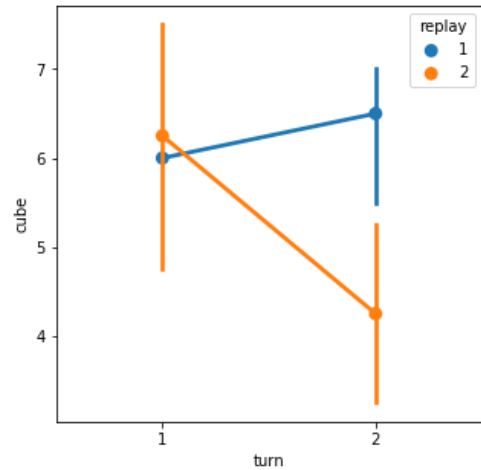


図8 被験者の一面完成度

また、システムの改善点について、大部分の被験者は「Leap Motion による入力精度の低さ」を指摘した。しかし、入力操作に高い評価を付けた被験者は全被験者中最高の達成度を記録した。したがって、Leap Motion 等のインタラクション支援方法に関するユーザー評価は、ルービックキューブの理解度に何らかの影響を与えている可能性がある。

7. まとめと今後の展望

本研究では、ルービックキューブの学習効率を高めるための逆再生アプローチを提案し、それに基づくシステムを実装した。

今後は、より直感的かつ快適な入力操作の実現を目指したい。特に実験において、Leap Motion を用いた入力操作は被験者の期待する精度に達しておらず、かつ、直感的とは言い難い操作性であった。キューブの盤面変更をアニメーションで表現したり、どのような変更が加えられたかを文字や矢印で明示したりといった視覚的な要素の改善や、実際のキューブ操作に近いジェスチャーの新規実装といった仕様の改善を試みたい。

また、既存研究のような解法教示システムとの連携も検討したい[1, 2]。本システムでは支援できないルービックキューブの理論的な部分を補うことで、更なる学習効率の向上に繋がると推測する。

参考文献

- [1] 土井麻由佳・宮下芳明. 奏法を考慮した箏演奏学習支援手法に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.3, pp.912-928, 2018.
- [2] 鈴木まな美・菊池司(2016)『プロジェクションマッピングによる錯覚効果を利用した動作支援』映像情報メディア学会技術報告, Vol. 40, No. 11, pp315-318.
- [3]Haoran Xie, Yichen Peng, Naiyun Chen, Dazhao Xie, Chia-Ming Chang, and Kazunori Miyata, BalloonFAB: Digital Fabrication of Large-Scale Balloon Art, ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2019), Late Breaking Work, Glasgow, 2019.
- [4]橋塚和典・神原誠之・萩田紀博 (2014)『拡張現実感によるルービクキューブの解法教示システム』, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014, No. 25, pp. 1-6.
- [5] Jaebum Park, Changhoon Park(2016)『Augmented Reality Based Guidance for Solving Rubik's Cube Using HMD』, HCI International 2016 – Posters' Extended Abstracts, pp. 524-529.
- [6]Makoto Sato, Yasuharu Koike, Somsak Walairacht (2003)『Playing Rubik's Cube in Mixed Reality』, Entertainment Computing pp. 415-422.
- [7]Rubik's Cube™ VR, url:
https://store.steampowered.com/app/948940/Rubiks_Cube_VR/, (2019-12-22 参照).
- [8]Oriël Bergig, Eyal Soreq, Nate Hagbi, Kirill Pevzner, Nati Levi, Shoham Blau, Yulia Smelansky, Jihad El-Sana(2011)『Out of the cube:augmented Rubik's cube』, International Journal of Computer Games Technology, vol. 11, 2, pp. 1-7.
- [9]藤川司, 栗野湧太, 橋本健司, 園田幸穂, 高橋朱音(2019)『屋内ルービクキューブ』, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 2019.
- [10]吉田賢史・宮崎光二・岩本 彰・中山弘(2004)『試行錯誤を取り入れた e-Learning システムの構築 —高校数学「2次関数」を題材としたコンテンツ配信制御の試み—』, コンピュータエデュケーション, vol17, pp. 92-95.
- [11]ルービクキューブの部屋, url:
<http://aym.pekori.to/rubik/rubik1-1.html>, (2019/12/22 参照)