

ルービックキューブ型デバイスを用いた電子玩具 TangledCube の提案

鎌田 洋平[†] 笥 康明[†]

TangledCube: A Proposal on an Electronic Puzzle Using a Rubik's Cube-typed Tangible Interface

YOHEI KAMADA[†] YASUAKI KAKEHI[†]

1. はじめに

パズルや積み木など、実体のあるモノの組み合わせや形状を用いた遊びは古くより老若男女を問わず親しまれている。TV ゲームに代表されるようなモニタの中でのみ展開される遊びとは異なり、実世界の物理的な制約の中でこそ成立するルールに対して我々は固有の魅力や楽しみ方を見出しているとも言える。

一方で近年、拡張現実感 (Augmented Reality) や CHI (Computer Human Interaction) の分野では、より直感的なデジタル情報の操作を実現するために、実オブジェクトに対してセンサやディスプレイなどの電子デバイスを付加し、その実体性を保ったまま、あるいは実体性を活かして入出力ツールとして用いるタンジブルインタフェースに関する研究が注目されている¹⁾。上記のような実オブジェクトを用いた旧来型のエンタテインメントにおいても、各オブジェクトの位置や姿勢、状態、関係性などの情報をコンピュータでリアルタイムに取得しデジタル情報によるフィードバックを実世界に対して行うことで、本来のゲーム性を阻害することなく、より高いエンタテインメント性を付与できるものとして近年様々な試みがなされている。

このような背景のもと、今回筆者らはルービックキューブの遊びを拡張する電子玩具 TangledCube を提案する。ルービックキューブとは、エルノー・ルービックが考案した立方体パズルで、各面の色が違う立方体が積み重なった 3×3×3 の立方体アレイの各面を回転させていくことにより、全体の各面の色を揃えることを目的とするパズルである。本稿では、ルービックキューブの各キューブの位置情報を可視光通信により

取得できるデバイスを提案する。さらに、これをインタフェースとして用い、手元のキューブの位置関係を色の並びではなく他の視覚表現を通して提示することで、同じ遊び方の中に新たなパズル体験を構成できる電子玩具システムの構築を目指す。

2. 関連研究

実体とデジタル情報が融合するエンタテインメントのメリットとしては、大きく 2 つの方向性が存在する。一つは、実体を用いることでデジタル環境への直感的な入力手段を提供できることである。二つ目は、実世界の状況をデジタル情報に変換することにより、実世界の物事の新たな見え方／捉え方を提供できることである。前者の例として、Augmented Reality 技術を用いたゲーム²⁾を挙げる。これは、二次元コードのついたカードを並べることで画面内のキャラクタを操作することができるものである。この場合、ゲームの目的は画面内の世界のストーリーを楽しむことにあるが、カードゲーム的な要素を組み込むことで直感的な参加が可能となる。後者の例としては、エアホッケーやキャッチボールといった実世界での遊びを映像や光効果により拡張・演出するシステムが挙げられる³⁾⁴⁾。これらは、あくまで実世界での身体的な遊びを楽しむことを目的としており、それをデジタル情報が拡張するという構図になっている。また、積み木の安定度合いを映像により重量表示する積み木予報⁵⁾のように、実世界の遊びを支援するためにデジタル情報を提示するようなシステムも提案されている。

筆者らの研究も後者の実世界の拡張・支援を行うアプローチの研究の一部として位置づけられるが、特に実世界での遊びを別の切り口で視覚化することを狙う。佐藤らは実世界の新しい見方を一連の映像作品や書籍の形で表現している⁶⁾。今回の筆者らの取り組みは、

[†] 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

リアルタイムに展開される遊びの中で同様に新しい見方を提示しようとするものであると言える。

ルービックキューブ自体の電子化に関する取り組みに関しては、市販された玩具である E-cube⁷⁾や、Andrew Fentem の開発した FentixCube⁸⁾などがある。E-cube はボタン、FentixCube はタッチスクリーンをそれぞれ 6 面に配した立方体型デバイスで、表面を手で触れることでルービックキューブの映像を変化させることができる。これらは、情報の入力装置であるデバイスがディスプレイとして出力装置の役割を持つ点で優れているが、実際のルービックキューブと違い手でひねって状態を変化させることはできないため、操作の直感性を保っているとは言えない。今回我々の開発するデバイスは、実際にキューブに捻りを加えることが出来るなどルービックキューブと同じ物理条件で動作する点が特徴である。なお、複数のキューブの位置関係を認識するインタフェースの研究に関しては、従来からもいくつかのアプローチでなされているが^{9) 10)}、今回のシステムの要件としてキューブ間で無線のやり取りを行い、また一度に全部のキューブの位置を把握する必要があることから、筆者らのグループで研究している Bloxels¹¹⁾に用いた積層型可視光通信の考え方を応用し、ルービックキューブの状態認識を行っている。

3. TangledCube の提案

筆者らは、ルービックキューブをデバイス化して、制作したアプリケーションの操作に用いることで既存のルービックキューブの持つパズル性に新たな面白さを付加した作品 TangledCube を提案する。

3.1 コンセプト

ルービックキューブは小さな立方体の“位置”と“向き”を揃えるパズルと言うことができ、それぞれの立方体を決められた位置に決められた向きで配置することで色の揃った状態が完成する。これまでの各面が 6 色に色分けされたルービックキューブは、このように位置情報と向き情報を持つ立方体が積み上げられたものの構造を可視化したものと言うことができる。今回筆者らが提案する TangledCube では、この状態の視覚化の方法を各面の色の配列ではなく、さまざまな要素で構成しパズルの状況に対する新たな知覚を提供することを狙う。

TangledCube では、ユーザは立方体の各面を回転させるルービックキューブ型デバイスを操作する。デバイス自体のキューブには色の情報を有しておらず、白色のデバイスである。本システムにおいて、ユーザは

色ではなく新たに視覚化された映像情報を手元のデバイスの状態と対応させてこのパズルの完成を目指す。ルービックキューブ型デバイスによりユーザはこのパズルを従来のルービックキューブと同様のパズルとして捉えることが可能となり、各面を回転させて完成を目指すという直感性を保つ。

視覚化の要素として、具体的に今回はルービックキューブの状態を線を用いて表現する。ルービックキューブを、キューブの向き情報を捨象して立方体の位置だけを揃えるパズルとして捉え、その構造を視覚化したとき、図 1 のように全体の構造を線の集まりで表現することができる。この線の集まりは全体の立方体における各頂点と辺の中点を線で結ぶことで実現される。ルービックキューブが完成された状態で立方体の各辺をなぞるように線を結ぶと、ルービックキューブを解くプロセスは絡まった糸をほどいていくような新たな体験をユーザに提供することになる。

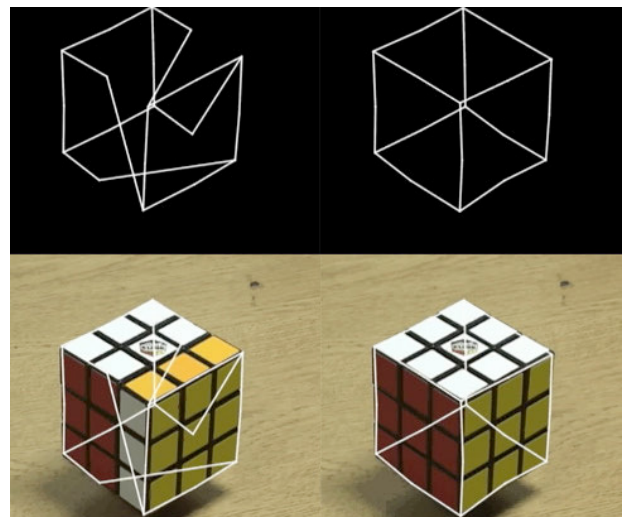


図1 線によって可視化した構造とルービックキューブの比較

3.2 ルービックキューブ型デバイスの設計

TangledCube はルービックキューブと同様の構造のデバイスであり、小さな立方体のキューブ型モジュールにより構成され、各々がマイコン、電池、LED、フォトトランジスタを内蔵する。このキューブ型デバイスが複数連結され隣り合うキューブ同士が光通信を行うことでデバイス同士の並び順を取得し、その前後の状態からユーザが回転させた面を判断する。なお、キューブ間は有線であつなぐことができないため、光の指向性を活かした光通信は、隣り合うデバイス間の信号の送受信に適した手法であると言える。

キューブ型モジュールは合計 20 個で構成される。これは外側に面している立方体のうちの各面の中心に位置する立方体以外の数である。各モジュールは 0～

19 までの固有の ID を持ち、送られてきた信号から自分が何番目のデバイスかを判断し、その信号に自分の正しい位置に ID を埋め込んで次のデバイスに送信することで順次通信を行う。

さらにキューブ型モジュールは、その設置位置に応じてコーナーキューブとサブキューブの 2 種類に分けられる。前者は全体の立方体の頂点に位置するキューブ型モジュールで、後者は各辺の中点に位置するデバイスである。コーナーキューブはサブキューブと三つの面で接するために 3 方向と通信を行い、サブキューブはコーナーキューブと二つの面で接するために 2 方向と通信を行う (図 2)。また、コーナーキューブのうちの一つは PC とシリアル通信を行い、キューブ型デバイスの並び順を取得した後にユーザがデバイスを回転する情報を PC へ送信する役割を担う。各キューブ型モジュールの通信を行う全ての面には LED とフォトトランジスタが配置され、どの面も信号の送信、受信の両方に対応できるよう設計されている (図 2)。

3.3 状態認識手法

各キューブ型デバイスはルービックキューブの幾何学的条件でも正しくデータを送受信する必要がある。ここでは、そのための通信手法の設計に関して述べる。本システムでは、どの面のフォトトランジスタから信号を受け取るかによって、どの面の LED に次の信号を送信し、どの面のフォトトランジスタから新たな信号を待つかという状態を決定する。サブキューブは信号を受信したフォトトランジスタが次の信号を待ち続け、反対の面の LED が信号を送信する。コーナーキューブは信号を受信したフォトトランジスタが次の信号を待ち続け、その面以外の二面の LED が信号を送信する。また、どちらのキューブ型デバイスも一定時間信号を受信しない場合には、LED の送信をストップし、全ての面のフォトトランジスタで信号を受信可能な状態へ移行する。

通信経路は図 3 のように PC と通信を行うコーナーキューブから出発し、立方体側面のうちの 2 面を周回して最後に PC と通信を行うコーナーキューブに帰ってくる。この通信経路上で得られた 8 つのキューブ型デバイスの並び順 2 組を前の状態と比較することで、どの面がどちらに回転したかを判断する。

個々のデバイス同士の信号の送受信方法は可視光 LED を用いて行う。LED を高速で点滅させることでその点滅周期の中に情報を埋め込んで通信することが可能となる。信号設計は送受信でデータ列の同期をとるためのスタートパターンが 1byte、通信経路にある 8 つ分のキューブ型デバイスの ID を格納するデータ

が 8byte、それらの情報が正しく受け渡されたかを確かめるストップパターンが 1byte の計 10byte とした。ID を格納しているデータ列はさらに ID を示す 6bit と、ID が格納されているかを示す 2bit に分けられる。その信号をフォトトランジスタで受信したものがマイコンによってビット情報に変換され、新たに ID 情報を埋め込まれて LED より出力される。

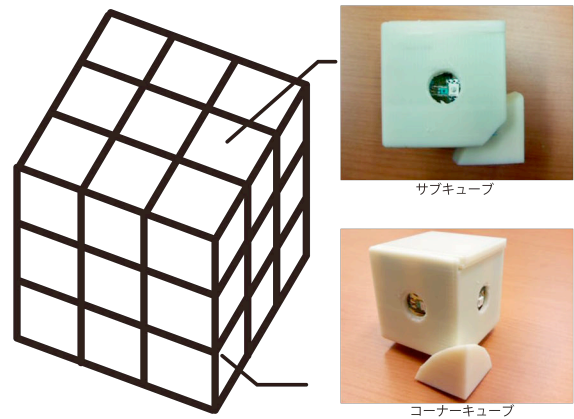


図2 TangledCube デバイスの構成

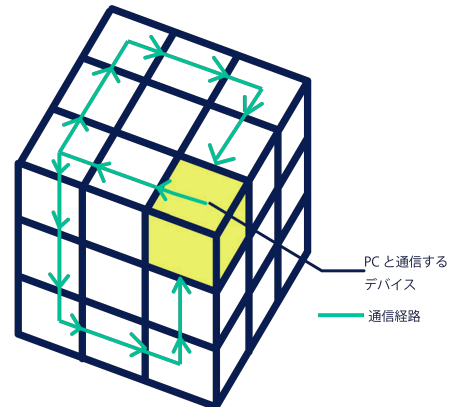


図3 可視光通信の経路

4. システムの実装とユーザ体験の様子

4.1 システム実装

図 4 に実装した TangleCube のデバイスの概観を示す。各キューブ型モジュールは Arduino と LED、フォトセンサおよび電池を内蔵している。

視覚化アプリケーションは C++および OpenGL によって記述され、図 5 のように線で可視化されたパズルの状態をモニターで映像としてユーザに提示する。ルービックキューブ型デバイスよりユーザがデバイスのどの面をどちらの方向に回転させたかという情報をリアルタイムでシリアル通信によって受け取ることでデバイスの状態と映像の同期を図り、インタラクションを実現する。

4.2 ユーザ体験の様子

ユーザに本作品を体験してもらったところ、既存のルービックキューブと違って、パズルを解くプロセスの中で糸がほどけていくような独特な心地よさや面白さが感じられるという評価を得た。また、ルービックキューブ型デバイスを操作することで直感的にパズルを楽しむことができるという感想を得ることができた。しかし、線による映像と手元のキューブの対応関係が知覚しにくいという意見も聞かれた。これは現在の実装では、映像内の視点が常に一カ所に固定されているためであると考えられる。

また、ルービックキューブ型デバイスのサイズが大きく保持しにくいという使用感に関する意見もあった。今回ルービックキューブ型デバイスの大きさは主に電池のサイズに起因しており、今後改良を要する部分である。



図4 デバイス概観

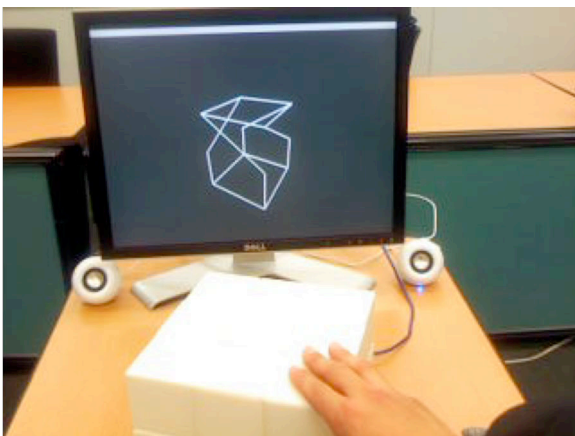


図5 体験の様子

を提案・実装した。これは、新たな見方を与えることで今までにないアプリケーションを直感的な操作とともに提案するものである。可視光通信の技術をルービックキューブという幾何学的な形状に適用し、安定した状態取得が可能なるアルゴリズムを実装した。

今後の課題としては、ルービックキューブ型デバイスに新たに加速度センサ、地磁気センサ等を搭載して実世界でのデバイスの傾き情報を映像に反映することで対応関係を把握しやすくすることや、デバイスの小型化が挙げられる。また、色や線以外の要素を用いた映像表現に関する検討や展示等を通じたユーザ評価も進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) H. Ishii, et al.: Tangible Bits:Towards Interfaces between People, Bits and Atom, Proceedings of CHI'97Proceedings of ACM CHI '97,pp 234 – 241, (1997).
- 2) THE EYE OF JUDGMENT, <http://www.jp.playstation.com/scej/title/eoj/> (2009年11月現在)
- 3) H. Nii, et al.: Instant Replay using High Speed Motion Capture and Projected Overlay, SIGGRAPH2006, Emerging Technologies, (2006)
- 4) O. Izuta et al.: Digital Sports Using "Bouncing Star" Rubber Ball Comprising IR and Full-Color LEDs and Acceleration Sensor, ACM SIGGRAPH2008, New Tech Demos, (2008).
- 5) 地下職人～再来～: 積み木予報～バランスどすえ～, IVRC2008, (2008)
- 6) 佐藤雅彦ほか: 差分, 美術出版社 (2009)
- 7) E-Cube:<http://www.ebiz.co.jp/cgi-bin/out1.cgi?name=comp&value=cesailor> (2009年11月現在)
- 8) FentixCube: <http://www.andrewfentem.com/> (2009年11月現在)
- 9) David Merrill, Jeevan Kalanithi, Pattie Maes: Siftables:towards sensor network user interfaces, Proceedings of the 1st international conference on Tangible and Embedded Interaction, pp 75 – 78, (2007)
- 10) Kyoko Ueda et al.: m-ActiveCube; multimedia extension of spatial tangible user interface, Proc. of The Second International Workshop on Biologically Inspired Approaches to Advanced Information (BioADIT 2006), pp. 363-370, (2006.)
- 11) 李 鎮河, 笈 康明, 苗村 健: “Bloxels: 発光ブロック群による実体ボクセルディスプレイ-積層によるブロック間の情報伝達-”, 信学技報, MVE (2009).

5. まとめと今後の課題

本稿では、ルービックキューブという既存の玩具をデバイス化したエンタテインメント環境 TangledCube