

StudI/O : 投影を利用したトイブロックの記録と組み立て支援

理学専攻 情報科学コース 橋本 菜摘 (指導教員: 椎尾 一郎)

1 はじめに

トイブロック (以下 LEGO® ブロックまたはブロック) は, 想像力を働かせながら独創的な組み立てを行うことで, 遊びを通して創造力を伸ばす子供向けの玩具として登場した. その後, 作品を作るために必要な部品の一式と説明書を同梱したキットとしても販売され, 説明書に従えば誰もが完成度の高い作品を作れるようになった. その結果, 独創的な創作を楽しむ従来の愛好者に加えて, 用意されたキットの組み立てを楽しむユーザが増え, 幅広い層の愛好者を集めるようになった.

近年, コンピュータ上で LEGO 作品を作成するソフトウェア (LEGO 社の LDD¹ など) が普及し, 創作作品データをインターネット上に投稿している愛好家が増加している. キット組み立てを行うユーザ層は, このデータをダウンロードして, 組み立てを楽しむこともできる.

そこで, ダウンロードした LDD 互換データを読み込んで作品の組み立て支援を行う機能と, 作成した実際の作品を LDD 互換データとして記録する機能を備えたブロック作業支援システム StudI/O を開発した.

2 StudI/O

StudI/O は安価で小型軽量のプロジェクタを使用したブロック作業支援システムである. 本システムでは, ユーザ自身がプロジェクタから投影されるマーカに合わせてブロックや組み立て基板の位置合わせを行う. これにより, 人やトイブロックの位置を検出するためのセンサは不要であり, 投影を行うプロジェクタのみのシンプルな構成となっている. 図 1 のように, ユーザが作業を行う机の上方に, 光軸を鉛直方向にあわせて真下に投影するようにプロジェクタを設置する. これをコンピュータと接続し, 作業支援のための情報を表示する.

StudI/O のシステム構成を図 1 を用いて説明する. プロジェクタには 854 x 480 画素, 投射距離 20 ~ 300cm の小型プロジェクタ² を使用した. プロジェクタは自在アームを使って作業机上 47.5cm に固定した. このとき机上への投影画面は 30.0cm x 16.8cm になる. 投影画面中央には 12.6 cm x 12.6 cm の突起を備えた作業基板を置き, ユーザはこの上で LEGO 作品の組み立て, または分解を行う. プロジェクタは PC³ に接続する. 本研究では, この PC 上の Processing 2⁴ によりアプリケーションプログラムを開発した. また, ユーザ操作のために, 2 つのボタンとスクロールホイールを備えたワイヤレスマウスを使用した.

¹<http://ldd.lego.com/>

²サンワサプライ社 400-PRJ014BK. DLP 方式. 光源は LED, 85 ルーメン.

³MacBook Pro. OS は Mac OS X 10.9.4.

⁴<http://www.processing.org/>

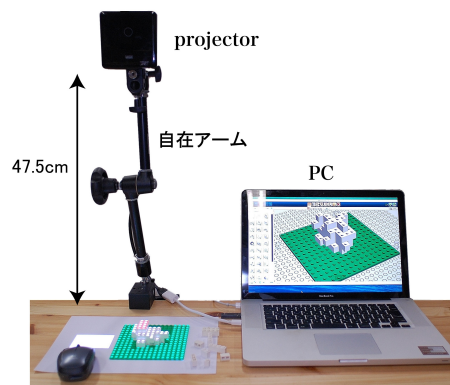


図 1: 本システムの概観.

2.1 投影による位置指定

本システムでは, 作業基板と基板の上に組み立てられたブロックの突起先端部分の場所に, 突起を正確に照射する大きさの円をプロジェクタから投影する. 今回使用したプロジェクタの光軸は, 投影面中央を通らず, 下辺にオフセットした光学系を採用している. ブロックの組み立てを進めることで突起面がプロジェクタに近づくとき, 突起面に投影される映像は縮小される. そこで, 上段のブロック突起面を照射するためには, 拡大したイメージを表示する必要がある. すなわち上段のブロックには, 下段より拡大した円形のマーカを, 下段より間隔を広げて投影する必要がある. 上段にブロックが設置されていない場合は, この映像は下段に投影されるが, その場合, 下段の突起とはずれた場所に投影される. このずれは, 光軸から離れるほど, また, プロジェクタに近づくほど大きくなる.

投影する円形マーカは水平方向は光軸からの距離に, 垂直方向はプロジェクタからの距離に比例する. これにより, 組み立てたブロック作品の段数が増えるにつれて, 光軸にもっとも近い辺を中心に投影する円のマーカが拡大していく. よって, 光軸に一番近い突起部分の最下段から 1 段目にかけてのずれが一番小さいことになる. 現在の設定では, 最下段の光軸周辺 5 突起におけるずれは 0.2mm 程度である. 作業者がこのずれを判定することは困難であるが, 作業基板の縁部分を使用して組み立てる場面は多くはないと考えている. 一方, 光軸から離れた場所の最下段から 1 段目にかけてのずれは 3mm 程度であり, 十分に判別可能である. さらに上段に進むほど, ずれは大きくなり, 識別が容易になる.

2.2 組み立て支援

本システムを起動すると, ブロック組み立て基板の突起先端を照射する多数の白い円がプロジェクタから投影される. 図 2(a) に示すように, ユーザは, 組み立て基板を机上に置き, 投影された円と突起先端が合うように位置を調整する. システムには机上に置かれた基板やブロックの位置を検出する機能は無いが, ユーザが手で動かして位置合わせすることで, 正しい位置

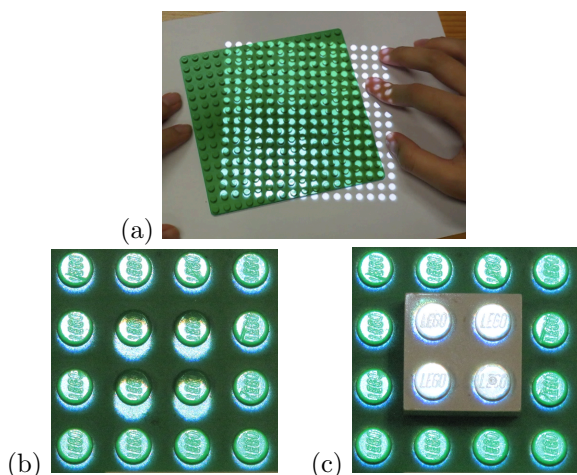


図 2: LEGO 突起への円形マーカ投影 (組み立て支援).

への投影が可能になる。

次に、ユーザがマウスクリックもしくはキー押下すると、基板に最初に置くブロックの突起先端を照射する円が表示される。この段階ではブロックは置かれていないので、図 2(b) に示すように中央にある 4 つの突起への投影が基板の突起位置からずれている。ユーザがずれの生じている場所にブロックを置くと、図 2(c) に示すように組み立てたブロックの突起先端に正しく投影される。ここでマウスクリックすると、次のブロック設置作業に進む。このように、投影が正しく行われるようにユーザがブロックを配置することで、指示に従った組み立てを進めることが出来る。高さのある大型の作品や、下に支えの無い部分などは、分割して作成することになる。このような作業手順は、従来の印刷物による組み立て説明書でも採用されていて、本システムもこの手順によりほとんどの LEGO 作品を組み立てることができると考えている。

2.3 作品の記録支援

LEGO ブロックの組み立て支援に加えて、StudI/O では図 1 と同じ装置を使用して LEGO 作品の 3 次元計測を行うことができる。ユーザは、作成した作品をプロジェクタの下に置き、作品からブロックを 1 つずつ取り外しながらブロックの位置や大きさを記録していく。システムを起動すると、組み立て基板の突起先端を照射する多数の白い円がプロジェクタから投影される。ユーザは作品の置かれた組み立て基板を机上に置き、投影された円と突起先端が合うように位置を調整する。

まず、取り外そうとするブロックの突起に白い円形マーカが合致するようマウスホイールを用いて調整することで、ブロックの高さを指定する。

次に、マウスのドラッグ操作により表示される矩形の形を変更することで、ブロックの 2 次元の位置を指定する。このように、ユーザはブロックの大きさと 2 次元の位置を指定することができる。ブロックの高さ、2 次元の位置、大きさを指定した後、右クリックをしてこれらの情報をデータとして保存し、組み立て基板からブロックを取り外す。これらの操作を繰り返し、すべてのブロックの大きさや位置を記録する。

3 ユーザ実験

StudI/O の有用性を確認するために、被験者 8 名 (20 歳代女性の情報系学科大学生および大学院生) に、LEGO 作品の組み立て作業と作品の記録作業の 2 つのユーザ実験を行った。組み立て作業の実験では、従来の紙の説明書と本システムを使って組み立てた場合を比較し、平均で 38% 作業時間が短縮した。また、作品を記録する作業の実験では、LEGO 作品を設計するための無料のソフトウェア LDD と本システムを比較し、平均で 69% 作業時間が短縮したことを確認した。以上の結果から、本システムは紙の説明書を使用した組み立て作業や GUI を使用した作品保存作業と比較して使いやすく負担の少ないシステムであると考えられる。

4 関連研究

プロジェクターにより実世界に情報を投影して作業支援を行うシステムはこれまで多数研究されている。FabNavi[1] では、使用する部品を実物大で投影することで実物と照らし合わせながら組み立てを行うことが出来る。Rivers ら [2] は 3 次元モデルから粘土模型を作成する作業を支援する手法を提案している。これらのシステムは、本システムと同様に透過型 HMD などを装着することなく利用できる特徴がある。本システムでは、カメラやセンサを使用せずに、トイブロックの突起という特徴的な部分へ投影を行うことで精度の高い組み立て支援を行っている。

また、3D データを作成する製品も多数存在している。PHANTOM⁵ や Artec3D⁶ のような 3 次元入出力デバイスは直感的な操作で 3 次元の位置を入力することができる。本システムでは、ブロックを取り外しながら記録するため、3D スキャナーでは計測できないような内部構造もデータとして保存しておくことが可能である。

5 まとめ

プロジェクションを利用した立体的な作品における作業支援方法を提案し、LEGO ブロックの突起部分にマーカを投影することで組み立て作業と作品の記録作業の支援を行う StudI/O を実装した。

2 つの評価実験により、従来の紙の説明書や GUI を基本としたシステムと比較して、ミスを減らし作業時間を短縮できることが確認できた。

今後は、対象ブロックの周囲への情報表示を導入して、より効果的に作業を支援していきたい。作品の記録機能においては、ブロックの色を効率良く保存する機能も実装したい。また、部品の特徴的な部分への投影を利用する本方式を発展させて、LEGO ブロックだけではなく、これ以外のトイブロック製品、さらには一般的な家具や装置の組み立て支援へも展開したい。

参考文献

- [1] Koji Tsukada and Keita Watanabe and Daisuke Akatsuka and Maho Oki, FabNavi: Support system to assemble physical objects using visual instructions, 10th Fab Lab annual meeting, Barcelona, Spain, 2014
- [2] Rivers Alec and Adams Andrew and Durand Frédo, Sculpting by Numbers, Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2012, 157:1–157:7(2012)

⁵<http://www.smoothie-3d.com>

⁶<http://www.artec3d.com>