

投映面の特性を3DCGに反映させるシステム SUNDIALの色認識機能への拡張

岡田 昌浩^{1,a)} 井上 亮文^{2,b)} 星 徹^{2,c)}

概要: 本研究では、小型プロジェクタから投映する3DCGを、投映先の位置や形状・色といった特性に応じて変化させるシステム「SUNDIAL」を提案する。ユーザがSUNDIALを手に持ちCGを投映すると、SUNDIALはCG周辺の物理形状や色をリアルタイムで取得する。この特性をゲームフィールドの一部として利用しCG表現へ反映させる。例えば、投映先が青色だった場合は、その範囲を水たまりとして扱い、車のCGが通過すると水しぶきをあげる。これにより、投映空間を事前計測する必要がなく、SUNDIALを室内に持ち込むだけでゲームフィールドの要素を手軽に変化させることができる。評価の結果、CG周辺の色認識精度は実験室レベルで機能することを確認した。

キーワード: モバイルプロジェクタ, プロジェクション, エンターテインメント

A Mobile Projection System SUNDIAL and its Extension to the Color Recognition of Projected Surfaces

OKADA MASAHIRO^{1,a)} INOUE AKIFUMI^{2,b)} HOSHI TOHRU^{2,c)}

Abstract: In this paper, we propose "SUNDIAL", a mobile entertainment system that projects three dimensional CG that adapts to the properties of the projected area. SUNDIAL probes the position, form, and color of the area around the projected CG. Then SUNDIAL considers those properties as a part of game field and transforms the CG into various forms. For example, a featureless car CG is projected on a plain surface. This CG is transformed into a rattling car when it is projected on a bumpy surface, and is transformed into a splashing car when it is projected on a blue-colored surface. We confirmed that the color-based CG transformation worked at a level expected for experimental use.

Keywords: mobile projector, projection, entertainment

1. はじめに

近年プロジェクタの小型化が進み、手のひらサイズになったモバイルプロジェクタが発売されている。さらに、スマートフォンやビデオカメラなどのポータブルデバイス

にプロジェクタが一体化した製品も数多く登場している。モバイルプロジェクタ単体の出荷台数は2009年に50万台であったが、2018年には4500万台に達し、組み込み型のプロジェクタを含めると1億台を越える規模になると予想[1]されている。

モバイルプロジェクタは従来の据え置き型プロジェクタに比べ、持ち歩きや設置が容易である。この特徴を活かし、ビジネス用途では主に取引先に持ち込んでのプレゼンテーションに利用されている。一方、この手軽さから、持ち歩いた先でコンテンツを投映して楽しむエンターテインメント分野での応用が期待されている。

¹ 東京工科大学大学院バイオ・情報メディア研究科
Graduate School of Bionics, Computer and Media Sciences,
Tokyo University of Technology

² 東京工科大学コンピュータサイエンス学部
School of Computer Science, Tokyo University of Technology

a) g2113004a7@edu.teu.ac.jp

b) akifumi@stf.teu.ac.jp

c) hoshi@stf.teu.ac.jp

モバイルプロジェクトを用いたエンターテインメント分野における研究では、ユーザが手に持ったプロジェクト本体を直接動かすことで、投映されたキャラクターの投映位置を操作 [2] するものが多い。室内にはユーザの上下左右に様々な色の投映先が存在する。現状のシステムはこのような位置や色の違いを考慮せず、どの面へも同じ見た目、同じ挙動のキャラクターを投映する。結果として、床を這う飛行機、垂直の壁をよじ登る自動車、青い壁にゆれる炎、赤い床を泳ぐ魚といった表現が発生する。これら表現は、我々が持つ日常的な感覚 一空は頭上に、地面は足元に、青は涼しく、赤は暑い— とはかけ離れたものである。

また、これらシステムは投映先が平面であることを前提としている。一般的な室内には、家具や照明のスイッチなどにより大小様々な凹凸があり、この上に映像をそのまま投映すると映像に歪みが生じてしまう。そのため、プロジェクトンマッピングを利用して事前に投映面の形状を測定し、その形状を考慮した映像を作成することで、CG の凹凸の影響を打ち消すのが一般的である。言い換えれば、凹凸を「なかった」ことにしている。

我々は、これまで無視や否定をされてきた投映先の位置や表面の形状を映像表現に積極的に利用し、新たなユーザー体験を提供することを目的とする。本論文では、モバイルプロジェクトから投映される 3DCG モデル (以下 CG) の見た目や動きといった表現を、投映先の位置や色、表面形状に応じてリアルタイムに変化させるシステム「SUNDIAL」を提案する。SUNDIAL では、投映先を連続的に変化させると、その動きや投映先の色に応じて提示される CG も変化する。また、投映先の凹凸の大小に応じて CG の挙動や効果音が変化する。ユーザが SUNDIAL を利用する場所や環境を変化させることで、ゲームシナリオや難易度を容易に変更することが可能になる。

2. 関連研究と要求項目

2.1 モバイルプロジェクトを用いた従来研究

Yoshida らは、壁面に投映したキャラクターと実物体の影とが接触することで、キャラクターの動きや表情が変化するシステム Twinkle [3] を提案している。Twinkle では、モバイルプロジェクト、RGB カメラ、加速度センサを一体化した装置を利用する。RGB カメラでキャラクターを投映した周囲を撮影し、物体の影やホワイトボード上に描かれた図形などの明度の低い領域を検出する。検出された領域にキャラクターを移動させることで、キャラクターは実物体や図形の縁に沿って移動する。また、一体型装置の加速度センサを利用してキャラクターの進行方向を取得することで、壁面中をキャラクターが自由に飛行するといった表現も実現している。

Willis らは、壁面に投映されたキャラクターを投映装置の傾きなどにより操作可能なシステム Motionbeam [4] を提案

している。Motionbeam では、モバイルプロジェクト、センサ群、iPod touch を一体化した装置を利用する。投映されたキャラクターの操作には、ジャイロセンサから取得したプロジェクトの傾きや加速度を利用する。ユーザが装置を壁面に向けると、キャラクターと同時に迷路のようなものが投映される。ユーザは装置を傾けることでコース上のキャラクターを移動させる表現が可能になる。

これらの研究では、キャラクターの投映先を室内の壁面に限定している。システムの性質上、壁面と同様のキャラクターを床面に対して投映することは可能であるが、投映されるキャラクターの視点やその挙動は壁面とまったく同じで変化しない。ユーザから見れば、投映先が連続的に変化しているだけであり、従来のディスプレイを任意の位置に配置して遊んでいることと同一であるといえる。また、投映面付近の凹凸の大小を考慮していない。Twinkle では明度を利用し実物体の輪郭を認識をしているため、投映面との起伏の大小によらず、システム上は同一と判別され、輪郭に沿ってキャラクターを動かすことしかできない。また、影が発生しにくい平面上の小さな凹凸は判別をすることができない。

2.2 要求項目

以上の課題をふまえ、投映型エンターテインメントシステムを構築する上での前提条件と要求項目を以下に述べる。

- 投映先や利用場所の制限がない
- 投映先の位置に応じたコンテンツ表現
- 投映先の特徴を利用したコンテンツ表現の拡充

モバイルプロジェクトを利用することで、ユーザは室内の任意の位置に CG を投映することができる。いろいろな機材を事前に設置した部屋が不要なため、ユーザはデバイスを任意の部屋に持ち込むことが容易になり、その部屋の特徴に応じた遊び方が可能になる。従来のシステムでは困難であった、部屋から部屋へ移動する際の廊下でも利用できる。

コンテンツを壁面から床面に連続的に移動した場合に、それぞれの面に対応したコンテンツの提示する。また、同一の投映面においてもコンテンツが上方・下方といった位置にあわせて、コンテンツの視点を制御する。従来のシステムでは、天井を重力に反して逆さに走行するといった表現になってしまっていた。しかし、このようにユーザの視点に対応することで実空間に対応した表現を実現する。

室内にある家具や卓上の小物などの形状やその色を判別し、投映するコンテンツの表現へ反映する。例えば、卓上の小物を移動させることでゲームの難易度や内容を容易に変更できる。また、壁の色が青であれば水中、赤であればロックライミングの壁などフィールドそのものの要素として扱うことができる。このように、室内のより多くの要素をコンテンツ表現に取り入れることができる。

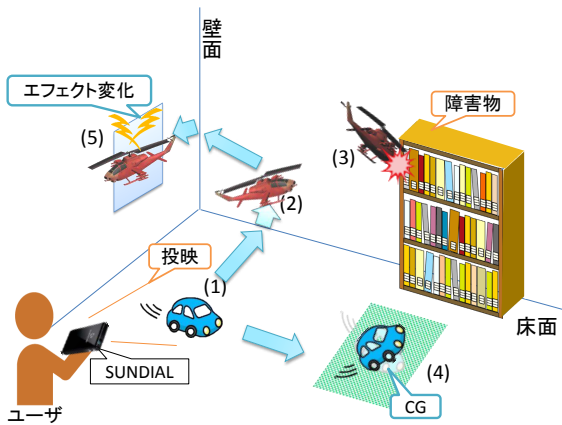


図 1 システム概要
Fig. 1 System overview.

3. SUNDIAL

本研究では、ユーザが投射した CG の位置や投射先の表面形状に応じて、CG の動作や CG 周辺のエフェクトを変化させるデバイス「SUNDIAL」を提案する。

3.1 システム概要

図 1 に本システムの概要を示す。本システムでは、ユーザがモバイルプロジェクタ、深度センサ、ジャイロセンサ、RGB カメラ、CG 生成部が一体となった SUNDIAL を手に持ち CG を投射する。ユーザが CG を床面 (1) から壁面 (2) のように異なる面の間を移動させると、位置判別機能によりその位置に対応した CG へ変化する。また、ユーザが CG を壁面 (2) → (3) や床面 (1) → (4) のように表面に起伏がある位置へ移動させると、表面形状判別機能によりその起伏の大きさに応じて CG の動作が変化する。ユーザが CG を壁面 (2) から (5) のように周囲と色が異なる領域に移動させると、表面色彩判別機能により CG 周辺にエフェクトが表示される。

3.2 位置判別

SUNDIAL は、ユーザから見た投射位置を判別する。位置判別では、壁面と床面のどちらに CG が投射されているかを判別する。また、壁面など単一面に CG を投射しているとき、ユーザから見て CG が上方、正面、下方、左右のどこにあるかを判別する。この判別結果により、CG の選択と視点の制御をする。位置判別には、従来と同様の手法 [5] を用いた。

SUNDIAL では、床面を仮想世界の地上に、壁面を空中に対応付け、これらの中で投射する CG そのものを切り替える。このような対応付けをすることで、室内全体をゲームフィールドとして利用するとき、空はユーザから見て上方、地面はユーザの足下といった一般的な感覚に沿って

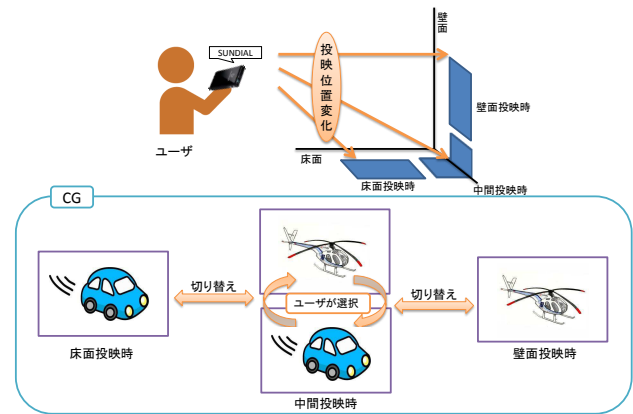


図 2 投射位置による CG の変化
Fig. 2 Transition of the CG model.

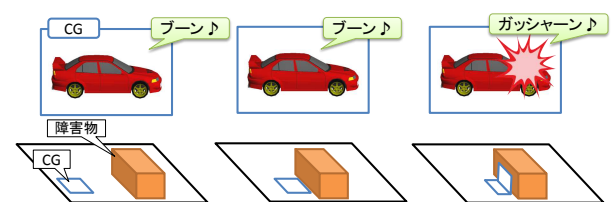


図 3 障害物 (直方体) と接触した場合における CG のエフェクト
Fig. 3 The collision effect on a cuboid obstruction.

CG を操作することができる。CG の例として図 2 のような乗り物があげられる。ユーザから見て空は上方、地面は足下といった現実世界の一般的な感覚に対応して、壁面では CG をヘリコプターに、床面では CG を車にそれぞれ変化させる。中間投射時には、仮想的な空中と地面との境界になっているためユーザがそれぞれの CG を任意に選択することが可能である。

3.3 表面形状判別

SUNDIAL では、投射先の表面形状を判別する。表面形状判別では、投射先が平面であるか、壁面と障害物との間に大きい起伏が生じているか、床に本のような小さなものが散らばり床面との間に小さな起伏が生じているかをそれぞれ判別する。判別した壁面や床面との起伏の大小に応じて、CG のエフェクトを変化させる。

表面形状判別には、従来と同様の手法 [6] を用いた。床面と起伏の大きな障害物がある場合の CG エフェクトの一例を図 3 に示す。この障害物と CG の車とが接触すると、車はゲーム内で壁のようなものに衝突したと判別され、車が爆発したエフェクトが表示される。表面形状判別では、図 3 のような、直方体だけでなく凹凸や斜面を判別することができる。

4. 表面色彩判別

従来の SUNDIAL から、CG 周辺の色を判別する機能を拡張することで、水などをイメージする青い背景に赤く燃

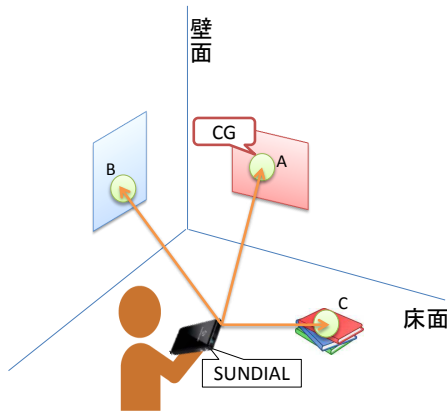


図 4 表面色彩判別の概要
Fig. 4 Recognition of the surface color.

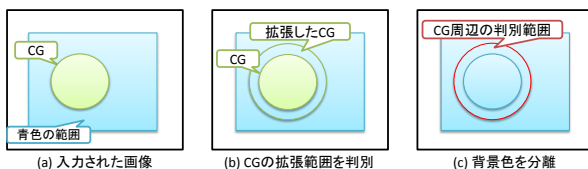


図 5 CG の背景色の分離方法

Fig. 5 Extracting the background color of the surface around the CG.

え上がる炎が投影されるといった、現在のゲームで広く取り入れられている感覚から乖離した表現をなくし、自然な形で色をゲームフィールドの構成要素として取り込むことができる。

4.1 概要

表面色彩判別では、投影した CG 周辺の色を取得し、その色に応じて CG のエフェクトを変化させる。図 4 のように壁面が赤色の投影位置 A、青色の投影位置 B に CG が投影された場合に、SUNDIAL は CG 周辺の色 (以下、背景色) を取得・判別する。また、図 4 の投影位置 C のように、凹凸がある位置でも同様に背景色を取得・判別する。判別した背景色を CG 表現に取り入れることで、ゲームフィールドや構成要素を容易に変化させて遊ぶことが可能になる。

4.2 検出手法

図 5 に CG を青色の壁面に映した場合を示す。図 5-(a) のように、SUNDIAL は RGB カメラを用いて、投影された CG とその周辺の画像を取得する。次に、この画像から CG の輪郭を判別し、図 5-(b) のように CG を拡張した範囲を設定する。最後に、図 5-(c) のように、この範囲に該当する背景の色を取得する。CG の輪郭より外側を利用することで、CG 自体が持つ色の影響を受けず背景色を取得することが可能になる。

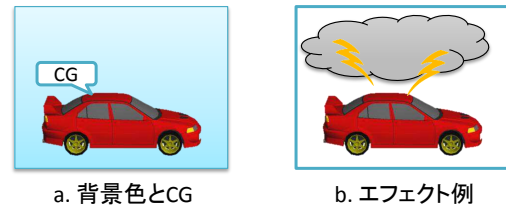


図 6 青色の背景とエフェクト例

Fig. 6 An effect example for car CG on a blue-colored surface.

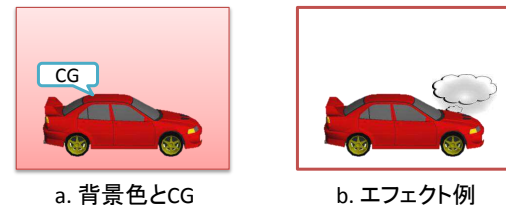


図 7 赤色の背景とエフェクト例

Fig. 7 An effect example for car CG on a red-colored surface.

4.3 CG 制御

一般的なゲームにおいて、色はフィールド温度や物質の性質を示す。温度を例にすると青や白など寒色のフィールドでは温度が低く、氷雪地帯や雨が降っている様子を示す。反対に赤やオレンジなど暖色のフィールドでは温度が高く、砂漠地帯や日照りがある様子を示す。また、物質特性を例にすると、寒色では水中や液体など、暖色ではマグマなどを示す。このように、エンターテインメントにおいて色は様々な要素を示せる重要なものとなっている。図 6 に背景が青いときの CG とそのエフェクトを示す。このとき、青色を仮想的な雨と関連づけている。そのため、CG の周辺に雨雲と雷をエフェクトとして表示する。図 7 に背景色が赤いときの CG とそのエフェクトを示す。このとき、赤色を温度が高い範囲と関連づけている。そのため、CG である車が熱によりエンストしてしまうエフェクトを表示する。

5. 実装

本研究で提案した SUNDIAL の実装を行った。

5.1 実装環境

図 8 に構築した SUNDIAL のプロトタイプを示す。SUNDIAL は深度センサ、RGB カメラとして利用する Kinect for Windows, ジャイロセンサとして利用する iPod touch, モバイルプロジェクタ (SHOWWX+ LaserPico Projector MVOBX-001) から構成される。Kinect とモバイルプロジェクタは、Kinect のカメラの光軸とプロジェクタの光軸が可能な限り一致するように配置した。CG 生成部には別途 PC を用意した。

Kinect の制御には Kinect SDK 1.7 を利用し、取得する深度画像・RGB 画像の解像度は 640×480 ピクセル、フ



図 8 SUNDIAL のプロトタイプ
Fig. 8 Prototype system SUNDIAL.



図 9 実装に利用した CG
Fig. 9 CG models for walls and floors.

フレームレートは 30 fps とした。取得した画像の処理には OpenCV2.4.1 を利用した。iPod touch と PC はソケット通信を利用し、無線で接続した。PC 上では、各判別をするモジュールと CG を生成モジュールはソケット通信で接続し、CG 生成には Unity4.3.1 を利用して実装した。図 9 に、利用した壁面用 CG(ヘリコプター) と床面用 CG(車) を示す。

5.2 表面色彩判別

図 10 に画像処理の手順とその様子を示す。表面色彩判別では、生成した CG 画面と Kinect の RGB カメラから取得した 2 種類の画像を入力として、背景色の決定をする。以下に各手順について述べる。

5.2.1 CG 画面の処理手順

図 10-(a) のように、投映する前の CG を取得する。取得した画像を 2 値化した後、輪郭認識処理をすることで図 10-(b) のように CG を検出をする。CG 画面の解像度は 848×480 ピクセルとなっており、Kinect の RGB カメラから取得できる解像度と異なっている。解像度を Kinect からの入力解像度に合わせるため、透視射影変換を利用して図 10-(c) のように CG を変形させた。その後、図 10-(d) のように、膨張処理を行ない CG を拡大した画像を作成した。

5.2.2 RGB カメラから取得した画面の処理手順

図 10-(e) のように Kinect の RGB カメラから、投映している CG とその周辺を RGB カメラで撮影する。撮影した画像を、図 10-(f) のように RGB 画像から HSV 画像へ変換した後、図 10-(g) のように色相成分のみの画像を作成

した。

5.2.3 画像の合成と解析

図 10-(c) と図 10-(d) の排他的論理和を計算することで、CG 周辺のみを画像を作成する。この画像と図 10-(g) を合成することにより、図 10-(h) のような CG の輪郭周辺の色相画像を取得することができる。

色相は一般的に 0 度から 360 度で示される色相環で表すことができる。OpenCV ではこの範囲を 0 度から 180 度として扱うため、一般的な色相値の半分の値を指定する必要がある。今回は、背景色として赤、青、緑を検出対象とした。各色に対応する色相の値は、赤を 20 度未満または 170 度以上、青を 85 度から 130 度、緑を 45 度から 85 度の範囲にそれぞれ設定した。

図 10-(h) の画像の中で、色相の値が 0 のピクセルを除いたピクセルを検索対象(有効ピクセル)とした。有効ピクセルのうち、前述の色相値ピクセルが 70%を超えたとき、背景色がその色であると判別する。また、70%未満の場合にはいずれの色にも該当しないと判別する。

6. 評価実験

構築した SUNDIAL のプロトタイプを利用し、表面色彩判別の精度評価を実施した。

6.1 評価手順

表面色彩判別機能の精度評価実験では、投映した CG 周辺の色を正しく判別できるかを調べた。図 11 に示す環境で評価を行った。SUNDIAL を壁面からの距離を 60 cm、床面からの距離を 65 cm になるように三脚に固定した。床面の高さ 65 cm の位置に折り紙を固定した。

背景色として図 12 に示す 18 cm×18 cm の折り紙を貼り付けた。折り紙の色は赤、青、緑の 3 色を利用した。評価用 CG には図 13 に示す、正方形を利用した。CG は折り紙と同様に赤、青、緑の 3 色を利用した。CG のサイズは投映面に映した時に 3 mm から 200 mm の範囲で変更可能になっている。実験では、背景色を正しく認識できる CG の最小サイズおよび最大サイズを測定した。

6.1.1 実験結果

表 1 に評価結果を示す。CG の色によらず、いずれの背景色も正しく判別することができた。

背景色が赤、CG の色が緑の組み合わせのとき、精度が最も低くなり CG のサイズが 112 mm になった時点で背景色を認識できなくなった。このとき、CG の面積は折り紙の面積の約 40%ほどになっていた。実用上は大きな CG を投映しないことを前提とすれば問題ない範囲だと考えられる。

また、背景色が赤、CG の色が赤の組み合わせのときや、背景色が青、CG の色が青の組み合わせのときにおいて、CG が折り紙をしめる面積が大きくなるまで判別可能であることがわかった。これは、CG を投映した際に CG 自身の色が、

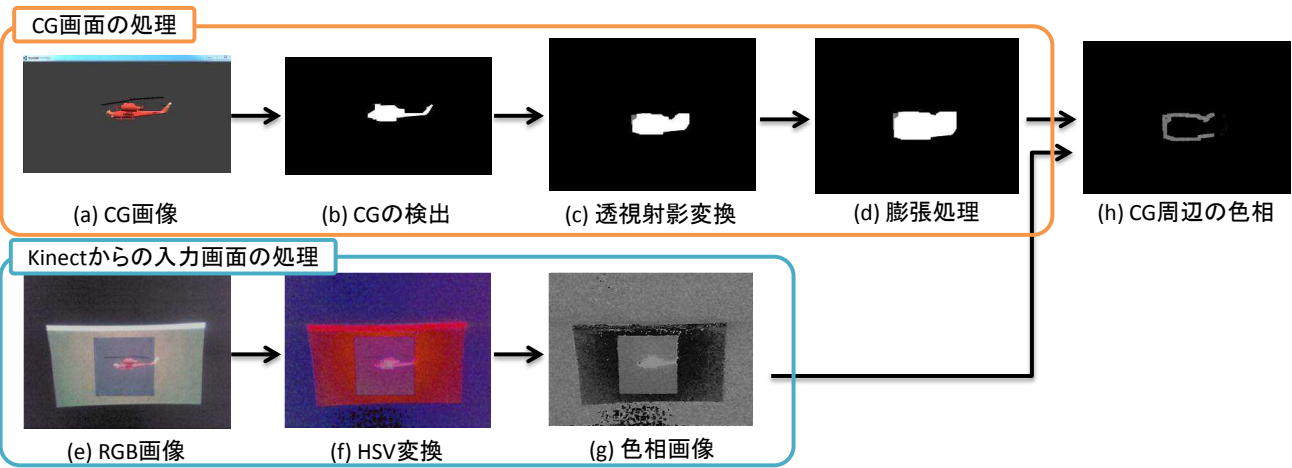


図 10 背景色判別の様子

Fig. 10 Detection procedure of background colors of the surface.

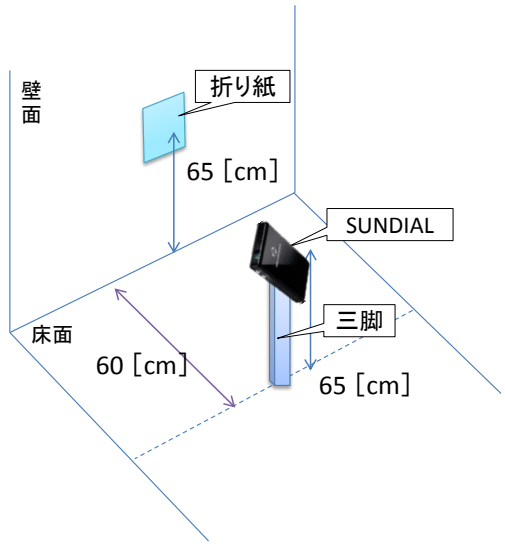


図 11 精度評価実験環境

Fig. 11 The layout for the accuracy test.

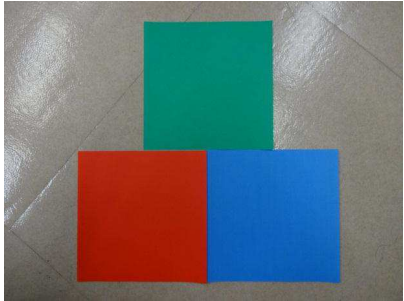


図 12 評価に使用した折り紙

Fig. 12 Colored papers used in the accuracy test.

背景色を決定する範囲に反射して映り込んでしまった可能性が考えられる。



図 13 表面色彩判別機能の評価用 CG

Fig. 13 Three CG models used in the color recognition test.

表 1 表面色彩判別機能の評価結果

Table 1 The result of the accuracy test for background color detection.

背景色	CG の色	最小サイズ [mm]	最大サイズ [mm]
赤	赤	5	163
	青	3	126
	緑	3	112
青	赤	5	130
	青	3	145
	緑	3	123
緑	赤	6	131
	青	6	136
	緑	5	137

7. おわりに

本研究では、ユーザから見た投映先の位置や色、表面の形状を CG 表現に積極的に利用した「SUNDIAL」を提案した。評価の結果、表面色彩判別の精度は実用の範囲にあることを確認した。今後は、表面色彩判別を利用した CG エフェクトの追加や各判別機能の精度向上を行うつもりである。

参考文献

[1] Pocket Projector Shipment Forecast to Reach 142M Units by 2018 DisplaySearch Reports. http://www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/100419_pocket_projector_

shipment_forecast_to_reach_142m_units_by_2018_displaysearch_reports.asp. 2014 年 7 月 1 日参照.

- [2] Karl D.D. Willis, Ivan Poupyrev, Scott E. Hudson, and Moshe Mahler. Sidebyside: Ad-hoc multi-user interaction with handheld projectors. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '11, pp. 431–440, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [3] T. Yoshida, Y. Hirobe, H. Nii, N. Kawakami, and S. Tachi. Twinkle: Interacting with physical surfaces using handheld projector. In *Virtual Reality Conference (VR), 2010 IEEE*, pp. 87–90, March 2010.
- [4] Karl D.D. Willis, Ivan Poupyrev, and Takaaki Shiratori. Motionbeam: A metaphor for character interaction with handheld projectors. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 1031–1040, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [5] 岡田昌浩, 井上亮文, 星徹. Sundial:モバイルプロジェクタを用いた投映面適応型 3 次元モデル提示システム. DI-COMO2013 シンポジウム, pp. 1806–1811, 2013.
- [6] 岡田昌浩, 井上亮文, 星徹. モバイルプロジェクタを用いた面特性適応型投映 モデル提示システム. 情報処理学会 インタラクション 2014, pp. 539–544, 2014.