

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

岡田 昌浩^{1,a)} 井上 亮文^{2,b)} 星 徹^{2,c)}

概要: モバイルプロジェクタを利用した既存研究では、投映先を一様の平面であることを前提としており、投映先に障害物や投映面自体に凹凸があった場合などは考慮されていない。凹凸面にあわせて映像を補正する技術もあるが、我々の研究では映像を補正するのではなく、投映先の面特性をコンテンツ表現そのものに積極的に取り入れるシステムを提案する。提案システムは、モバイルプロジェクタ・深度センサ・ジャイロセンサ・画像生成部から構成される。これらセンサの値を用いて投映先の凹凸といった特性を取得し、その特性に適したモデル提示をする。本システムを利用することで、投映面が変化すればゲームの難易度や表現も変化するため、従来のゲームとは違った体験をユーザに提供することができる。評価の結果、面特性判別の精度は実用の範囲であることを確認した。

A Projection-based Entertainment System for Bumpy Surface Using Depth Sensor

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

Abstract: Projection-based systems require flat surfaces to project contents in strain-free condition. Differences in level and bumps on the surface have been considered to be unnecessary elements. In this paper, we propose SUNDIAL, a mobile projection system for entertainment contents. We take advantage of the "unnecessary" elements to enhance the expression of the projection contents. SUNDIAL can detect the characteristic of the projection surface by an integrated device that consists of a mobile projector, a depth sensor, and a smart device. Then projection contents are transformed to various forms appropriate for the characteristic. Results of an experiment indicated that SUNDIAL could identify three obstacles with high accuracy.

1. はじめに

近年プロジェクタの小型化が進み、持ち歩き可能な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と一体化したデバイス^{*1}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合わせると1億台を越える規模になる[1]と予想されている。

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と異なり、持ち歩きや設置が容易である。この特徴を活用し、ビジネス用途では主に取引先に持ち込んだプレゼンテーションに利用されている。一方、この手軽さから携帯ゲーム機のように、どこにでも持ち歩きコンテンツを楽しむことから、エンターテインメント分野での応用が期待されている。

モバイルプロジェクタを用いたエンターテインメント分野における研究[2][3][4]では、ユーザが手に持ったプロジェクタを直接動かすことで、投映されたキャラクタを操作す

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) masahiroo@hil.cs.teu.ac.jp

b) akifumi@stf.teu.ac.jp

c) hoshi@stf.teu.ac.jp

*1 Samsung 社, Galaxy Beam

る。このキャラクタを様々な場所に投射することで、室内全体を利用した遊びを実現している。しかし、これらのシステムは表面が一様な壁面への投射を前提としている。一般的な室内の壁面は家具が配置され大きな段差があったり、照明のスイッチなどにより表面が凹凸であったりする。そのため、このような面では投射されたキャラクタに歪みが生じてしまうため、利用できる場面が限定的である。

凹凸面などへ投射を行なう手法としてプロジェクションマッピングがあげられる。この手法では事前またはリアルタイムで投射先の形状を細かく取得し、投射映像をその形状に合わせて歪み補正することで、ユーザから見た際に違和感なく提示することが可能である。これらの手法において、凹凸面などは映像表現を阻害する要素と考えられている。

本研究では、室内において投射の障害となる壁面上の凹凸や配置された家具などを認識し、キャラクタの動きや効果音といったコンテンツ表現に積極的に利用するシステム「SUNDIAL」を提案する。例えば、凹凸のある床に投射したスキーヤーはグラグラ揺れながら、なめらかな床に投射したスキーヤーはスムーズに滑っている姿を提示する。また、箱状の障害物があった場合にキャラクタが転倒したり、傾斜があった場合にはキャラクタがジャンプするといった表現も可能になる。このように、投射面が変化すればゲームの難易度や表現も変化するため、従来のゲームとは違った体験をユーザに提供することができる。

本論文の構成を以下に示す。2章では関連研究について、3章では提案システムについて、4章では実装環境について、5章では評価実験について述べ、6章で本稿をまとめる。

2. 関連研究と課題

Yoshida らは投射したキャラクタと実物体の影が接触すると、投射されたキャラクタの動きや表情が変わるシステム Twinkle[2] を提案している。Twinkle では、プロジェクタで投射した画像をカメラで取得し、キャラクタの近くにある明度が低い領域を検出する。この領域を利用することで、キャラクタを瓶などの実物体やホワイトボード上の図形などに沿って動かすことができる。しかし、本システムで想定している投射面に直接配置されているような、影が発生しにくい実物体には対応できない。

Willis らは投射したキャラクタをユーザの持つプロジェクタの傾きや動きにより操作可能なシステム MotionBeam[3] を提案している。MotionBeam では、プロジェクタに組み合わされたジャイロセンサを利用し、プロジェクタの傾きや加速度を取得する。プロジェクタからはキャラクタと同時に迷路などのステージがあわせて投射され、プロジェクタを傾けることでそのコース上にいるキャラクタを操作することができる。しかし、建物内部の平らな面を前提としており、本システムで想定している凹凸面などは考慮され

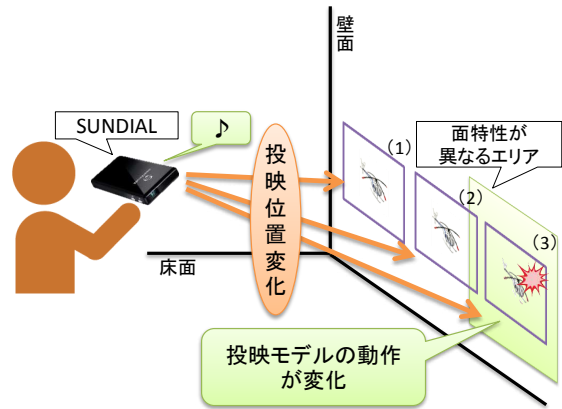


図 1 システム概要図

ていない。

我々の従来研究 [5] では、ユーザから見た投射面の位置関係に着目している。従来の SUNDIAL ではユーザから見て正面にある壁面、下方にある床面という物理的特性を投射モデルそのものに反映させる。また、プロジェクタの移動に連動し、投射モデルを表示する視点を動的に切り替える。例えば、壁面を空中に対応付けてヘリコプターを、床面を地上に対応付けて車のモデルを提示する。また、壁面上部に投射するとヘリコプターを下からのぞき込んだような、壁面下部に投射するとヘリコプターを上からのぞき込んだような視点に切り替わる。このように従来研究では、ユーザから見た投射位置に主眼が置かれていたが、今回の提案システムでは投射先の特性に着目する。以降、本システムにおいて、投射表面の凹凸や形状といった特性を面特性と定義する。

3. SUNDIAL

本研究では、キャラクタの投射された位置や面特性に応じて、キャラクタの動作や効果音を変化させるプロジェクタ「SUNDIAL」を提案する。

3.1 システム概要

図 1 に SUNDIAL の概要を示す。はじめに、ユーザは SUNDIAL を手に持ち壁面上の投射位置 (1) に向けると、空中に対応したモデルとその効果音 (以降、エフェクト・図中ではヘリコプターの飛行) が提示される。次に、ユーザが投射面上の投射位置 (1) から (2) を経て、面特性の異なる投射位置 (3) に SUNDIAL を向けると、その面特性に応じたエフェクト (図中ではヘリコプターの爆発) が提示される。

図 2、図 3、図 4 に本システムで床面に対応した車を投射した場合の、面特性とそれに対応したエフェクトを示す。図 2 では平面上に障害物としてモデルに比べて大きな直方体がある場面を想定している。ユーザが操作する車が障害

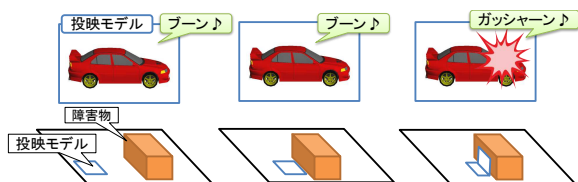


図 2 障害物 (直方体) と接触した場合における
投影モデルのエフェクト

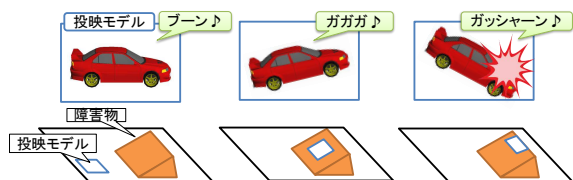


図 3 障害物 (斜面) と接触した場合における
投影モデルのエフェクト

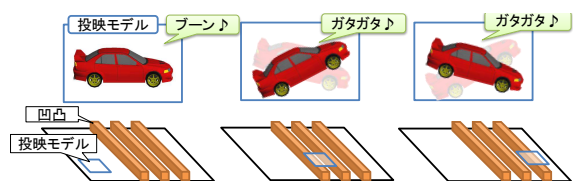


図 4 投影面が凹凸面の場合における
モデルのエフェクト

物のない図 2 左方向の平面から、徐々に障害物に近づいていき (図 2(中央)), 障害物と接触すると図 2 右方向のように車が爆発したようなエフェクトが提示される。

図 3 では平面上に障害物として斜面がある場面を想定している。ユーザが操作する車が障害物のない図 3 左方向の平面から、徐々に斜面に近づいていき、図 3 中央のように斜面にさしかかると、車の視点が斜面にあわせて変化する。さらに、斜面を登っていき図 3 右方向のように、車が斜面の先にある絶壁から転落してしまうエフェクトが提示される。

図 4 では、平面と凹凸面が混在している場面を想定している。ユーザが操作する車が障害物のない図 4 左方向の平面から、図 4 中央や右方向のような凹凸があるエリアに入ると車は前後に大きく揺れ、効果音も車が激しく揺れているエフェクトに変化する。

3.2 システム構成

図 5 に SUNDIAL の構成とシステムの流れを示す。SUNDIAL は、モバイルプロジェクタ、深度センサ、ジャイロセンサおよびモデル生成部で構成される一体型装置である。

SUNDIAL の処理を以下に示す。(1) ユーザは SUNDIAL を利用して、投影モデルを任意の面上に投影する。(2) 深度センサ・ジャイロセンサの値を利用して、投影モデルが壁・床・これらの境界のいずれの面に投影されているかを判別 (以降、面判別) する。さらに、ユーザとモデルとの位

- (1) 3次元モデルを投影
- (2) 深度センサ・ジャイロセンサの値から投影面・位置を判別
- (3) 投影面の特性を検出

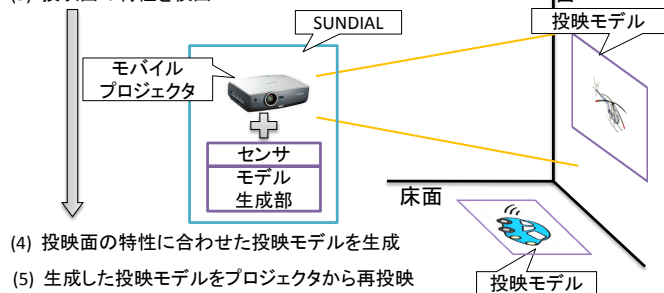


図 5 システムの処理

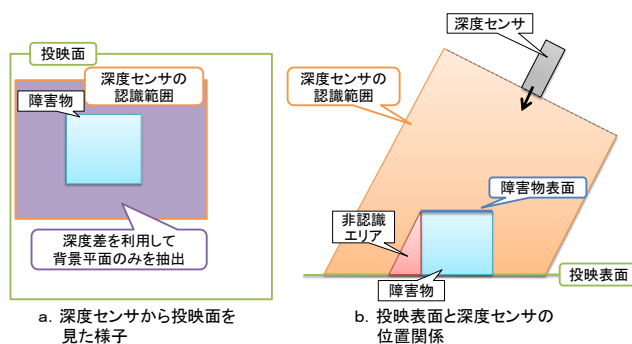


図 6 深度センサの認識範囲と背景平面の検出

置関係を判別 (以降、位置判別) する。(3) 投影されている面が平面であるか凹凸面であるか、または、障害物が存在するかなどの面特性を判別 (以降、面特性判別) する。(4) モデル生成部において (2) および (3) の結果に基づき、投影モデルのエフェクトを決定し生成する。(5) 生成したモデルをプロジェクタから再投影する。処理 (2) から (5) を繰り返し行なうことで、SUNDIAL は常にユーザの操作に追従し、面特性にあわせたモデル提示を連続的に行なうことが可能になる。

3.3 面判別と位置判別

床面と壁面のどちらに投影されているかの面判別にはジャイロセンサの値を利用する。値は水平時を 0 度として鉛直下向き時を 90 度とした。また、位置判別に用いる水平方向の傾きの取得には深度センサの値を利用する。従来手法 [5] と同様に深度センサの値から投影面と深度センサの光軸のなす角を取得する。

3.4 面特性判別

SUNDIAL では、深度センサの値を用いて投影面の形状を走査 (障害物検出) し、障害物が存在した場合には、その特性を凹凸面・直方体・斜面の 3 種類に分類した。

3.4.1 障害物検出

SUNDIAL は、モデル投影と同時に深度センサを利用して投影面全体の深度を取得する。図 6 は投影面上に直方体

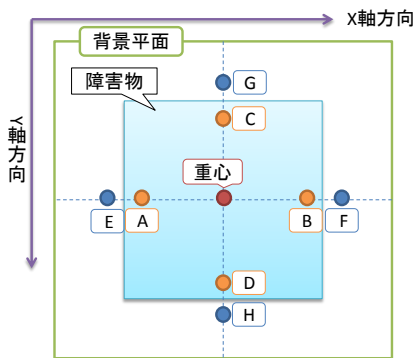


図 7 障害物と背景平面上の
サンプリング座標

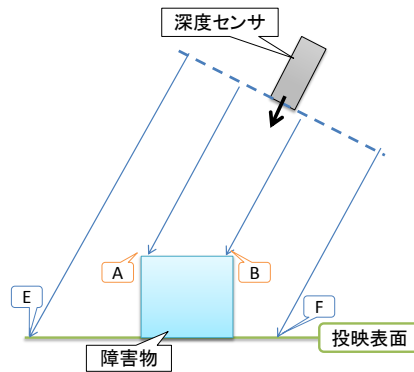


図 8 直方体認識時における
深度センサと投影表面の位置関係

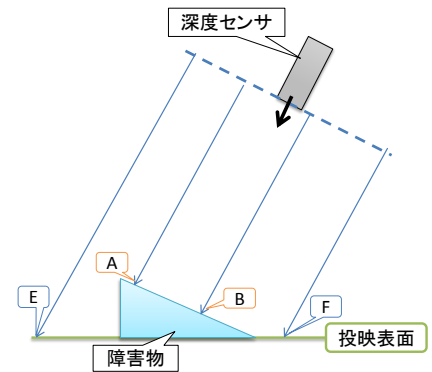


図 9 斜面認識時における
深度センサと投影表面の位置関係

上の障害物を配置した例である。図 6-a に深度センサから投影面を見た様子を、図 6-b に投影表面及び障害物表面と深度センサの位置関係を示す。

図 6-a のように、深度センサの認識範囲から、障害物を除いた背景平面を取得する。背景平面の取得には、投影表面と障害物表面の深度差を利用する。深度センサの認識範囲に障害物が配置されていると、図 6-b のように障害物表面に比べ投影表面の深度は深くなる。取得した深度のうち最も深い座標を含む連続平面を背景平面とし、それ以外を障害物として判別する。深度センサの認識範囲全体を背景平面と検出した場合には、障害物はないと判別する。

3.4.2 直方体の検出

障害物が検出された場合には図 7 に示すサンプリング点 A~H の座標を算出し、その点の深度を元に障害物および背景平面の傾きを取得する。はじめに、障害物の重心を計算し座標を取得する。この重心の座標を基準として X 軸方向へ走査を行ない、障害物と背景平面との境界点を求める。その後、境界点から一定間隔離れた点 A・E および点 B・F を取得する。この処理を Y 軸方向に対しても行ない、点 C・G および点 D・H を取得する。各サンプリング点の深度を取得し、点 A・B 間の深度の差を求め、2 点間の距離で割ることにより、障害物表面の X 軸方向における傾きを取得することができる。同様の処理を点 C・D 間、点 E・F 間、点 G・H 間にも行なうことで、障害物表面の Y 軸方向の座標および、背景平面上の X・Y 軸方向の傾きを取得することができる。

図 8 に直方体を検出した際の、投影表面と深度センサの位置関係を示す。点 A・B 間と点 E・F 間はそれぞれ並行の関係にある。そのため、点 A・B 間の傾きと点 E・F 間の傾きの実測値の差は小さくなる。

このことから、背景平面上と障害物表面の X 軸方向の傾きと Y 軸方向の傾きの差が、いずれも小さければ障害物は直方体であると判別する。

3.4.3 斜面の検出

斜面の検出には直方体の検出同様に、図 7 に示すサン



図 10 構築した一体型装置

プリング点の座標を算出し、背景平面及び障害物表面の X・Y 軸方向の傾きをそれぞれ取得する。

図 8 に斜面を検出した際の、投影表面と深度センサの位置関係を示す。点 A・B 間と点 E・F 間は直方体のときと異なり、並行の関係ではない。そのため、点 A・B 間の傾きと点 E・F 間の傾きの実測値の差は図 8 に比べて大きくなる。

このことから、背景平面上と障害物表面の X 軸方向の傾きと Y 軸方向の傾きの差、いずれかが大きければ障害物は斜面であると判別する。また、傾きの差から障害物のいずれの辺が投影平面に接しているかを判別できる。

3.4.4 凹凸面の検出

凹凸面の検出では、3.4.1 項で取得した障害物の数や背景平面の検出の有無を利用する。凹凸面は、一定または不定期に起伏が繰り返されている平面である。そのため、背景平面の検出を行なうと、凹凸がある付近では、小さな障害物が複数検出される。これらの障害物を包括する範囲を凹凸がある範囲として判別する。

3.5 投影モデルの生成

SUNDIAL では、面判別によりモデルの選択を行ない、投影位置によりモデルの視点を切り替える。面特性判別より図 2, 図 3, 図 4 に示したモデルのエフェクトを選択・決定する。



図 11 障害物の認識

4. 実装

4.1 実装環境

図 10 に構築した一体型装置を示す．一体型装置はモバイルプロジェクタ (SHOWWX+ Laser Pico Projector MVO-BX-001), ジャイロセンサとして利用する iPod touch, 深度センサとして利用する Kinect for Windows から構成される．投映時に, モデルが取得画像の中央に映るようにモバイルプロジェクタと Kinect を配置した．また, 画像処理部には別途 PC を用意した．面特性の検出には Kinect SDK 1.7 と OpenCV 2.4 を利用し, 投映モデルの生成には OpenGL を利用した．

4.2 面判別および位置判別

投映面に対して垂直方向の傾きを iPod touch から取得するため, モデル生成部である PC とソケット通信を用いて接続した．また, 併用する Kinect の深度センサの解像度は 640×480 ピクセル, フレームレートは 30fps で取得した．

4.3 面特性判別

面特性判別の背景平面検出には, Point Cloud Library(以降, PCL) を利用し, 画像処理には OpenCV を利用した．図 11-a は Kinect の RGB カメラから取得した画像である．画面上部には直方体が, 画面下部には斜面が配置されている．RGB カメラの撮影範囲と同様の範囲を深度センサで取得し, PCL の PARALLEL_PLANE モデルとのマッチングを行ない, 図 11-b の白色で示した背景平面を抽出した．図 11-b において青色で示された範囲は深度が取得できない範囲を示している．各障害物の重心座標の検出には OpenCV を利用した．重心座標を元に, サンプリング点として図 11-b の黄色および水色で示した点は, 重心座標を元に計算して求めたサンプリング点である．図 11-c は障害物だけを抽出した結果である．障害物の表面は白で, 斜面と地面と接地している部分はグレーで塗りつぶされている．



図 12 利用した投映モデル

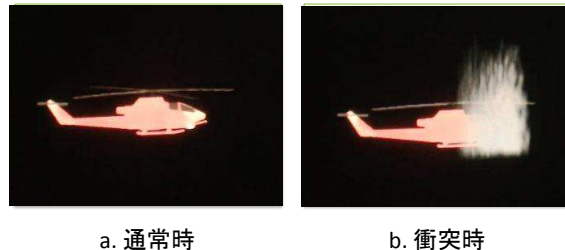


図 13 壁面用モデルのエフェクト

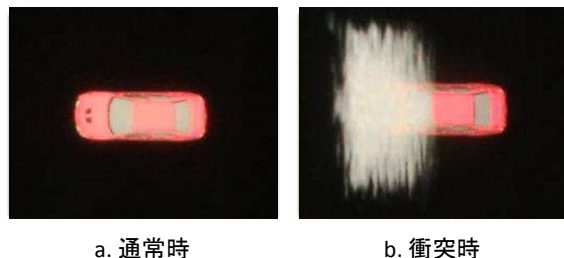


図 14 床面用モデルのエフェクト

4.4 投映モデルの生成

投映モデルとして, 壁面に対応した図 12-a に示すヘリコプターを, 床面に対応した図 12-b に示す車を利用した．これらの投映モデルは OpenGL を利用して描画した．

SUNDIAL を壁面上の平面に投映した場合には図 13-a のヘリコプターの通常飛行エフェクトを提示する．面特性判別により直方体との接触が検出された場合には, 図 13-b に示すヘリコプターが炎上しているエフェクトを提示する．

SUNDIAL を床面上の平面に投映した場合には図 14-a に示す, 車が通常走行しているエフェクトを, 面特性判別により直方体との接触が検出された場合には, 図 14-b に示す車が炎上しているエフェクトをそれぞれ提示する．

表 1 面特性判別の結果

距離 [cm]	凹凸面 (縦)	凹凸面 (横)	立方体	斜面 (手前)	斜面 (奥)	斜面 (右)	斜面 (左)
0	可	可	可	可	可	可	可
20	可	可	可	可	可	可	可
40	可	可	斜面 (手前)	可	可	可	可

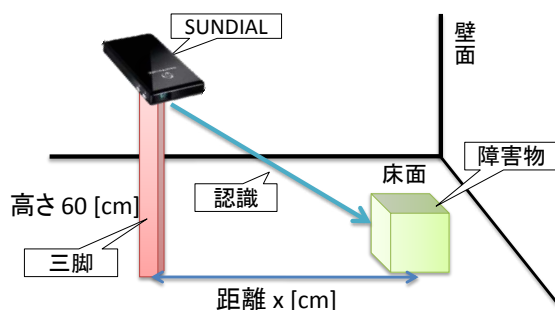


図 15 実験環境

SUNDIAL を床面上の平面に投射した場合には、図 14-a の車の通常走行エフェクトを提示する。面特性判別により、直方体と接触が検出された場合には、図 14-b の炎上エフェクトを提示する。

5. 評価実験

構築したプロトタイプシステムを利用し、投射位置判別の精度を測定するために評価実験を行なった。

5.1 実験手順

評価実験では、プロトタイプシステムの設置位置を変更し、面特性判別の精度を検証した。図 15 に実験環境を示す。床面に障害物および凹凸面を配置した。障害物として、長さ 30cm、幅 15cm、角度 20 度の斜面および、縦・横 13cm、高さ 7cm の立方体を準備した。また、凹凸面は長さ 18cm、幅 1.5cm、高さ 2cm の直方体を 5cm 間隔で並べたものを準備した。SUNDIAL を三脚に固定し高さ 60cm で固定し障害物までの距離 x を 0cm から 60cm の範囲で変化させた。斜面は SUNDIAL から見て、接地面が手前、奥、右、左の 4 方向で検証した。また、凹凸面は縦、横の 2 方向について検証した。投射面および、障害物には映像の反射を防止するため白色の紙を貼り付けた。

5.2 実験結果

表 1 に面特性判別の結果を示す。障害物と SUNDIAL の距離 x が 0cm および 20cm の時にはすべての障害物を正しく認識することが確認できた。

しかし、距離 x が 40cm になると立方体を配置したにもかかわらず、SUNDIAL から見て手前側に接地した斜面であると誤認識をした。これは、立方体表面の傾きを検出する際に用いるサンプリング点が、立方体側面部に取られてしまったためと考えられる。また、斜面の判別ではまれに

判別が不安定になることがあった。

6. おわりに

本研究では、キャラクタの投射された位置や面特性に応じて、キャラクタの動作や効果音といったエフェクトを変化させるプロジェクタ「SUNDIAL」を提案した。プロトタイプシステムでは、従来の位置判別機能に加え、投射されている位置に凹凸がある、または障害物があるといった面特性判別機能を実装した。評価実験から、プロトタイプシステムの面特性判別機能の精度は実用の範囲であることを確認した。また、投射モデル生成機能により、面特性に応じたエフェクトの提示を行なうことができた。

今後の課題として、投射モデルをリアルタイムで取得画像中のどこにあるかを取得する機能があげられる。今後、この機能を実装することで投射モデルへのエフェクト提示がより正確になると考えられるため、検討するつもりである。

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, 2013 年 11 月 20 日参照。
- [2] Takumi Yoshida, Yuki Hirobe, Hideaki Nii, Naoki Kawakami and Susumu Tachi, "Twinkle: Interacting with Physical Surfaces Using Handheld Projector", IEEE Virtual Reality 2010, pp.87-90, Waltham, MA, USA, 2010.
- [3] Karl D.D. Willis, Ivan Poupyrev, and Takaaki Shiratori, "MotionBeam: A Metaphor for Character Interaction with Handheld Projectors", ACM CHI 2011, pp.1031-1040, 2011.
- [4] Karl D.D. Willis, Ivan Poupyrev, Scott E. Hudson, Moshe Mahler, "SideBySide: Ad-hoc Multi-user Interaction with Handheld Projectors", UIST 11, pp.431-440, 2011.
- [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射面適応型 3 次元モデル提示システム", DICOMO2013 シンポジウム, pp.1806-1811, 2013.