

透過型スクリーンを用いたテーブルトップ インタフェースにおける物体検出

A Robust Object Detection Method for Tabletop Interface

Using Translucent Screen

高木 聡†
Satoshi Takagi

稲原 健吉
Inahara Kenkichi

師井 聡子†
Satoko Moroi

高橋 時市郎†
Tokiichiro Takahashi

1 まえがき

本研究による物体検出システムは、インタラクティブインストール作品“ContacTable”[1]に用いる事を目的とする。“ContacTable”はシルエットパズルをモチーフとしたテーブルトップタイプのインタラクティブアート作品であり、ユーザが小さな梯子を、テーブル天板に投影される映像上に重ねて置く行為をキーとしてパズルの問題をインタラクティブに選択できるという表現が含まれる。

“ContacTable”システム(図1)は、ユーザインタフェースとして、実物の梯子やパズル片、透過性スクリーンの天板のある筐体を持ち、スクリーン下に設置されたカメラからの入力画像について画像解析を行うことにより、天板に置かれた梯子など物体の位置を特定する。描画システムは、画像解析システムの計算結果を用いて、ユーザの動作に合わせたリアルタイムアニメーションを生成し、上方に設置されたプロジェクタからテーブル天板に映像を投影する仕組みである。

“ContacTable”システム概念図を図1に示す。

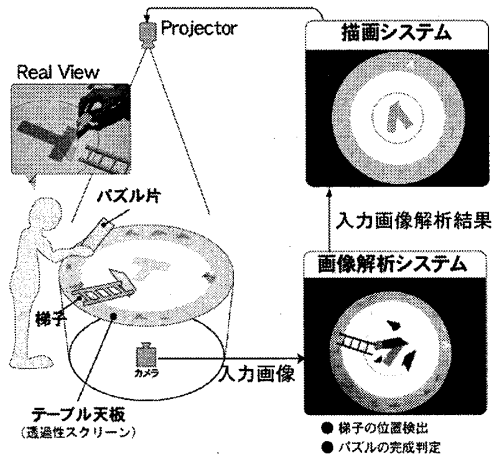


図1. “ContacTable”システム概念図

本研究では、“ContacTable”システム中の画像解析システムにおいて、カメラ入力画像中の影に注目し、リアルタイムに梯子が置かれた位置を検出するシステムの仕組みについて述べ、その検出条件と検出率について評価実験を行った。

2 研究概要

ContacTableにおいて、梯子をテーブル天板に置くことによりパズル問題を選択するインタラクションを自然に行うために、上記画像解析システムでは、カメラ入力画像(以降、入力画像と記す)中の影に注目して位置を検出する方法を検討した。

別途開発が進められた描画システムとスムーズに連動しやすく、かつ、現実的な展示のために、幅広いビジュアル表現のアレンジにも安定して対応することをめざし、以下を必要条件とした。

- (1) 梯子の影を囲む矩形を2点の座標で表現すること
- (2) リアルタイム処理ができる処理速度であること
- (3) プロジェクタから投影させる画像(以降、出力画像と記す)の色や明るさに幅広く安定して対応できること

加えて、画像解析システムを“ContacTable”システムに実装し、投影像の明るさの変更に対する検出精度について評価実験を行うことにより、梯子検出の安定性と、ビジュアルデザインのアレンジに対する適応範囲について検討を行った。

3 物体検出

3.1 梯子検出の概要

梯子検出は、カメラ入力画像取得後、①幾何学変換による歪み補正、②Canny法によるエッジ画像生成、③ハフ変換[2]による直線検出、④梯子の形状特性との比較による梯子候補線分組の選択、⑤テンプレートマッチングによる梯子領域の決定、の5項目の処理を経て行った。

3.2 幾何学変換による歪み補正

カメラを狭い筐体内に収めるために、広角レンズを使用する必要があるため、カメラ入力直後の画像には、広角レンズによる歪みと台形歪みが発生する。そこで、入力画像については予備的画像処理として、幾何学変換による歪み補正を行い、画像処理のベースとした。(以後、歪み補正画像と記す。)

3.3 Canny法によるエッジ画像生成

歪み補正画像に対しエッジ検出を行った。エッジを連続して検出する可能性を高めるためにCanny法を用い「エッジ画像」を生成した。

3.4 ハフ変換による直線検出

エッジ画像に対し、ハフ変換を行い、複数の直線を検出し、線分の両端の座標として取得した。

3.5 梯子形状の特性との比較による候補線分組の選択

ハフ変換により取得された複数の線分のうち、任意の二線分を一組として①長さ、②距離、③角度を求め、予め梯子の形状特性として定めた各条件と比較して、条件を満たした場合に、その二線分を「候補線分組」として選択し、次の段階の処理を行うこととした。(図2参照)

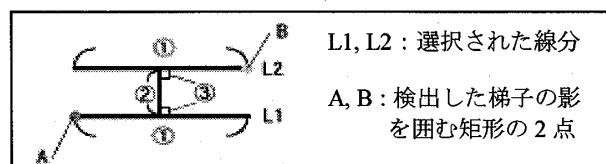


図2. 梯子候補線分の選択の条件

3.6 テンプレートマッチングによる梯子領域の決定

選択した候補線分組の中心点を求め、この点の周辺領域に対し、梯子画像のテンプレートを候補線分組の角度分回

†東京電機大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University

転させて二値化した歪み補正画像とマッチングを行った。梯子の角度とテンプレートマッチングでマッチングした座標から求めた梯子を囲む矩形を表す二点(図2, 点A, 点B)を座標として取得した。

3.7 トリミングによる梯子検出の高速化

カメラ入力画像以後の処理は、240×240ピクセルで行ったが、処理の高速化のために、梯子を検出した場合に、次のフレームで処理を行う範囲をトリミングした。

梯子の中心座標をもとに120×120のサイズにトリミングすることにより、処理速度が5fps高速化された。(表1)

表1. トリミング処理による処理速度の変化

	トリミングあり	トリミングなし
処理速度[fps]	21.27	16.12
(実行環境, CPU: Intel Core2 1.66Ghz, メモリ: 504MB)		

4 梯子の検出実験

4.1 実験概要

描画システムで生成されるリアルタイムアニメーションにおいて、グラフィックスで用いる事が可能な明るさの範囲を調べる実験を行った。

初めに、予備実験として梯子が検出できる出力画像の明るさの大まかな範囲を調べるために様々な明るさの出力画像をスクリーンに投影し、梯子の検出率を調べ、本実験に適した出力画像の明るさの範囲を決定する。次に求めた明るさの範囲から本実験で使用する明るさの出力画像を投影し、投影画像の輝度値を計測した。

本実験では、予備実験で求めた最適な出力画像の明るさを基に、実験回数を増やして梯子の検出実験を行うことにより検出率の計測精度を高めた。

4.2 実験環境と実験方法

出力画像の明るさを指定して投影し、天板上に梯子を置いて、梯子の検出成功の回数をカウントする方法によって検出率を求めた。

画像解析システムでは、入力画像は、フレーム毎に検出または非検出として処理される。この処理において、60フレーム連続で検出が続いた場合に”検出成功”とし、非検出の状態が90フレームに達した場合に”検出失敗”とした。但し、検出フレームをカウント中に、非検出の処理が行われた場合でも、連続3フレーム以下は、ノイズと判断して無視した。

実験は下記の条件で行った。

- ・部屋の照明はなし
- ・カメラハードデバイスの絞り値は最高値
- ・キャプチャデバイスの明るさは最大255
- ・投影画像は無彩色単色のみ
- ・梯子の置き方を平均化するために、スクリーンを縦横三等分ずつのエリアに分け、各エリアにできるだけ均等な回数、向きを無作為に回転させて置いた。

4.3 予備実験

最初に、展示に適した出力画像の明るさについて、大まかな範囲を求めるため、出力画像の明るさを小さい値から段階的に変更し、各明るさ毎に10回ずつ梯子を置き検出する実験を行い、本実験で使用する出力画像の明るさを決定した。作品の性質上、検出率が80%以上であれば展示に適切とした。

次に、本実験で使用する出力画像の各明るさに対応する入力画像の輝度値を測定した。測定方法は、各明るさの出力画像を投影した状態で、天板を縦横に3分割した各エリアの中心部を輝度計で計測し、9つのエリアの明るさの絶対値

(cd/m^2)の平均を各入力画像の輝度とした。

出力画像の明るさは、描画像であるので管理しやすく、検出率の傾向を知る上では便利であるが、本システムが実際に使用する入力画像は、スクリーンを透過した像であるので、出力画像の明るさは差異がある。そこで、より現実的に即した実測値を基準に検出率を把握するために、スクリーン裏の輝度を基準として検出実験をおこなった。

4.4 予備実験結果

予備実験か出力画像の明るさが30%以下で検出率が20%以下、40%で検出率が100%であったため、間の35%で計測したところ検出率が80%となった事から、検出可能な明るさの最小値を35%とした。次に最大値を調べるために明るさ100%で計測を行った。その結果、検出率が100%となったため、最大値を100%とした。以上の結果から、本実験では、出力画像の明るさを、35%、40%、70%、100%で行う事とし、この値の輝度値の測定を行った。その結果が表2である。

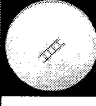



4.5 本実験

カメラ入力画像の輝度 $1.84\text{cd}/\text{m}^2$ (出力画像明るさ35%)、 $2.12\text{cd}/\text{m}^2$ (明るさ40%)、 $4.31\text{cd}/\text{m}^2$ (明るさ70%)、 $10.33\text{cd}/\text{m}^2$ (明るさ100%)について、それぞれ20回の検出実験を行った。

4.6 本実験結果と考察

本実験の結果を表2に示す。 $2.12\text{cd}/\text{m}^2$ 以上では、絞りその他のパラメータを全く変更せずに95%以上の安定した検出を得、 $1.84\text{cd}/\text{m}^2$ (35%の明るさ)では、80%の検出率であった。 $2.12\text{cd}/\text{m}^2$ から $10.33\text{cd}/\text{m}^2$ までの検出実験において、95%以上の検出率得た事から、照明のない部屋での展示においては、幅広い明るさの出力画像に対応できるといえる。

表2. 出力画像の各明るさにおける入力画像の輝度値と検出率

出力画像明るさ	35%	40%	70%	100%
入力画像				
入力画像輝度(cd/m^2)	1.84	2.12	4.31	10.33
検出率(%)	80	95	95	100

5 むすび

“ContactTable”のインタラクションのキーとなる、梯子の位置を精度よく検出する手法を考案した。梯子のつくる影に注目した画像処理により、リアルタイムで梯子を検出することができた。実験の結果、入力画像の明るさが $1.84\text{cd}/\text{m}^2$ (明るさ35%)～ $10.33\text{cd}/\text{m}^2$ (明るさ100%)と大きく変動しても検出率は8割以上であり、作品を展示する照明環境の変動に十分耐え得ることが実証できた。

なお本システムを実装した“ContactTable”は、日本バーチャリアリティ学会第13回大会において安定した展示に成功した。

参考文献

- [1] 師井聡子他, “ContactTable シルエットパズル遊びを分かち合うシステム”, 日本バーチャリアリティ学会第13回大会論文集, pp. 82-84 (2008)
- [2] 奈良先端科学技術大学院大学OpenCVプログラミングブック制作チーム, OpenCVプログラミングブック, 毎日コミュニケーションズ, pp. 164-167 (2007)