

プロジェクタとカメラを用いた T 字パズルのスクリーン前面からの正解判定手法

小栗奈緒美[†] 加島隆博[†] 師井聡子[†] 中島克人[†]

1. はじめに

自然な共同作業を楽しむための環境を提供することを構想した ContacTable[1]がある。これはシルエットパズルの一種である T 字パズルを、複数人が丸いテーブルを囲んで楽しむものであり、天井のプロジェクタから投影される問題シルエットに合わせて遊戯者がパズルピースを半透過のテーブル上に配置し、配置が正解となっているかどうかの判定を、テーブル下部のカメラで認識するものである (図 1)。ContacTable では専用の半透過テーブルが必要であり、また、天井付近のプロジェクタとテーブル下部のカメラもこのシステムの設置上の制約となっている。そこで、更に大人数での参加が可能で、設置上の制約も少ないものとして、テーブルに代えて垂直に設置した任意サイズのスクリーンを遊戯面とし、正解判定のためのカメラをプロジェクタ側、即ち、スクリーン前面に設置するシステムを開発した。

本稿ではこのシステムの概要と、パズルピースの配置に対する正解判定の手法について報告する。

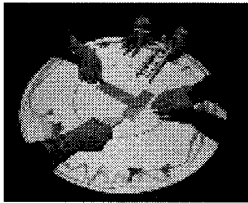


図 1. ContacTable

2. スクリーン利用の T 字パズルシステムの概要

垂直なスクリーンにパズルピースを配置して遊ぶために、磁石入りのパズルピースと磁石が吸着するスクリーンを用いる。例えば可搬のホワイトボードや金属製の壁なども利用できる。プロジェクタとカメラはスクリーンへの視界が遊戯者の体や頭部に遮られないように、スクリーン正面で、遊戯者の頭部よりも上方に設置する。

本システムの設置と遊び方は以下の通りである (図 2 参照)。

- (1) システムの設置場所に応じて初期設定を行う。即ち、スクリーンとプロジェクタおよびカメラの位置関係、そして、パズルピースの大きさに従った調整を行う。
- (2) スクリーンにプロジェクタから出題図(正解シルエット)を投影する。
- (3) 遊戯者(複数可)が出題図上にピッタリはまるようにパズルピースを配置する。
- (4) カメラで監視を行い、正解が判定できると、そのシルエットにちなんだ絵やアニメーションを表示する。
- (5) 続けて遊ぶ場合は(2)~(4)を繰り返す。

Answer Recognition for T-puzzle on a Screen with Projector and Camera

Naomi Oguri[†], Takahiro Kashima[†], Satoko Moroi[†], Katsuto Nakajima[†]

[†]School of Engineering, Tokyo Denki University

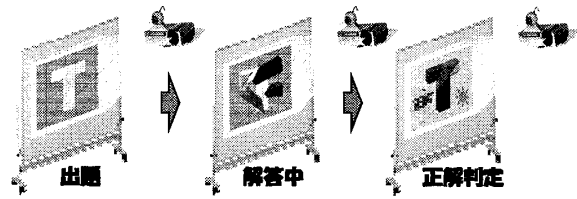


図 2. スクリーン利用の T 字パズルシステム

3. スクリーン前面からの正解判定

3.1 正解判定法とその課題

ContacTable では、テーブル上の物の影をテーブル下部のカメラで監視し、出題図上にピッタリと影が収まる事でパズルの正解判定を行っている[1]。スクリーンの前面に設置されたカメラ画像によって正解判定を行う本システムでは次の 2 つの方法が考えられる。

- A) パズルピースの色 (や形状) を認識し、それらが過不足なく出題図上を覆っている事で正解と見なす。
- B) 出題図が投影されている背景画像との背景差分法を用い、背景とは異なる「前景」が出題図上を過不足なく覆っている事で正解と見なす。

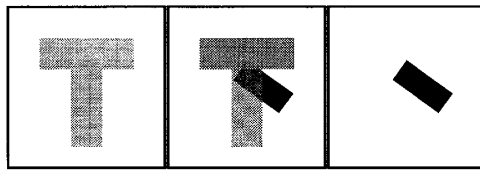
前者の方法では、パズルピースの色特徴などの記憶の必要性、遊戯者の影などによるピース色の変動、ピース色と同色の遊戯者の衣服、パズルピースが多色の場合の複数正解への対処、などを考慮する必要があり、正解判定の複雑さと精度に難がある。それに対し、後者は背景部分の照明や影による変動への留意は必要であるものの、正解判定の手法は単純化し、精度の確保も容易であると考へ、後者の背景差分法を採用する事にした。背景差分法では遊戯者の手や体やそれらの影も前景と見なされる可能性があるため、前景が出題図を覆っている事のみを条件とすると誤判定が生じる。そこで、ContacTable でも利用されている後述のフェールラインの手法を併用する。

3.2 背景差分法

背景差分法とは、背景画像と比較を行うことで画像内のどの部分に前景があるかを判定する手法のことである。まず、パズルピースなどが置かれていない状態で出題図の投影を行ったスクリーン画像をカメラで取得し、これを出題ごとに背景画像として記憶する (図 3(a))。遊戯中のカメラ画像 (入力画像、図 3(b)) と背景画像との差分を画素ごとに計算し、ある閾値以上の差を持つ部分を前景と見なす。今回は、背景画像と入力画像のそれぞれ対応する画素間の R、G、B 値の差のいずれかが閾値 (今回は値域 0~255 に対して固定値 30) 以上のときに前景であると見なす。前景が背景かを 2 値で表わすと差分画像が得られる (図 3(c))。差分画像の前景領域が出題図の形になっているかで正解判定を行う。

なお、本システムでは、遊戯者は新しい出題ごとに問題図の投影光を遮らない位置に下がり、ピースや手も問題図の領域の外側に移動する事で、背景画像が正しく取得できる事を前提としているが、ContacTable の経験から

も、これはそれ程大きな制約ではないと考えている。



(a) 背景画像 (b) 入力画像 (c) 差分画像

図 3. 背景差分法による前景の抽出

3. 3 フェールライン

前述のように、背景差分法による正解判定では、「前景が出題図を覆っている事」のみを条件とすると、遊戯者の手や頭、あるいはそれらの影などによって誤判定が生じる。そこで、出題図領域の外周にフェールラインと称する領域 (図 4) を設け、「フェールラインには前景が含まれない事」も正解判定の条件に加える。これにより、遊戯者の手や体の一部が出題図の領域を覆うことで前者の条件を満たしても、後者の条件は満たせないために誤判定を防ぐ事が出来る。

フェールラインを出題図の領域から少し離れた位置に配置するのは、正解配置のパズルピースの影や若干のズレを許容するためである。フェールラインの幅はノイズや計算誤差を許容できる範囲で細く設定すれば良い。

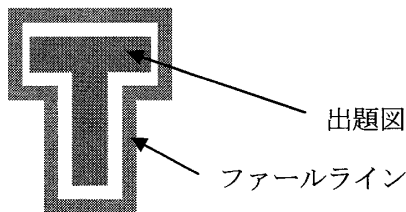


図 4. 出題図と対応するフェールライン領域の例

4. システム設定時の初期設定

冒頭で述べたように、本システムでは、多人数化に加えて、設置上の制約をできるだけ排除することに主眼を置いている。そこで本システムでは以下の調整をシステム設置時に原則自動で行う。

- (1) 射影変換パラメータの自動取得
- (2) 投影出題図の大きさ調整 (手動) とフェールラインの自動調整

プロジェクタの投影する画像の大きさはスクリーンとの距離によって変化し、また、プロジェクタやカメラの設置位置がスクリーン面に対して斜め方向であれば、画像形状は歪む。そこで、プロジェクタ機能によって投影画像の台形歪みを取り除いた後、(1)ではチェッカーボード状の画像をプロジェクタで投影し、これをカメラで認識する事により、プロジェクタの投影範囲、および、プロジェクタとカメラの光軸のズレによる歪みを認識し、以後の正解判定での画素数計数時の補正に用いる。

パズルピースは予め大きさが決まっているため、この大きさに出題図を調整する必要がある。(2)では、スクリーンにパズルピースを T 字に配置し、出題図がパズルピースの大きさに合うように手動で調整する。パズルピースの認識でこれを自動化する事は今後の課題である。フェールライン領域は単純に出題図に比例させるとその幅

が必要以上に太くなる可能性があるために、出題図の大きさが決まった後、図 5 に示すように、出題図を元にした 2 つの膨張画像の差分からフェールラインを自動生成する。

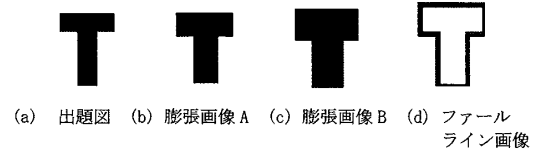


図 5. 膨張画像を用いたフェールライン生成

5. 判定精度の評価

背景差分法とフェールラインを用いたスクリーン前面からの正解判定の精度を、設置条件を変えて評価した。パズルピースは横幅 6cm で、フェールラインは幅 2cm、出題図からの距離は 3cm に統一した。出題図 23 種類に対して 2 人の遊戯者がそれぞれ 2 回ずつの合計 4 回試し、合計 92 回の平均を、固定したプロジェクタからスクリーンを 1.2m と 1.8m の 2 箇所に移動してそれぞれ求めた。表 1 に正解状態で正しく判定できた場合 (判定成功)、少しピースを置き直して正解判定できた場合 (手直し後成功)、正解状態を判定できなかった場合 (判定困難)、ピースを正解状態に配置する前に正解と判定してしまった場合 (誤判定) のそれぞれの割合を示す。

表 1 より、手直し後の成功も含めると 80% 程度の判定精度が得られ、パズル遊びという用途としては何とか遊べる程度にあると言えよう。なお、スクリーン距離が大きい場合に判定精度が良いのは、1) 厚み (1.8cm) のあるパズルピースを斜めから撮影する事による形の歪みの影響が小さい、2) カメラから出題図およびパズルピースが小さく見え、粗い解像度を元にして判定計算を行う事になるため、結果として前景を求める処理などでノイズがキャンセル出来ている、等が理由として考えられる。

表 1. 判定精度

スクリーン距離 (m)	判定成功	手直し後成功	判定困難	誤判定
1. 2	62. 0%	8. 7%	16. 3%	13. 0%
1. 8	77. 2%	10. 9%	8. 7%	3. 3%

6. まとめと今後の課題

大人数が参加でき、見学者も楽しめる T 字パズルゲームを、汎用のプロジェクタとカメラと磁石吸着のスクリーンだけで実現できる事を示した。今後は、より広範な環境、即ち、多様な照度条件下で、より大きなスクリーンを使用してもストレス無く遊べる判定精度を実現できるように判定精度の向上と調整の自動化を進めたいと考えている。

参考文献

- [1] 師井聡子 他, “ContacTable シルエット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大会論文集, Vol.13, 1A5-2, 2008.