

## プロジェクタ・カメラシステムを用いた ビリヤードの初級者向けショット練習支援

緒方 祐介<sup>1</sup> 有田 大作<sup>2</sup> 菅沼 明<sup>3</sup> 谷口 倫一郎<sup>3</sup>

九州大学大学院システム情報科学府<sup>1</sup>

九州大学大学院システム情報科学研究科<sup>3</sup>

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地

(財)九州システム情報技術研究所<sup>2</sup>

〒814-0001 福岡市早良区百道浜 2-1-22 福岡 SRP センタービル

E-mail: {ogata,suga,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp, arita@isit.or.jp

あらまし ビリヤードは知的で、技術を磨けば老若男女誰もが対等に楽しむことのできるスポーツである。しかし、ビリヤードの技術を磨く方法として上級者に教えてもらう機会は少なく、多くの初心者は個人練習に頼らざるを得ないのが現状である。初心者による個人練習では力の強さや、ポケットに入れ易いボールの選択といった点を習得するのは難しい。このような力の強さや打つ向き等の言葉や文字では正確には伝えにくい情報を明確に伝え、難易度の評価により落とし易いボールを選択し提示することのできるシステムを開発した。本論文では、撞球の方向を本システムで提示をすることで、初級者でも正確にショットが打てることを実験により確認し、このシステムの有用性を示した。

### Shot training system for a beginner of billiards by a projector-camera system

Yusuke Ogata<sup>1</sup>, Daisaku Arita<sup>2</sup>, Akira Suganuma<sup>3</sup>, Rin-ichiro Taniguchi<sup>3</sup>

Department of Intelligent Systems Kyushu University<sup>1,3</sup>

744, Motoooka, Nisi-ku, Fukuoka, 819-0395, Japan

Institute of Systems & Information Technologies/KYUSHU<sup>2</sup>

2-1-22, Momochihama, Sawara-ku, Fukuoka, 814-0001, JAPAN

E-mail: {ogata,suga,rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp, arita@isit.or.jp

**Abstract** Billiards is a mental and intellectual sports. Anyone can enjoy playing billiards if they acquire a technique of a shot. However, not every beginner is taught it by an experts. It is hard for beginners training by themselves to select the easier object ball and sight it to pocket. We have developed a system which can clearly show them information that is difficult to tell them by language, i.e. strength and direction of the shot. Our system can select and show an easiest shot estimated by the difficulty level, which is defined by the margin of direction of the shot. We have confirmed effectiveness by experiment that some beginners can shot correctly if the system shows the information about the shot.

#### 1. はじめに

ビリヤードは知的で、技術を磨けば老若男女誰もが対等に楽しむことのできるスポーツであ

る。しかし、初級者がビリヤードの技術を磨く際に上級者からの指導を受ける機会は少なく、多くの場合、個人練習に頼らざるを得ないのが現状

である。ビリヤードの初級者にとって、ポケットに落としやすい的球を選択するのは困難である。さらに、ポケットに落とす的球を決定できたとしても、どの方向にどれくらいの強さで手球を撞けばよいのかを判断することは難しい。また、上級者がいる場合でも、どの方向にどれくらいの強さで撞球するかの情報は言葉で伝えるのは難しい。本研究では、ビリヤード台上の球の配置からポケットに落としやすい的球を検出し、手球を撞く方向をプレーヤーに提示することで、初級者のショットの練習を支援するシステムを提案する。

ビリヤード台上の状況を認識するためには、手球・的球の位置を検出することが必要である。また、プレーヤーが構えたときのキュースティックの指す方向も検出できなければならない。ビリヤードの場合、球やキュースティックにRFIDタグのようなセンサーを貼り付けることは不適であるので、非接触の方法で位置情報を取得する必要がある。そこで、台上の状況とキュースティックの向きを自動で認識するためにカメラを使用し、コンピュータビジョンの技術を用いてカメラ画像から必要な情報を得る方法を採用する。カメラを用いることで球とキュースティックの情報を非接触で獲得することができる。

コンピュータで計算した結果をプレーヤーに提示する方法として、ヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD)を使用して拡張現実感(Augmented Reality:AR)の技術を用いる方法<sup>1)</sup>やビリヤード台のそばに置いたディスプレイに表示する方法がある<sup>2)</sup>。ディスプレイに表示する方法では、提示される情報を確認するためにプレーヤーは頭を動かす必要があるため、撞球の狙いをつけたまま、狙いの方向が正確か確かめることができない欠点がある。一方、HMDを使用する方法では、作業を中断しない情報の提示が可能であるが、HMDは利用者への負担が大きく長時間の使用には向かない。また、ビリヤードのようにプレーヤーの集中力、イメージ力が要求される場合、装着する機材は大きな負担となる。本研究では、プロジェクタによる作業空間への重畳表示が特に有効と考え、ビリヤード台上にじかに情報を提示する方法を採用した。これにより、プレーヤーは、コンピュータが計算した方向に普段と同じよ

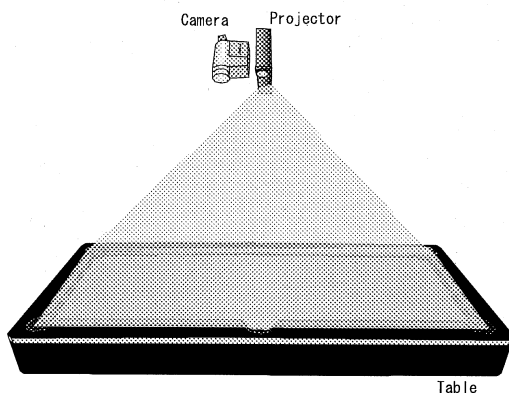


図1: システムの概観

うに手球を撞くことができる。

本研究では、プロジェクタとカメラを用いたショット練習支援システムを構築した。図1にシステムの概観を示す。台の上方に設置されたカメラによって球の位置を検出し、難易度を評価することで最もポケットに入れやすい的球を選択し、撞球の方向をプロジェクタにより台上に提示する。提案するシステムを初級者に使用してもらいシステムの評価を行った。その結果、提示を行うことで撞く方向を正しく伝えることができ、初級者でも正確な撞球ができることを実験により確認した。

## 2. カメラによる物体の認識

カメラによって球の配置とキュースティックの向きを認識する。球の位置やキュースティックの向きといった情報は連続的な量であり、通常、コンピュータに入力するのは非常に困難である。しかし、本システムではカメラによってそれらの情報を獲得している。

### 2.1 球の認識

本システムでは、手球・的球の認識を2ステップで行っている。第1ステップでは、球の位置をハフ変換による円検出で測定する。まず、入力されたカメラ画像に対してエッジ検出および2値化を施し、エッジ画像を得る。次に、そのエッジ画像に対して円のハフ変換を行うことで球の候補の位置を検出する。ハフ空間に投票する際に

用いた変換式は

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (1)$$

である。ここで  $(a, b)$  はエッジ画像上の座標、 $(x, y)$  はハフ空間上の座標で  $r$  は円の半径である。カメラとビリヤード台の位置関係は固定されているので、どの手球・的球もほぼ一定の大きさに写るはずである。そのため、 $r$  は狭い範囲だけ考慮すればよい。

第2ステップでは、球の候補として得られた円内部の色をみることで手球とそれぞれの的球を区別する。ハフ変換による円検出を行った段階では、球以外の部分も球の候補として誤検出されてしまうが、検出された色をみることで球の誤検出を除外している。さらに、的球の色と的球の番号は1対1に対応しているので、この処理での的球の番号も特定できる。第2ステップでは、これらの判定をテンプレートマッチングによって行っている。用意した球のテンプレート画像と、円検出で球候補として検出された部分の画像を比較することで、手球であるか、どの的球であるかを判断している。

## 2.2 キュースティックの認識

キュースティックはハフ変換による直線検出によって認識している。直線検出のハフ変換は計算量が大きいアルゴリズムであるので、高速化のために探索範囲を削減する必要がある。ビリヤードのルールで撞くことが許されるのは手球だけなので、プレーヤが狙いを定める状況では、キュースティックは手球の周辺にあることになる。そのため、本システムでは、手球の周辺のみで直線検出を行って、キュースティックの検出を行っている。

## 3. 支援情報の生成と提示

### 3.1 座標平面

本システムには、実世界にあるビリヤード台上の座標平面  $P_t$ 、カメラ画像の座標平面  $P_c$ 、プロジェクタ投影の座標平面  $P_p$  の3つの平面が存在する。一般にカメラにはレンズの歪などがあるためにカメラ画像の座標平面は歪んでいる。また、プロジェクタの投影面も歪があることが多い。そのため、ビリヤード台上の球の位置関係や撞球

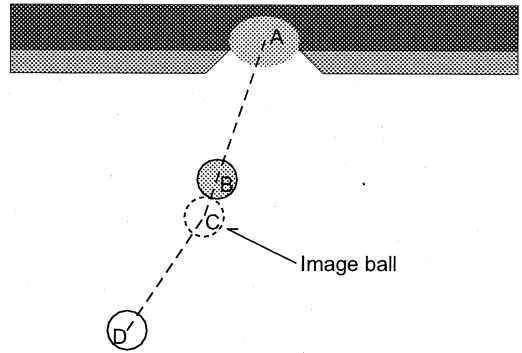


図 2: 理想的なボールの軌跡

の方向などを正解に計算するためには、歪のない平面  $P_t$  上で計算するのが最善である。しかし、手球・的球の位置やキュースティックの位置は平面  $P_c$  上でしか検出できず、支援情報は平面  $P_p$  上に提示しなければならない。そのため、これら3つの座標平面の位置合わせが重要になる。

平面間の関係は射影変換行列  $H$  を用いて表すことができる<sup>[3]</sup>。その射影変換行列  $H$  を求めるためには、平面間で対応の取れた特徴点が必要となる。まず、平面  $P_c$  と平面  $P_t$  との位置合わせは、チェスボードをビリヤード台に置きカメラでそれを撮影することで行う。格子点の座標をそれぞれの平面で検出し、平面間の射影変換行列  $H_{ct}$  を求める。次に、平面  $P_t$  と平面  $P_p$  との位置合わせは、プロジェクタでビリヤード台にチェスボードを投影し、カメラでそれを撮影することで行う。この場合も格子点の座標から平面間の座標変換行列  $H_{pc}$  を求める。これら2つを使うと、平面  $P_p$  と平面  $P_t$  間の射影変換行列  $H_{pt}$  は

$$H_{pt} = H_{pc}H_{ct} \quad (2)$$

で求めることができる。この座標平面の位置合わせはシステムを起動した際に1度だけ行う。

### 3.2 ショットの計算

ビリヤード台上のすべての球が静止した後、カメラからの画像で各球を検出する。各球の位置は平面  $P_t$  上にマッピングされ、この平面上でポケットに落とせる的球を見つける。

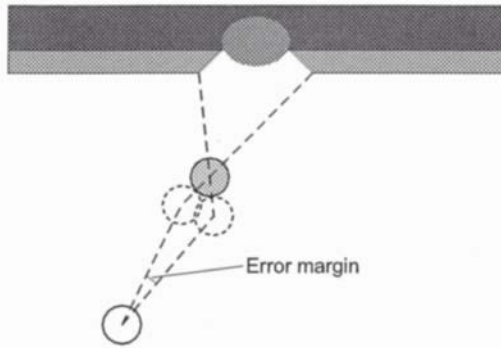


図 3: エラーマージン

的球をポケットに落とすには、図 2 のように狙うポケットの中心  $A$  と的球の中心  $B$  とを結んだ線に沿って転がるように的球を弾くことが必要である。この方向に動かすためには、直線  $AB$  の延長上での的球に接する点線の円(手球と同じ半径)をイメージして、そこをめがけて手球を撞くことになる。このイメージボールの中心  $C$  と手球の中心  $D$  とを結ぶ直線が手球を撞く方向になる<sup>4)</sup>。図 2 は、サイドポケットに落とす例であるが、コーナーポケットに落とす場合でも同様の計算で撞く方向を求めることができる。

### 3.3 ショットの難易度

手球での的球をポケットに落とすとき、図 2 に示した直線は理想的な軌跡を示している。実際はその直線から多少ずれても的球をポケットに落とすことができる。どの位ずれてもポケットに落とせるかは、手球、的球、ポケットの位置関係で決まる。撞球の可能なブレを図 3 に Error margin として示している。ポケットのそれぞれの端と的球の中心を結んだ線の延長にイメージボールを置く。2つのイメージボールに挟まれが方向に手球を撞くことで、理論的には的球をポケットに落とすことができる。そのため、この Error margin の角度が大きければ、易いショットであると言うことができ、この角度が小さければ、難しいショットであると言うことができる。

この Error margin の角度は手球と的球が離れていると小さくなる。また、的球とポケットが離れていると小さくなる。さらにポケットの正面付

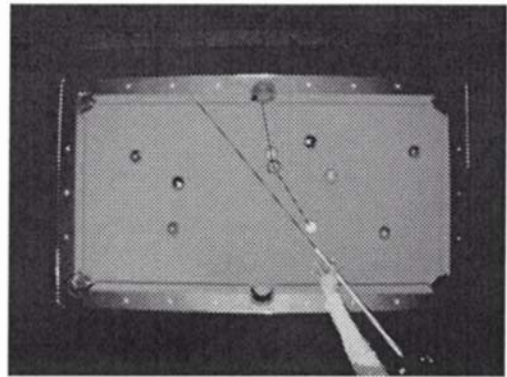


図 4: 支援情報の提示

近に的球があれば大きくなり、横に外れると小さくなる。このように、Error margin の値は距離のファクタも含んでいるので、台上での球を落とすショットの難易度として使用可能である。

### 3.4 ショットの提示

本システムでは、まず、すべての的球に対しダイレクトショットでポケットに落とすことができるかを判定する。ポケット可能な的球に対して Error margin を計算し、その角度が大きい順に易いショットと見なす。プレーヤーへは、最も簡単なショットと計算されたものを自動的に選んで提示する。

さらに、画像処理で検出したキュースティックの向きを直線で提示する。図 4 にその例を示す。印刷物にすると図中の表示が見にくくなるので、図 4 では提示情報を強調している。プレーヤーがキュースティックを動かすと、リアルタイムで台上に提示される直線が移動する。この直線が撞球の理想的な方向と重なるようにキュースティックを調整し、手球を撞くことで初級者でも簡単に正確な方向に撞くことができる。

本システムではダイレクトショット以外に、バンクショットやコンビネーションショットでポケットに落とせるかどうか判定できる。バンクショットのクッションでの跳ね返りは、入射角と反射角が同じになる理想的な場合を想定して計算している。また、コンビネーションショットでも手球・最初の的球の回転などは考慮していな

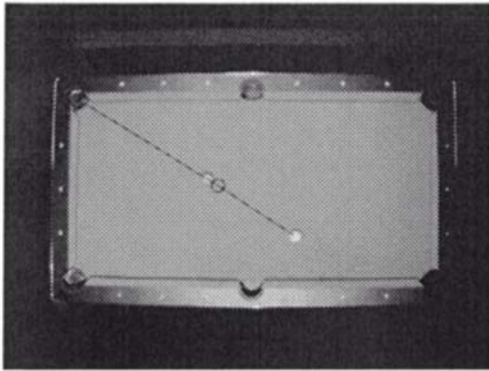


図 5: ダイレクトショット

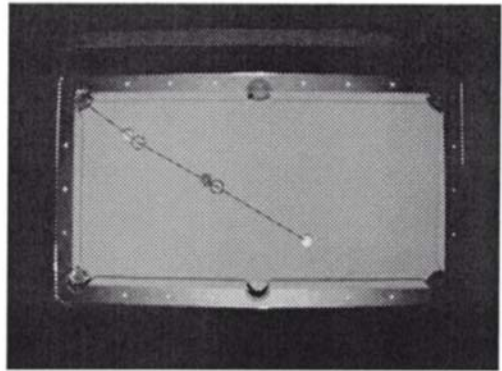


図 7: コンビネーションショット

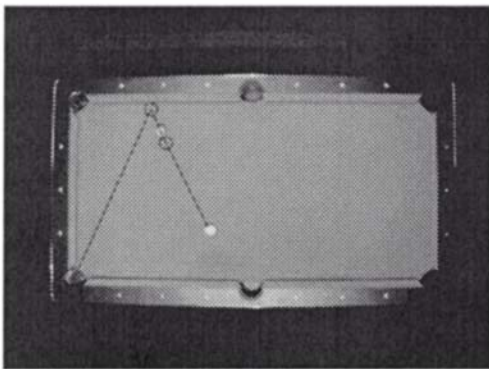


図 6: バンクショット

い. それぞれのショットでもダイレクトショットと同様に、理想的な球の軌跡とイメージボールの位置を台上に提示する。図 5～図 7 にそれぞれの提示例を示す。

### 3.5 提示情報の変更

本システムは、ショットの難易度を計算し、最も易しいショットを自動的に提示するようになっている。しかし、提示したショットが、プレーヤーにとって不得意なショットであったり、プレーヤーの意図と異なるショットであったりすることがあるので、別のショット(その次に易しいショット)も表示できるようにしている。システムがショットを提示しているときに、プレーヤーが手で手球

を覆い隠すことで、次に難易度が低い別のショットを提示する。

## 4. 評価実験

### 4.1 支援システムの概要

練習支援システムの概観は図 1 に示したとおりである。ビリヤード台の上方にカメラ 1 台とプロジェクタ 1 台を設置する。カメラは Sony 製 DFW-X700(解像度:1024×768, フレームレート:15fps)を用いている。また、プロジェクターは Plus Vision 社製 v-1100(1024×768 ドット)を使用している。カメラとプロジェクターは、カメラでビリヤードの台全体を撮影できる高さに設置している。

### 4.2 実験条件

提案の支援システムを大学生 4 名に使用してもらった。4 名の被験者はともに初心者で、最初にキュースティックの持ち方、ブリッジの作り方、撞球の動作を説明し、実際の台上の手球を撞いてもらった。4 名の被験者の腕前は予備実験により、ほぼ等しいことを確認した。

本システムの提示がある場合とない場合とでショットの正確さを比較するため、それぞれの状態で 10 回の試行を行ってもらった。これ以降、これを本実験と呼ぶ。ビリヤードでよく似たショットを打つ場合、慣れてくる問題がある。システムによる提示がある場合とない場合とでショットに対する慣れの条件を等しくする目的で、上の

表 1: ショットの成功回数

ショット名	ダイレクトショット	バンクショット	コンビネーションショット
提示あり	9回	9回	6回
提示なし	6回	4回	2回

本実験の直前と直後に何も提示しない状態でそれぞれ10回の試行を行ってもらった。これ以降、これを事前実験、事後実験と呼ぶ。

一回の試行では、ビリヤード台上に手球と的球だけを置き、的球を指定したポケットに落とすことができれば成功、そうでなければ失敗とした。手球と的球を置く位置は台のポイントを基に大まかにしか揃えてないので、試行ごとに少しのずれがある。その点で、ポケットするためのイメージボールは試行ごとに若干ずれる状況で実験を行った。

ショットの種類はダイレクトショット、バンクショット、コンビネーションショットの3種類のショットを行ってもらった。各ショットごとに事前実験、本実験、事後実験を実施し、成功/失敗を記録した。3種類のショットを行う順番はダイレクトショット、バンクショット、コンビネーションショットとし、難易度が低いショットから打ってもらった。これにより、難しいショットを打つことによる易しいショットへの影響をなくしている。

事前実験・本実験・事後実験を1セットとし、本実験だけシステムによる情報提示がある場合と情報提示がない場合とで実施した。被験者は1セット実施したあと、適当な時間をおいて次のセットに臨んだ。

#### 4.3 支援情報の提示効果

支援情報を提示することで、方向という言葉や文字では正確に伝えにくい情報がどれくらい伝わったかを示すことを目的として実験を行った。4人の被験者全体で、成功したショットの数を種類ごとに数えたものを表1に示す。表にあるように、どのショットにおいても情報を提示したほうが成功回数が多くなっている。

一方、情報を提示しても期待したほど成功回数が増えていない。また、特にダイレクトショッ

トでは、提示しない場合のほうが成功回数が多かった被験者もいた。この原因として、撞く瞬間にキュースティックがぶれてしまい狙い通りに手球を撞くことができないことがあげられる。これは、今回の実験の被験者が初級者というよりは、初心者に近かったことが原因であると考えられる。提案のシステムは、キュースティックで安定して手球を撞けるくらいの人向けの支援システムであるといえる。

また、今回の実験では計数していないが、支援情報を提示したほうが支援情報を提示しない場合よりの的球がポケット付近に到達しているものが多かった。特にバンクショットやコンビネーションショットの場合、提示なしではまったく別の方向に的球が転がっていたり、第1の的球が第2の的球に擦ることもなかったりしたが、提示があることでそのようなことが少なくなっていた。ビリヤードではコンタクトポイントが数ミリずれると、的球がまったく意図しない方向へ転がってしまう。この点から、提案システムの提示は初級者に撞球の方向を正確に伝えていると考えられる。

## 5. おわりに

プロジェクタ・カメラシステムを使用したビリヤードの初級者向けのショット練習支援システムの構築を行った。台上の手球・的球の配置を検出し、ポケットに落としやすい的球について撞球の方向を計算し、台上に提示するシステムである。撞球の方向を提示する際には、ショットの難易度を計算し、それが最も低いものから順に提示できるようにになっている。さらに、このシステムで提示する撞球の方向は初級者にとってある程度役に立つことを実験によって確かめた。

本稿では、提案したシステムを初級者に使ってもらい情報を台上に提示することの有効性を示

そうとした。しかし、本稿で述べた実験では、検定を行って有意差を示すほどの被験者数ではなかった。そのため、今後、さらに多くの被験者で実験を行い、プロジェクタを使用して台上に情報を提示することの有効性を確認する必要がある。

この研究の目的でも述べたように、ビリヤードの撞球の方向や強さは言葉で伝えるのはなかなか難しい。撞球の方向に関しては現システムで提示できるといえるが、撞球の強さは現在のシステムでは扱っていない。撞球の強さが異なると同じコンタクトポイントにあたってとしても的球がポケットに入ったり入らなかったりする。そのため、プレーヤに撞球の強さを併せて提示することは必要である。力学的要素を考慮して撞く強さの計算し、提示できるようにすることは今後の課題である。

3.4節で述べたように、現在のシステムは3種類のショットに関して撞球の方向を提示できる。しかし、種類の異なるショットの難易度は計算していない。プレーヤのショットに選択の幅を持たせるためにも、種類が異なる場合の難易度の評価を可能にすることも今後の課題である。

ビリヤードでは失敗をせず連続してボールを落としていくことが重要である。そのためには、手球を撞いた後どのような的球の配置になるかを予測し、撞きやすい球配置になるように撞く必要がある。このように、先の状態を予測し最も効果的なショットを選択しユーザに提示する機能を実装していく。

## 謝辞

本研究の評価実験の実験方法に関して、九州大学大学院システム情報科学研究院知能システム学部門の志堂寺和則准教授からご意見をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] Tony Jebara, Cyrus Eyster, Josh Weaver, Thad Starner and Alex Pentland, Stochasticsticks: Augmenting the Billiards Experience with Probabilistic Vision and Wearable Computers, *Proc. of the Intl. Symposium on Wearable Computers*, pp.138-145, 1997.
- [2] 内山英明, 斉藤英雄 ハンディカメラ入力に

よるビリヤード戦略発想支援システム, エンターテインメントコンピューティング 2006, Sept. 2006.

- [3] 徐剛, 辻三郎, 3次元ビジョン, 共立出版 1998.
- [4] David G. Alciatore The Illustrated Principles of Pool and Billiards, *Sterling publishing*, New York.