

# Shoobot(Soccer Shooting Robot)の 軌道生成メカニズム

3D-3

水野裕識 興梠正克 黒田洋介 村岡洋一

{mizuno,kourog}@olu.info.waseda.ac.jp,muraoka@cfi.waseda.ac.jp

早稲田大学理工学研究センター 55S-06-06 OLU Project Room

## [1] はじめに

我々のShoobot(Soccer Shooting Robot)は室内空間におけるサッカーボールを見つけそれをゴールに蹴り込む実時間移動ロボット<sup>[1]</sup>である。本稿では移動ロボットの軌道は斥力引力に基づくモデルにより合成することと、shootするロボットの軌道をどのように制御するか<sup>[2]</sup>の2点について述べる。

移動空間の適切な軌道の切り分けが難しいことから、軌道はif-then形式に従わない制御により実現したい。また、実ロボットのメカニカルな機構にできるだけ依存しないアルゴリズムであることが望ましい。なぜなら、実環境での不完全性を考慮した場合、ノイズ、センサー誤差、移動誤差が移動の安定性を妨げるからである。つまり実ロボットへ適用する際に、どちらの方向に移動する部分はモデルに従わせ、実装する上でのad hocな処理との切り分けをした。

## [2] 軌道生成力学モデル

shoobotの動作決定はボール、ゴールそしてロボットの位置関係で決まる。ボールを特定方向に蹴り込む為には、それに接近するべき方向が予め決定され、それを満たすように移動しなければならない。つまりシュート動作はゴールからボール裏側という限定位置に回り込む行動が必要になる。

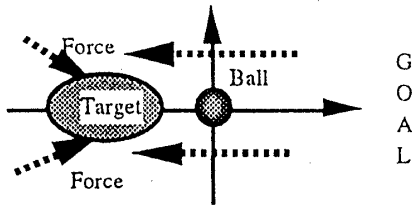


Figure 1: Transition to get back of the Ball

図1の原点にボールが存在し、X軸正の方向にゴールがあると仮定する。回り込み動作の為に、X軸を境に上下位置では負領域にロボットを移動させる力が作用し、X軸負領域方向からの移動には、Targetに引き落とされる力が作用するべきである。回り込み軌道を生成するために、導く仮想力が面に埋め込まれていると仮定する。ゴールとボールで決定する位置関係に引力斥力を導入した場モデル提案する（図

2）。具体的にはX軸正の位置P1に、斥力を生成する点を、X軸負の位置P2に引力を生成する点を、さらに原点にはP2より弱い斥力を生成する点を仮定する。ここでP1,P2及び原点Oから発生する仮想力の総和がロボットの進行を決定する。P1,P2,原点で発生させる3つの仮想力を説明する。

- 1) X軸方向  $\beta$  の位置に、定常引力
- 2) 原点は距離に反比例する斥力
- 3) X軸方向  $\alpha$  の位置に、距離の2乗に反比例する斥力

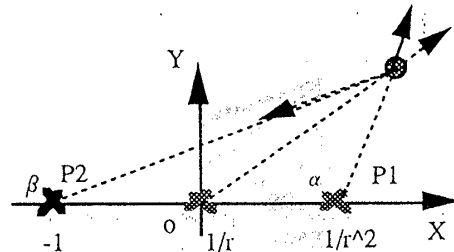


Figure 2: A dynamics model using repulsive and attractive force 定性的に見た場合X軸負領域十分遠方では2),3)の力は及ばず、1)の力に引き寄せられる。X軸正領域十分遠方でも同様であるが、近づくにつれてP1,原点により外側に飛ばされ、P2に落ち込む。原点Oはボール位置を表し、その斥力はボールとの衝突を防ぐ。

本モデルにおけるX方向とY方向の合成力に関する式は以下の通りである。Fp1,Fo,Fp2はそれぞれの方向に作用する力でRp1,Ro,Rp2はロボット迄の距離を表す。

$$F = [F_{p1}, F_o, F_{p2}] = \left[ \frac{Y}{(R_{p1})^2}, \left(\frac{1}{R_o}\right), -1 \right] \quad (1)$$

Fx,Fyはロボットに作用するX,Y方向成分の力を表す。

$$F_x = F_{p1} + F_o \times \frac{(R_x - \alpha)}{R_o} + F_{p2} \times \frac{(R_x - \beta)}{R_{p2}} \quad (2)$$

$$F_y = F_o \times \frac{R_y}{R_o} + F_{p2} \times \frac{R_y}{R_{p2}} \quad (3)$$

dt時間後の(dRx,dRy)はFx,Fyだけ移動するとした。

$$\left[ dR_x, dR_y \right] = \left[ F_x \cdot dt, F_y \cdot dt \right] \quad (4)$$

3次元空間の質点が3つの合成力によりその面に沿って移動する軌跡を、投影平面に写像したものが軌道である。質点は各力に近い程、その影響を強く受けるため、速度制御

How does shoobot create moving path to shoot the ball?

Hironori MIZUNO, Masakatsu KOUROGI, Yousuke KURODA, Yoichi MURAOKA

School of Science and Engineering, Waseda University

に独立とする。Fp1は、式(3)で示すように、y方向成分無視してX負方向へ質点を移動させる為に用いている。

移動経路のダイナミクスはP1●, P2○までの距離 $\alpha$ 、 $\beta$ 及び $\gamma$ の3つのパラメータにより変化する。以下にその特徴的な4つのパターンのシミュレーション結果を示す。

以下は(a)  $\alpha=0.5, \beta=0.1, \gamma=0.05$  (b)  $\alpha=0.5, \beta=0.1, \gamma=1.0$  (c)  $\alpha=-0.5, \beta=0.1, \gamma=-3.0$  (d)  $\alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=0.2$  とし、x,y共-2,+2の領域を図示した。

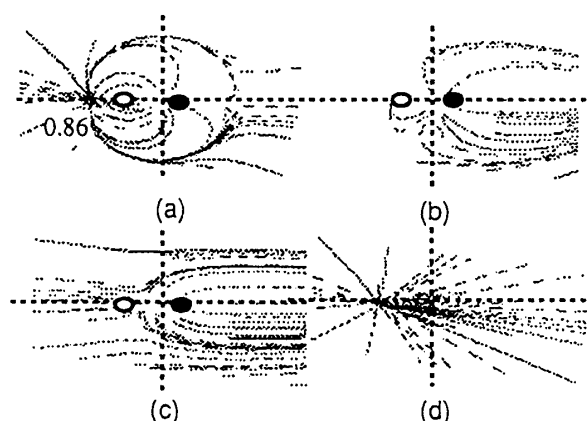


Figure 3: The Comparison of the result by 3 different parameters  $\gamma$ パラメータを大きく(a-b-c)していくと、X方向に引きずられる傾向を持つ。収束の傾向は距離 $\alpha$ 、 $\beta$ にも依存し、(d)のように直線的にボールの裏に移動する場合は経路として利用できない。原点から0.86m後方に引き込まれる(a)を利用した。

### [3] 力の再配置による軌道制御

蹴り出す方向制御を操作するために、図1のゴール方向をそれぞれゴールポストに一致させる方法もあるが、埋め込まれた仮想的な力を移動して軌道を変更することを考える。

#### [3.1] 左ポストを狙う軌道

具体的には、ボール左側から大きく回り込んで、ゴール右ポスト付近の方向を狙うように移動するといった軌道について説明する。このために、Fp2の力の初期配置をX軸を挟み、上下に移動する。その軌跡について図4に示す。

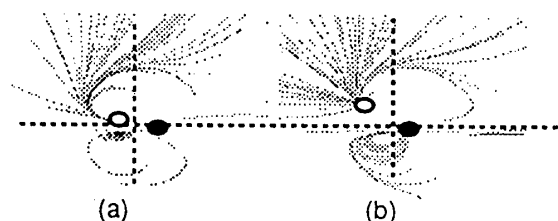


Figure 4: Controlling to shoot the ball at right direction

<http://www.info.waseda.ac.jp/muraoka/members/hiro/MIZUNO.HTML>の下で、Shooboting動作がMPEG1, mpeg\_play等で見る事ができる。

Y軸方向へ移動距離が(a)0.05, (b)0.3となり、[2]で述べた場合と異なり、対称性が崩れる。このためY軸正半平面のみ方向制御が可能となった。

### [4] Nomd200改良型への実装結果

本モデルを蹴る足を装備したNomd200(DX2-66Mhz, Linux1.2.11OS)改良型に実装した。ボールに近づく為の処理は、ボールまでの距離を取る視覚処理<sup>[2]</sup>と本モデルを繰り返す。[2]章式(1)から(4)は、軌道を制御する為に利用するので、速度はボールからの距離に応じて早くなる制御をした。室内空間(縦7.16m 横4.96m)のサッカーボールに回り込む動作及び転がるボールに軌道修正する動作が生み出されることが確認できた(図5)。ボールを完全に見失う時は、現在は一端停止をしてCCDカメラが付いた塔を回転してボールを探索する。

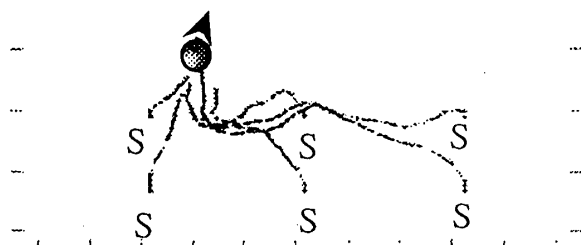


Figure 5: The real orbit to shoot the ball in the left side of the room

### [5] 議論とまとめ

Shooting軌道を3つの仮想力の組み合わせにより合成し、実際のロボットにてサッカーボールをシュートさせた。このメカニズムは直感的に構成可能な単純な幾何学<sup>[3]</sup>にヒントを得たモデルである。しかし、この力学に基づく枠組みは、ポアンカレの3体問題のように、力の設定、初期配置によって、複雑な挙動が生まれる場合がある<sup>[4]</sup>。そこで、今後は複数作用点による生み出される軌跡、その対称性、安定性についてロボットへの実装を通して議論を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 水野他, "Shoobot(Soccer Shooting Robot)の実現", 95合同シンポジウム, 人工知能学会研究会資料, SIG-J-9501-8
- [2] 興梠他, "Shoobotの視覚系による距離同定", 52回情報処理学会全国大会, 3D-04
- [3] ABRAHAM&SHAW, "Dynamics-the Geometry of behavior part II, III", 現代数学社, "図解カオス入門準備編, 展開編", 東光彦訳
- [4] Ian Stewart, "DOES GOD PLAY DICE? THE MATHEMATICS of Chaos", 白揚社, "カオスの世界像", 須田不二夫, 三村和男訳