

移動ボール先読み型 Shoobot の実現

5M-9

水野 裕識 興梠 正克 村岡 洋一

早稲田大学 理工学研究科

1. はじめに

運動知能 (Athletic Intelligence) の実践に向けて、サッカーロボットを題材にした研究を行っている。運動知能とは、実世界でロボットに特定の運動を行わせる場合に、ロボットに埋め込む技術を指す。その評価は、単体移動ロボットのサッカーの場合、基本要素運動であるドリブル、シュート、パスを旨く行わせるかによる。

我々はシュート行動における単体サッカーロボットの技能の1つに、先読み行動は必要になると考え、ボールの転がりを判断すると、その方向に移動してゴールに蹴り込む能動型ロボットを指向している。ロボットの行動コストは、通信、処理時間や移動時間から成り、全て時間に置き換え、移動すべきかの判定をする。つまり、ボールの転がる程度や、車輪の方向制御、その前後の回転量から必要になる時間について比較判定を常に繰り返しながら、移動ボールに接近して蹴り込む。

2. 先回り行動について

ボールが転がる場合、その位置の状態は時間とともに推移するので、ボールが移動する軌道を予め全て列挙することはできない。

視覚センサーによる観測は、実世界のある瞬間のスナップショットである。ボールが転がっているかどうかは、この1観測だけではできない。少なくとも2観測、あるいはそれ以上の状態の比較から推定が必要になる。

過去観測からできるだけずれないように、その履歴から先の状態を推定する。ボールの転がりの位置推定はその履歴から十分決定できると考えられる。

ここで、ボールの方向やら移動先回りが可能かどうかの判定とその場合にどのように移動すれば良いかという2つの課題が生じる。

1. 先回りの可能判定についてその履歴からボールの移動しているかどうかの判定をし、今後どの方向に推移するかの移動位置を推定することが必要になる。ボール速度が低下する場合、曲がる方向を推定することは移動位置精度を高めるために必要になる。先回りは、推定位置にロボットの移動時間内に達成可能かどうかにより判定する。任意時刻において、この場所はボールの動きにより複数存在する場合がある。目標移動の場所は1点でなければならないので、ロボットの行動コストから絞りこむ。

2. 推定位置までの移動について実際のロボットが移動する場合には、取られる移動アルゴリズムによって、その移動コスト（時間、経路）は変化する。推定位置はそれが1度決定されると、ボールの進路が変化しない限り、大きな変動を伴わないので、推定される位置までの移動時間は少なくする移動方法が望まれる。しかしながら、推定位置に接近する際に、軸回りへの回転と前後回転をどちらを優先すべきか、位置までの誤差と時間によって変化する。

3. 移動ボールへの対応

目的行為の達成時間は、常に制限がある。最終的にボールを蹴るには、その前に行動達成に対して状態判定が行われる。これには自らの行動、つまりロボットが移動する選択場所にも依存する。

3.1 移動開始判定

まず、移動開始の条件について確認する。図 1.a に示すように、 $B_0, B_1$  にボールが観測されると、 $i$  観測時間幅分だけ積算するとその先の方向へ推定移動位置 ( $B_i$ ) が決まる。ロボット ( $R_0$ ) からその位置 ( $B_i$ ) までの距離 ( $L_i$ ) が求まる。

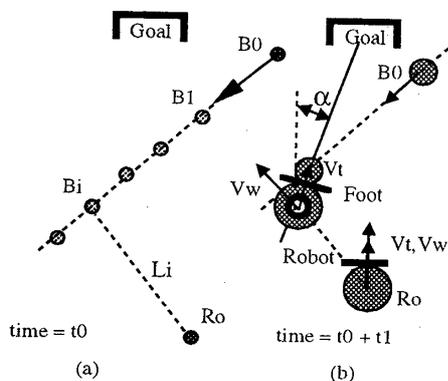


図 1: How to forstall the rolling ball

$$\vec{B}_i = Forstall(Internal)(i) + \vec{B}_0 (i = 1, \dots, number)$$

次にそれぞれの各点までに、移動するのに必要となる時間 ( $RT_i$ ) とその位置まで転がる残り時間 ( $BT_i$ ) を各点毎に比較する。Nomad200 移動コストは、3輪シンクロドライブ機構のため 1.b の  $V_w$  で表される車輪移動回転と軸回りの回転の2自由度から成る。本式は各最大速度で回転すると仮定する場合、方向を合わせた後に移動する戦略を取った場合よりも、ボールの到達時間が長くなる場合に移動が可能になることを意味している。

$$RT_i = \frac{L_i}{MaxRobotSpeed} + \frac{Rot_i}{MaxRotSpeed}$$

$$BT_i = (Interval)(i)$$

$RT_i > BT_i$ : 先回り行動をする。

$RT_i \leq BT_i$ : 先回り行動をしない。

### 3.2 移動アルゴリズム

移動時間  $RT_i$  は、前項目での車輪、軸の回転速度を最大にした時間間として定義した。この和は移動の最大時間を意味しており、移動時間の上界に相当する。Nomad200 は、車輪、軸の回転を同時に扱うことができる。そこで両方を同時に回転して、移動時間を抑える。この場合移動時間は短くなるが、場合によって軌道の修正が同時に行われてしまい誤差が生じやすくなる。そこでできるだけ推定場所へ移動する誤差は抑え込みたい。両者の回転コストによって、取るべき移動戦略は異なる。Shoobot([2]) は、Nomad200 をベースにしている塔部に蹴る足が 1 本装備されている。まず、Nomad200 本体の最大移動速度、加速度を以下に示し、移動能力を述べる。車輪の回転による前後の移動と、車輪を支える軸回りの回転による方向制御から成る。

車輪速度 $60.0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$	車輪加速度 $75.0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$
軸回転速度 $45.0 \text{ deg} \cdot \text{sec}^{-1}$	軸回転加速度 $50.0 \text{ deg} \cdot \text{sec}^{-2}$

これより方向を決定する回転コストが、移動コストに対して大きいので、方向変更を伴う行動戦略はできるだけ避けるほうが望ましい。

任意 A 地点から B 地点へ移動する場合には、その B 地点の車輪のなす角度が大きい場合には移動速度を抑えて、方向回転を大きくして方向を優先する。また、方向が定めれば移動速度を最大にして接近する。目標位置に接近するに従い移動速度を抑える手法を以下のように取った。

絶対角度 25 度以上	軸回転速度	$45.0 \text{ deg} \cdot \text{sec}^{-1}$
	移動速度	$7.5 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$
上記以外の場合	軸回転速度	$3.0 \text{ deg} \cdot \text{sec}^{-1}$
目的地距離 30 cm 以上	移動速度	$60.0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$
それ以外の場合	移動速度	距離 * $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$

この結果、現在の車輪の方向に依存しないで、移動が可能になると同時にこの方法によると目的位置まで実測誤差 10[cm] 以内で移動が完了することが分かった。絶対角度がこれより少ないと角度に対して振動してしまう。

### 4. 移動実行環境と実験結果

実時間処理は、通信時間も含めた処理時間にも影響する。特に、処理中であっても、移動するボールの位置は変化していく。全てのコストは時間に置き変えて、到達の可能性のある場合に移動して蹴る動作を実現することが可能となった。

できる限り一定した移動を獲得するために、今回は天井からトラックする方法を利用した。図 2 に示すように、実装上の制約から画像処理、移動ロボット、移動判定処理の 3 計算機で構成されている。

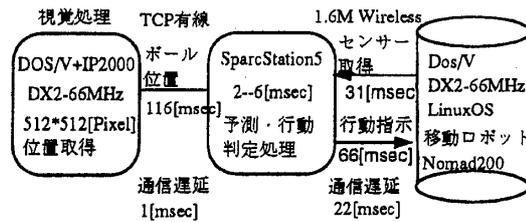


図 2: Time cost among 3 hosts

機能ごとに分散処理するので、通信遅延を抑え込むことも必要になる。画像処理は画像を取り込み、ラベリングして重心位置を取得する。この処理の間現在 116 [msec] 必要だが、行動決定はこの間隔に支配されないように、SS5 ではこの間にも情報取得と行動決定を行うように工夫した。そのため実際に 1 行動を支配する単位時間はセンサー取得から行動指示までの平均時間が、97 [msec] になる。この時間はボールの移動速度が 100[cm/sec] とすると 10[cm] 程度ずれ込む時間に相当し、移動能力 ([1]) からも 50[cm/sec] 程度の速度で蹴らせた。移動ボールを蹴らせた例を図 3 に示す。右方向が室内壁に相当し、一度右方向にある壁に跳ね返ったボールが戻って来る途中に、移動位置推定が開始され、B 地点付近に連続的に推定位置が求められた。その結果ロボットは移動アルゴリズムに従って、B 地点付近まで左方向に移動をして待ち受け動作をした後、ボールをゴールの方向へ蹴り込むことができた。

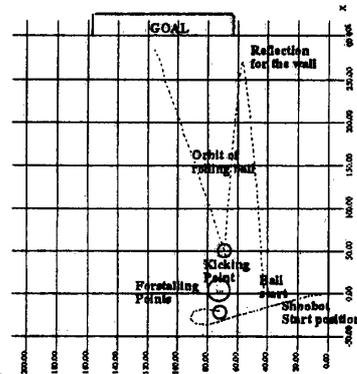


図 3: Each orbits in shooting the ball

### 5. まとめ

本論文では Shoobot が移動ボールに対して先読み行動をして待ち受け動作を行なう場合、その接触点を決定しその位置まで移動する行動生成手法について述べた。

### 参考文献

- [1] 水野他: 移動ボール先読み型 Shoobot の実現に向けて: 10 回人工知能全国大会, (1996,6)
- [2] 水野他: Shoobot(Soccer Shooting Robot) の実現: 人工知能学会研究会, SIG-J-9501-8, (1995.12)