

予測と行動により軌道を再構成する "Shoobot" の構築

7 G-1

水野 裕識 興梠 正克 川元 志英 村岡 洋一

<http://www.info.waseda.ac.jp/muraoka/members/hiro/>

早稲田大学 理工学研究科

1. はじめに

運動知能の実現に向けて、自律移動ロボット Nomad200 にサッカーを行なわせることが本研究の目的である。ロボットには、ボールをドリブルし、移動ボールをシュートする動作 [1][2] を埋め込む。ロボットの行動は上記 URL の Movie にて視覚的に確認できる。

これら2つの異種動作を、視覚処理、行動といった同一のフレームワークで扱いたい。具体的には、ボールの観測、行動の制御（車輪の速度指定）を繰り返して2つの動作を生成する。

ロボットは固有の身体を有する。そのため、移動機構、各種センサーの取り付け位置によって、ボールの観測可能な範囲、またその推定精度は変化する。ロボットとして、完全自律型を目指すので、視覚カメラは Nomad200 の塔部（左右に回転）に装着した。行動の制御は、フィードバック (FB) とフィードフォワード (FF) を空間位置を利用するかどうかで使い分ける。以後省略形 (FB/FF) によって説明する。

2. フィードバックとフィードフォワード

FBとは、システムの内部状態を目標に近付けるように目標からのずれを修整することを指す。この手法は、現在に拘束されるので、未来の状態の推定はできない。

FFとは、内部状態が次に起きる状態を予測できる内部モデルの存在が前提になる。FBのように目標に対する修正を繰り返すことないが、入力に対して逐次推定は行なわれ、最終状態まで待ち時間が存在する。

フィードフォワード (FF) フィードバック (FB)

	モデル	距離推定	目標追従	制御時間	待ち時間
FF	有	有	不可	速	有
FB	無	無	可能	遅	無

2.1 シュート行動

シュート動作は、現在の状態に支配されるFBだけでは移動ボールに追い付けないので、先読みによるFF行動が必要になる。先読みとは、現在までに観測された状態、その履歴から、短時間の後に起こる状態を推定することを意味する。このために、環境のモデルが内部に必要になる。シュート動作の場合には、移動するボールのモデルを必要とし、そのモデルに基づいて次に転がる位置を計算できれば良い。仮に最初からボールに接触する移動途中、精度良くボールの推定位置を得ることができ

れば、その位置に向かって弾道的に移動を行なうFFによる移動が可能である。弾道的とは、途中の状態を見ないまま直接その位置までの移動を意味する。

空間中のボール位置を同定するには、2次元画像のフレームのピクセルとボールの移動する平面空間の1対1対応が必要になる。レンズの周辺が歪んでいることや、画素ごとに対応する空間の実測距離が遠方ほど大きくなる（カメラは前方斜めについている）ため、距離の誤差は免れない。この事実から、距離を獲得できない範囲が存在し、その範囲にボールが存在すると、FFでの移動は行なえないことが分かる。

ロボットに搭載した単眼カメラでは、ボールまでの取得可能な距離は制限がある。Nomad200の高さ70cm位置に画角90度のCCDカメラ(1/2inch)を付けた場合にはロボットの脚元から2[m]程度しか距離をとることができない。（仮に複眼にしても、範囲が変わるだけで限界はある）

ここで、距離の取得範囲によるFBとFFを使い分ける3段の制御を行なう。1) 距離が遠方で距離が取れない場合、ボールの見え方の変化（見える相対角度を一定に保つ、空間位置（距離）への変換は必要ない）によってFBで移動し、2) 距離が視覚系の取得範囲内で獲得できれば、ボールの移動量に基づく推定をして、FFで移動する。3) 2)の推定位置に移動したら、その後待ち受け動作を行ない、最終誤差を抑制するためにFBによって移動を行ない、1点接触をする。

2)で位置の推定を行なうには、時間的な位置の差分からボールの速度ベクトルを算出し、等速直線運動のモデルにより、一定時間後の位置を計算するほかない。天井の視点 [2] を利用した場合、1), 3) はともに2) に包括できるが、依然として位置の取得には誤差が載るため、最後の接触でFBは必要動作になる。

FBだけで動作する場合、FBのゲインを大きくすると、ボールの状態に追従しても、最後で大きく振動してしまう。一方ゲインが小さすぎると、追従動作すらできない。本手法のように、FFを利用して待ち受け動作を行ない、最終的に身体の前で1点接触して捉えるほうがシュート動作が安定することが分かった。

2.2 ドリブル行動

次にフラグの間をぬうようなドリブルの動作について説明する。シュートの動作は最終的に1点で接触できるかどうか重要であって、移動途中の経路は問題にならない。ドリブルの動作は、ゴールのような目標にむけて移動しつつ、ボールを足元に常に置くように制御しなければならない。2つの制約を同時に満たしながら、動作が遂行される。移動途中の状態の監視は常に必要になる

Building "Shoobot" to remake its orbit using prediction and behavior

Hironori Mizuno, Masakatsu Kouroggi, Yukihide Kawamoto, Yoichi Muraoka, WASEDA University

点で、2つの動作は異なる。

このタスクの場合、1) 時系列に動的に変化する移動目標の決定、2) ボール制御のための移動軌道の修正という2つの課題を同時に解決しなければならない。1) は、目標が固定していると、固定ゆえに不必要な方向修正が生じ、効率的(観測上無駄に見える動き、結果余計に移動時間がかかる)でなくなる。そこで、フラグの周辺で移動する目標を動的にずらすことで、方向修正を避けるような行動を取る。2) は丸い身体で円形ボールを押し転がしても、身体に回り込むなどして一定には転がらないので、1) で決定する移動目標に合わせるように軌道の修正が必要になる。

Nomad200は、2自由度(前後、左右の操舵)による蛇行移動する。3輪は同期して回転するノンホロノミック機構(移動方向に制限がある)なので、ボールのずれに対して車輪の進行方向の修正はすぐにはできない。しかも、車輪の角度を戻している間にも、ボールは転がってしまうことから、ボールの進行からのずれには、移動目標を内部的にずらして対処させることが望ましい。局所的な軌道変化が大局の軌道目標を変化させ、大局的な目標が局所的なボール制御を行なう、互いに相互作用のあるタスクと見なせる。

ロボットは、身体位置の座標系、視覚フレームの座標系の2つの座標系が存在する。身体座標系とは、行動の初期化における車輪の進行方向をX軸、左手系で決まる座標系を指す。これで移動空間の目標は(x,y)の座標指定できる。視覚フレーム内で見つかるボールの重心位置を、に示したように誤差を伴うが、3次元空間の位置に変換して身体座標系で共有できる。つまり、ロボット、ボール、フラグ位置は全て身体座標系の上で共有でき、移動目標の推定が身体座標系の空間位置として与えることができる。

視覚座標系からの位置変換が容易になるように、身体座標系と並行にカメラをロボットの塔部下向き固定した。円形ロボットの先頭位置から左右30[cm]、前方50[cm]の範囲にボールが存在すれば観測できる。ボールは20cmの大きさしかないので、ボールの制御ができればすぐに見失ってしまう。

図1のように通過するフラグを2本おき、その間を縫って、最終的にゴールにボールを運ぶタスクを想定する。ロボットの移動目標は常に1つしか存在しない(複数あると軌道が分岐してしまう)。次の通過フラグに接触しないように移動することが重要と見なして、フラグから一定範囲(ロボット半径)の半径を描き、現在の位置からの接点を移動目標(T_n)として設定した。この目標に引いた半直線($R_n T_n$)を移動推定軌道とする。ロボットは自分の現在位置から推定される、目標を毎回更新(T_{n+1}, T_{n+2})する。これが、ドリブルの動作におけるFFに相当する。

ただ押すだけでは、ボールは左右にぶれてしまうので、移動推定軌道(更新された半直線)に対してFB[1]を行なってボールを戻そうとする。仮に移動目標が固定

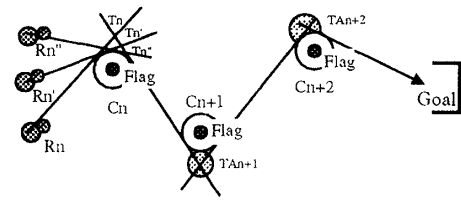


図1: Planning for dribbling

されている場合(直線方向のドリブル)には、時速2.2kmでボールを運ぶことが可能[1]になっている。フラグを通過した段階では、移動目標が次のフラグによって規定されてしまうので、この速度を維持することはできない。また移動目標に対するずれが大きくなってしまふ場合には、現在のFBを停止させて、ボールに周り込む動作を取って、目標に対する軌道上に戻す動作をする。この時系列の操作の結果は、図2の実際の軌道曲線として現れている。

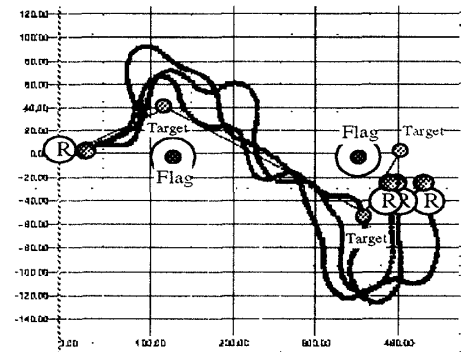


図2: Orbits after dribbling the ball

3. 議論とまとめ

サルが物を掴む場合、弾道的に手を伸ばす行為の途中で摂動を与えて止めると、元の軌道に少し戻ってから移動が始まる実証結果がある。埋め込まれた内部モデルによってFF利用を行なっている示唆[3]からすれば、座標系で捉えることがすぐに表象主義の現れと見なすべきかどうかは疑問である。むしろ内部モデルが充実することで、無駄のない効率的な運動を行なわせることが可能になることが理解できる。

本研究の場合、FBの利用は内部モデルがない場合に、状態(例えば見える角度を一定に保つように移動する)に追従する制御として利用した。視覚情報を空間の位置に変換できること、また内部モデルとしてはその位置と距離の操作ができることが、FFの利用できる条件であることが分かった。ボール、ロボットの状況によってFF/FBを使い分けることにより、2つの運動特性に向上が見られた。

参考文献

- [1] H.Mizuno et al: Building "shoobot" capable to dribble and shoot IROS,WS4,Pre-RoboCup (1996,11)
- [2] 水野他: 移動ボール先読み型 Shoobot の実現, 人工知能学会, 第2種情報統合研究会 (1996,7)
- [3] 川人光男: 脳の計算理論: 産業図書 (1996,3)