

Shoobot(Soccer Shooting Robot)の視覚系

3D-4

興梠 正克 水野 裕識 村岡 洋一

早稲田大学 理工学部

1. はじめに

実ロボットによるサッカープレーには、実時間でのボールまでの距離計測が必要である。本論文では、移動ロボットにおいて、カメラから得られる画像とロボットの移動情報にもとづいてボールまでの距離を算出する手法について述べる。

対象までの距離を計測する手法としては、両眼を使うステレオビジョンがあるが、この手法では事前に精密なキャリブレーションを必要とするほか、複雑な機構を必要とするため、実装が容易ではないという問題があった。

本論文では、ロボットが直線移動することによってボールまでの距離を計測する方法について述べ、それを実ロボットに実装してその有効性を実証する。

この手法では、以下のような利点がある。

- 精密なキャリブレーションを必要としない。
- 移動ロボットへの実装が容易である。

本手法を実ロボット Shoobot の上に実装した。その結果、計測する距離の1/15ほどの移動で、ボールまでの距離を実時間で得ることができた。また、この実装では、ボールまでの距離を計測する実験結果から、ここで提案する手法が根拠とする理論値によく合致していること示された。

2. 距離計測の手法

ここでは、距離を計測するために必要な行動と、距離を算出するための手順、およびその理論的な背景について述べる。

2.1 ロボットとその視覚系について

ロボットは以下の条件を満たしているとする。

- 一つのカメラがロボットの体に固定して据え付けである。
- カメラの視線方向をロボットの中心を軸にして水平方向に回転させることができる。
- ロボットの視覚系は、捉えるべき対象の画像中の位置を得ることができる。

2.2 距離計測のための行動

ロボットは、距離を計測するために、次のような行動を取る。

1. カメラの視線方向をボールに向ける。
2. この視線方向を変えずに、この方向に対して一定の角度 α をなすような方向を進行方向として直線移動する。

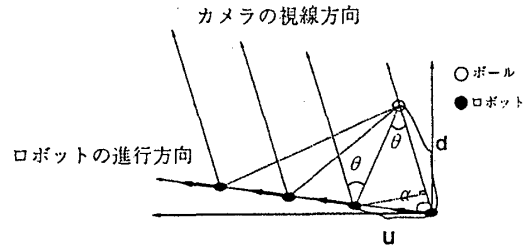


図1: ロボットの取る行動

ボールまでの距離を d とし、ロボットが移動した距離を u 、その時にできる視差を θ とすれば、式(1)が成り立つ。

$$d = (\cos \alpha)u + \frac{\sin \alpha}{\tan \theta}u \quad (1)$$

また、ピンホールカメラのモデルより y を画像の中心位置からの水平方向へのずれとして、 c をカメラにより決まる定数とすれば、

$$y = c \tan \theta \quad (2)$$

が得られる。したがって、両式より

$$y = \frac{c(\sin \alpha)u}{d - (\cos \alpha)u} \quad (3)$$

が得られる。本手法はこの式に基づいている。

2.3 距離の算出

原理的には1組の (u, y) の計測結果があれば、そこから距離を算出することができるはずである。しかしながら、本手法は複数のデータを統合することで、個々のデータだけでは得られない高い精度を実現する。

このロボットは、図1で示すような直線移動を取りながら、画像のずれ y_i と移動距離 u_i の組 (i は測定データの番号) を測定する。ここで集められたデータに対して最小二乗法を適用することで、

$$y_i = \frac{c(\sin \alpha)u_i}{d - (\cos \alpha)u_i} \quad (4)$$

への当てはめを行なう。この結果として得られた数値 \hat{d} を距離とする。

3. 実ロボットへの実装

上で述べた距離計測の手法を Shoobot に実装した。ここでは、この実装と式 (3) におけるカメラの定数の計測について述べる。

3.1 視覚系の仕様

本実装では、CCD カメラが視線を約 20 度だけ見下ろすように、ロボットの胴体に据えつけられている。このカメラからの画像は、画像処理ボード（日立製作所 IP2000）に送られ、そこでボールの画像中のずれ y_i が求められる。また、Shoobot は、車輪の回転量から移動距離 u_i を計測することができる。

3.2 カメラ定数について

本手法を実装するためには式 (3) における定数 c の値が必要である。この定数を求めるためには、ボールを事前に測定しておいた位置に置き、ロボットに 2.2 節で述べた距離計測のための行動を取らせる。これによって計測されたデータの組 (u_i, y_i) から式 (4) に対する当てはめを行なうことでこのカメラ定数 c を算出できる。

4. 実験とその結果

本手法を実装したシステムがボールの距離を計測する実験をおこなった。ここでは、進行方向の角度は一定のままで、ボールまでの距離を変えて計測する実験と、距離は一定のままで、進行方向の角度を変えて計測する実験の二つについて、その結果とグラフを示す。

4.1 距離を変えた場合

ボールをロボットから 2~4m の位置においた場合、誤差 $\pm 5\text{cm}$ 以内で距離を求めることができた。図 2 は進行方向の角度を 45 度としたときの実験結果である。上から順に $d = 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0[\text{m}]$ のときに得られた (u_i, y_i) の実測値とその理論値のグラフを示す。このグラフでは実測値は点で、理論値は線で表されている。

また、計測に必要な移動距離に関しては、角度を 90 度とした場合の別の実験より、測定する距離の $1/15$ で十分であると定量的に確認された。

4.2 進行方向の角度を変えた場合

進行方向の角度が 20 度から 90 度の間である場合は、いずれも誤差 $\pm 5\text{cm}$ 以内で距離を求めることができた。しかしながら、 $\alpha < 20[\text{deg}]$ では距離を正しく得ることはできなかった。図 3 には、ボールまでの距離を 3.5 m としたときの、上から順に $\alpha = 90, 75, 60, 45, 30, 20, 10[\text{deg}]$ のときに得られた (u_i, y_i) の実測値とその理論値のグラフが示されている。(なお、このグラフでは $\alpha = 90$ と $\alpha = 75$ の理論値とその周辺にある実測値がほとんど重なっている。)

進行方向の角度が 90 度から 60 度にかけては、理論値と実測値のグラフはほとんど変化していない。この

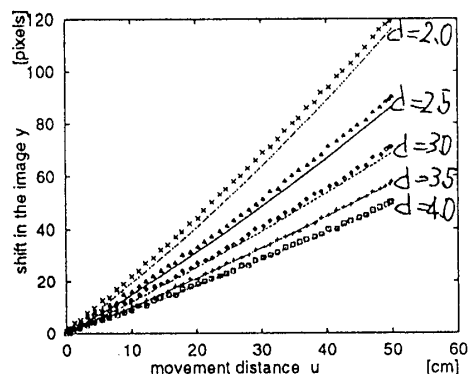


図 2: ボールまでの距離ごとの実験結果

角度がより小さくなると、二つとも大きく下にシフトしていることが分かる。

すなわち、進行方向の角度が 90 度に近ければ、 α に多少のずれがあつたとしても、距離計測の誤差には反映されないが、この角度が小さくなってくると、そのずれが大きな計測誤差に反映される。

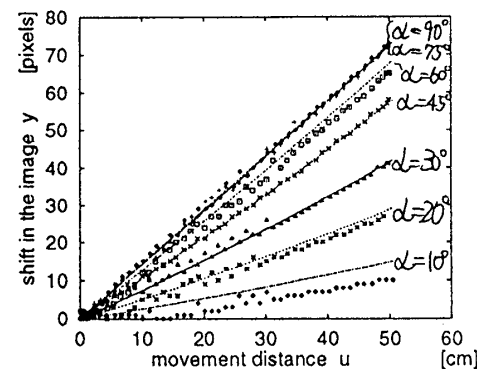


図 3: 進行方向の角度ごとの実験結果

4.3 本手法の有効性

二つのグラフから、ここで得られた計測結果は本手法が根拠とする式 (3) から得られる理論値と合致していることが分かり、その式の正当性を裏付けている。

5. 結論

本論文では、ロボットが動きを作り出すことにより、対象までの距離を測定する手法について述べた。この手法は、精密なキャリブレーションを必要とせず、移動ロボットへの実装が容易であるという利点がある。サッカープレーへの適用では、より効率的な行動を作り出す上で役に立つだろう。

参考文献

- [1] Bajcsy, R. Active perception. Proceedings of the IEEE, 76:996-1005, 1988.
- [2] Dana, H. Ballard. Animate Vision. AI, 48:57-86, 1991.