

全方位カメラとデッドレコニング機能を有するサッカーロボットのロバストな自己位置同定手法

LMedS 法を用いたランドマークの対応付け

倉爪 亮(九州大学) 長谷川 勉(九州大学)

Robust positioning method for soccer robots using omni camera and dead reckoning Use of LMedS method for landmark correspondence

*Ryo Kurazume (Kyushu University) Tsutomu Hasegawa (Kyushu University)

Abstract— In this paper, a robust positioning system is proposed for soccer robots equipped with an omni-directional camera and wheels. The robot identifies its own position by observing some landmarks placed around the field through an omni-directional camera, and by counting rotation of wheels. As a first step of robust positioning, LMedS method is utilized for making correct correspondence between observed directions and landmarks.

Key Words: RoboCup, Positioning, Landmark, LMedS method, Omni-directional camera

1. はじめに

近年、ロボカップに代表されるロボットコンテストが世界各地で盛んに開催されている¹⁾。これらのコンテストの中には、ロボカップ中型リーグなど、競技開始後はオペレータは全く介入せず、各々のロボットが自己、周囲のロボット、あるいはボールの位置を測定し、自律的に判断し行動するものも含まれている。このようなロボットにおいて、適切な行動戦略の立案と実行のためには、正確な自己位置同定の実現は最も基本的かつ重要な問題である。

そこで本報告では、全方位カメラを有するロボカップ用サッカーロボットに対して、全方位画像から得られた複数のランドマークの方位情報と地図上のランドマークの番号を、LMedS (The Least Median of Squares) 法を用いて対応付ける手法を示す。

2. 観測されたランドマーク方位とランドマーク番号の LMedS 法を用いた対応付け手法

ロボカップ中型機リーグでは、フィールドの四隅に置かれたボールや敵、味方のゴールがそれぞれ特定のパターンで色付けされており、どのボールやゴールが観測されたかは画像から決定できる。しかしより一般的には、視覚センサからランドマークの方位は観測されるが、そのランドマークが地図上のどの番号のランドマークに対応するかは未知である場合も考えられる。これには、フィールド境界を表すボールが同じ色パターンを有し識別不可能である場合だけではなく、例えば味方のロボットを観測してその方位が得られたが、そのロボットがチーム内のどのロボットかはわからない場合なども含まれる。このような状況では、まず観測された複数のランドマークの方位情報と、観測時点のランドマークの位置と番号を記した地図から、方位情報とランドマーク番号の対応関係を決定しなければならない。しかし観測された方位にはランドマークと見間違っただけの対象物を観測した情報も含まれる可能性

があり、これらに対応付けの過程で適切に取り除く必要がある。

そこで本報告ではこの問題に対し、非線形最適化手法の一手法である LMedS 法 (The Least Median of Squares) を適用することで、観測誤差にロバストな対応付けを行う手法を提案する。

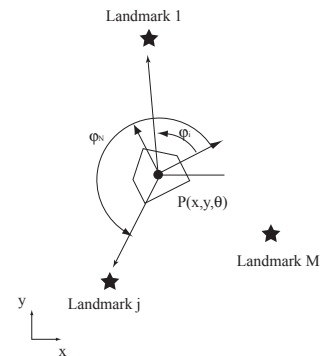


Fig.1 Positioning in case that correspondance of landmark number and observed direction is unknown

まず、Fig.1 に示すように、環境に位置が既知の M 個のランドマークが存在し、またある時刻で N 個のランドマークが観測され、それぞれ方位 $\phi_i, i = 1 \sim N$ が与えられたとする。本報告で提案する対応付け手法は以下のようなものである。

1. まず、 M 個のランドマークからランダムに 3 つのランドマークを選択する。
2. 観測された N 個の方位から同様に 3 つの方位を抜き出し、これらと 1 で選択したランドマークの設置位置から、付録 A に示す方法でロボットの位置姿勢 P_k を計算する。
3. 残りの $N - 3$ 個の観測方位 ϕ_i に対して、(2) で計算されたロボットの位置姿勢 P_k から他の $M - 3$ 個のランドマークの推定観測方位 $\phi'_j, j = 1 \sim M - 3$

を計算し、実際の観測方位 ϕ_i に最も近い推定観測方位を有するランドマークを選択する。このとき、実際の観測方位と選択されたランドマークの推定観測方位の二乗残差 $E_{k,i} = (\delta\phi_i)^2$ を計算する。

4. (3) をすべての観測方位に対して行い、得られた二乗残差 $E_{k,i}, i = 1 \sim N - 3$ の中間値 $E_{k,med} = med_i E_{k,i}$ を求め、この逆数をロボットの位置姿勢 P_k の計算の確からしさ $REL_k = \frac{1}{E_{k,med}}$ と定義する。
5. (2)~(4) をすべての観測方位の組み合わせに対して行い、確からしさが最大となるロボットの位置姿勢 $P_{max} = \max_{REL_k} P_k$ を計算する。
6. (1)~(5) を確からしさの最大値がある閾値を超えるまで繰り返す。

本手法はすなわち、観測残差の中間値を最小にするように最適な組み合わせを決定する手法

$$P_{max} = \max_{REL_k} med_{E_{k,i}} P_k \quad (1)$$

である。もし (1) で切り出されたランドマークの番号と、(2) で選択された観測方位が正しく組み合わせられている場合には、(3) で計算される二乗残差の大部分は小さな値になるはずである。しかし中には間違った対象物を観測した場合など、観測方位自体に大きな誤りが含まれている場合も考えられ、これに対する二乗残差は大きな値となる。従って単純にすべての二乗残差の和を計算の確からしさとする、大きな値を有する少数の二乗残差の影響を強く受け、正しい組み合わせが求められない場合が考えられる。これに対し、このような場合でも大部分の観測が正しい場合には、二乗残差の中間値は小さな値になるはずである。そこでこのように観測残差の中間値を最小にする観測方位とランドマークの組み合わせを求めることで、例えば間違った対象物の観測データなど、大きな観測誤差を含むデータの影響を受けることなく、正しい組み合わせを見つけることができる。

3. サッカーロボットを用いた位置同定実験

Fig.2 に示すロボカップ 2002 中型機部門のフィールドとランドマーク ($L_0 \sim L_7$) に対して、提案したアルゴリズムの性能評価実験を行った。使用したロボットは、九州大学で製作したロボカップ用サッカーロボット (Fig.3) である⁶⁾⁷⁾⁸⁾。このロボットは、全方位カメラ、画像処理ボード (日立製, IP-5005)、ボードコンピュータ (Celeron 700MHz)、無線 LAN を搭載し、ロボット下部には駆動輪と独立にデッドレコニング用の受動車輪を装備している。以下の実験では、ロボットがおよそ (5000[mm], 4000[mm], 180[deg.]) の位置で静止した状態で行った。

まず、全方位画像から複数のランドマークの方向が観測されたとき、観測方位とランドマーク番号の対応付けを決定する実験を行った。実際にはランドマークに描かれた色模様によりランドマークの対応付けは可能であるが、ここではより一般的な場合として、画像情報からでは対応付けができないものと仮定した。計測データの一例を Table 1 に示す。この場合、設置されている 8 個のランドマーク中、計測されたランドマークは

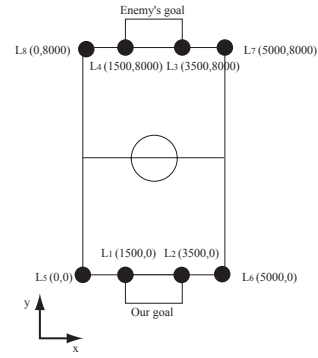


Fig.2 Field and landmark arrangement for middle-size robot league at RoboCup 2002

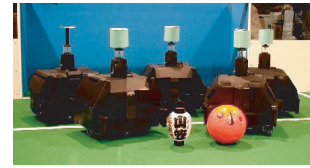


Fig.3 Soccer robot for middle-size robot league

$L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_7$ の 6 つであり、それぞれの観測方位を $O_1 \sim O_6$ とした。すなわち、正しい対応付けは、 $(L_1, O_1), (L_2, O_2), (L_3, O_3), (L_4, O_4), (L_6, O_5), (L_7, O_6)$ である。ただし敵ゴールポスト端であるランドマーク L_3 に対しては、実際には誤った対象物を計測していたため、 L_3 の測定方位は不正確である。

Table 1 Direction of landmarks

No.	Landmark	x [mm]	y [mm]	direction [deg]
O_1	L_1	1500	0	52.2
O_2	L_2	3500	0	72.0
O_3	L_3	3500	8000	-66.6
O_4	L_4	1500	8000	-59.4
	L_5	1500	8000	N/A
O_5	L_6	1500	8000	93.6
O_6	L_7	5000	8000	-88.1
	L_8	1500	8000	N/A

対応付けの過程を Table 2 に示す。これより 4 回目の繰り返しで正しい対応付けを発見していることがわかる。

Table 2 Procedure of correspondance calculation

N.	Landmarks	Ovservations	(x,y, θ)	REL
1	L_1, L_5, L_2	O_1, O_2, O_4	2461.9,-678.9,150.4	5.21
2	L_7, L_5, L_4	O_1, O_6, O_5	946.5,4712.5,-13.2	8.58
4	L_6, L_2, L_7	O_5, O_2, O_6	4937.3,3812.2,177.7	31.8
12	L_1, L_3, L_7	O_1, O_3, O_6	4993.7,4209.0,178.2	35.3
57	L_1, L_6, L_3	O_1, O_5, O_3	4973.1,3993.4,177.0	55.9

4. おわりに

本報告では全方位画像センサを有するサッカーロボットに対し、LMedS法を用いたランドマークの対応付け法を提案した。この情報を用いたより高精度な位置同定手法については、次報⁹⁾で報告する予定である。

参考文献

- 1) 中村:”実機ロボットリーグの現状と今後の課題”日本ロボット学会誌, Vol.20, No.1, pp.11-14, 2002.
- 2) C.F. Marques and P.U. Lima:”A Localization Method for a Soccer Robot Using a Vision-Based Omni-Directional Sensor”, In RoboCup2000 : Robot Soccer World Cup IV, pp.96-107, 2001
- 3) F.M. Marchese and D.G. Sorrenti:”Omni-directional Vision with a Multi-part Mirror”, In RoboCup2000 : Robot Soccer World Cup IV, pp.178-188, 2001.
- 4) T. Nakamura, M. Oohara, A. Ebina, M. Imai, T. Ogasawara, and H. Ishiguro: ”Real-Time Estimation Spatial Configuration Between Multiple Robots by Triangle and Enumeration Constraint”, In RoboCup2000 : Robot Soccer World Cup IV, pp.219-228, 2001.
- 5) 辻, 八木, 谷内田:”方位視覚センサを用いたロバストな環境マップ生成と自己位置推定”, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.1, pp.59-67, 2002.
- 6) 井上純一, 山口祐規, 杉本卓也, 松岡毅, 牛見宣博, 山本元司:”自律型サッカーロボットの開発-第一報 ハードウェアおよびソフトウェア-”, 第20回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集 pp.41-42,2001
- 7) 山口祐規, 井上純一, 杉本卓也, 松岡毅, 桐木利弘, 長谷川勉:”自律型サッカーロボットの開発-第二報 全方位ビジョンとデッドレコニングの組合せによる自己位置同定-”第20回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集 pp.13-14,2001
- 8) 杉本卓也, 荒岡学, 榊直浩, 井上純一, 山口祐規, 山本元司, 長谷川勉:”自律型サッカーロボットの開発-第三報 通信負荷分散を目的とした複数ロボット間の情報巡回型通信方式-”第20回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集 pp.99-100,2001
- 9) 倉爪, 長谷川, ”全方位カメラとデッドレコニング機能を有するサッカーロボットのロバストな自己位置同定手法-メディアフィルタによる誤観測情報の除去と非線形最尤推定法の適用-”, 第20回日本ロボット学会学術講演会講演予稿集, 2002

A 3つのランドマークの観測による位置計算法

Fig.4に示すように、位置が既知のランドマークA,B,Cが観測されたときに、ロボットXの位置を計算する手法を示す(Cassiniの解法)。ただしここでは、全方位画像から各ランドマーク間の角度 ϕ_1, ϕ_2 が測定されたとする。

ABX, およびCBXを通る円O,O'を考え、BからO,O'の中心を通る線を引き、O,O'との交点をD,Eとする。このとき、 $\angle BAD = 90^\circ, \angle BCE = 90^\circ, \angle BXA = \angle BDA = \phi_1, \angle BXC = \angle BEC = \phi_2$ である。また、 $\tan \bar{BD}$ をB,Dを結ぶ線の方位角とすると、

$$y_B - y_D = (x_B - x_D) \tan \bar{BD} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} y_A - y_D &= (x_A - x_D) \tan \bar{AD} \\ &= (x_B - x_D) \tan \bar{AD} + (x_A - x_B) \tan \bar{AD} \end{aligned} \quad (3)$$

であるから、両式を引くことで、

$$y_B - y_A = (x_B - x_D)(\tan \bar{BD} - \tan \bar{AD}) - (x_A - x_B) \tan \bar{AD} \quad (4)$$

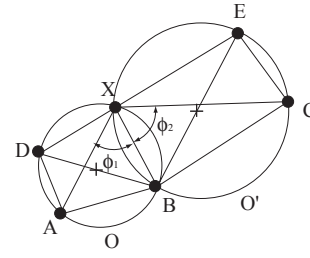


Fig.4 Positioning by measuring the directions of landmarks A, B, and C.

となる。よって、Dの位置は

$$x_D = x_B + \frac{y_A - y_B - (x_A - x_B) \tan \bar{AD}}{\tan \bar{BD} - \tan \bar{AD}} \quad (5)$$

$$y_D = y_B + \frac{y_A - y_B - (x_A - x_B) \tan \bar{AD}}{\tan \bar{BD} - \tan \bar{AD}} \tan \bar{BD} \quad (6)$$

と求められる。ここで、 $\tan \bar{AB} = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}$ であり、 $AD \perp AB$ から $\tan \bar{AD} \tan \bar{AB} = -1$ である。さらに $\angle ABD = \bar{AB} - \bar{BD} = 90^\circ - \phi_1$ より、

$$\begin{aligned} \tan \bar{BD} &= \tan(\bar{AB} + \phi_1 - 90^\circ) \\ &= -\cot(\bar{AB} + \phi_1) \\ &= -\frac{1 - \tan \bar{AB} \tan \phi_1}{\tan \bar{AB} + \tan \phi_1} \end{aligned} \quad (7)$$

であるから、これらを式(5),(6)に代入して整理すると、

$$\begin{aligned} x_D &= x_B + \frac{y_A - y_B - (x_A - x_B) \tan \bar{AD}}{\tan \bar{BD} - \tan \bar{AD}} \\ &= x_A + (y_A - y_B) \cot \phi_1 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} y_D &= y_B + \frac{y_A - y_B - (x_A - x_B) \tan \bar{AD}}{\tan \bar{BD} - \tan \bar{BD}} \tan \bar{AD} \\ &= y_A - (x_A - x_B) \cot \phi_1 \end{aligned} \quad (9)$$

となる。同様に、Eについても

$$x_E = x_C + (y_C - y_B) \cot \phi_2 \quad (10)$$

$$y_E = y_C - (x_C - x_B) \cot \phi_2 \quad (11)$$

となる。

さて、ここでXをB,Dから求めることを考えると、式(5),(6)と同様に、

$$x = x_D + \frac{y_B - y_D - (x_B - x_D) \tan \bar{BX}}{\tan \bar{DX} - \tan \bar{BX}} \quad (12)$$

$$y = y_D + \frac{y_B - y_D - (x_B - x_D) \tan \bar{BX}}{\tan \bar{DX} - \tan \bar{BX}} \tan \bar{DX} \quad (13)$$

となる。ここで、 $BX \perp DX$ であり、またD,X,Eは一直線上にあるから、 $\tan \bar{BX} \tan \bar{DE} = -1, \tan \bar{DX} = \tan \bar{DE}$ となる。これらを代入して整理すると、

$$x = x_D + \frac{y_B - y_D + (x_B - x_D) \cot \bar{DE}}{\tan \bar{DE} + \cot \bar{DE}} \quad (14)$$

$$y = y_D + \frac{y_B - y_D + (x_B - x_D) \cot \bar{DE}}{\tan \bar{DE} + \cot \bar{DE}} \tan \bar{DE} \quad (15)$$

となる。ただし、

$$\begin{aligned} \tan \bar{DE} &= \frac{y_D - y_E}{x_D - y_E} \\ &= \frac{(y_A - (x_A - x_B) \tan \phi_1) - (y_A - (x_C - x_B) \tan \phi_2)}{(x_A + (y_A - y_B) \tan \phi_1) - (x_A + (y_C - y_B) \tan \phi_2)} \\ &= \frac{-(x_A - x_B) \tan \phi_1 + (x_C - x_B) \tan \phi_2}{(y_A - y_B) \tan \phi_1 - (y_C - y_B) \tan \phi_2} \quad (16) \end{aligned}$$

である。またロボットの方位 θ は、Fig.5 に示すようにランドマーク A(又は B,C) の観測された方向を ψ_A とすると、

$$\psi_A + \theta = \tan^{-1} \frac{y_A - y}{x_A - x} \quad (17)$$

で求められる。

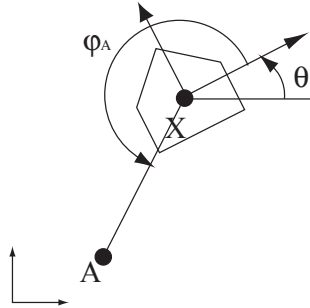


Fig.5 Calculation of robot orientation