

graph-based SLAM の解説

千葉工業大学 上田隆一

2017 年 4 月 16 日

1 はじめに

この文章は、[1] などのチュートリアルを見ても数式の細かいところ分からない graph-based SLAM について、実際の計算方法を細かく解説するためのものです。

2 問題

平面上を移動し、向きを持ち、カメラでランドマーク観測ができるロボットで graph-based SLAM を実行する方法を考える。ランドマークは環境にいくつか存在し、ロボットからは互いに識別でき、距離と見える方角が観測できる。また、2 つの観測がどの方角から観測されたものか、相対的に分かるものとする。

2.1 ロボットの姿勢と座標系

世界座標系 Σ_w におけるロボットの姿勢（位置と向き）を

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

で表す。また、 $[x \ y]^T$ を原点として、 X 軸が世界座標系で θ の方向を向いているロボット座標系 Σ_r を考える。これらの関係を図 1 に示す。

離散的な時刻 $t = 0, 1, 2, \dots, T$ を考える。時刻の集合を \mathcal{T} で表す。時刻 t における世界座標系でのロボットの姿勢を \boldsymbol{x}_t で表す。ロボットはデッドレコニングで \boldsymbol{x}_t の推定値 $\hat{\boldsymbol{x}}_t$ を認識するが、ロボットの動作は雑音の影響を受けるため、 \boldsymbol{x}_t と $\hat{\boldsymbol{x}}_t$ の間には誤差が発生する。

ロボットは一つの行動ごとに $\hat{\boldsymbol{x}}_t$ を記録していく。全時刻の推定姿勢を

$$\hat{\boldsymbol{x}}_{0:T} = \{\hat{\boldsymbol{x}}_0, \hat{\boldsymbol{x}}_1, \dots, \hat{\boldsymbol{x}}_T\} \quad (2)$$

と表すこととする。

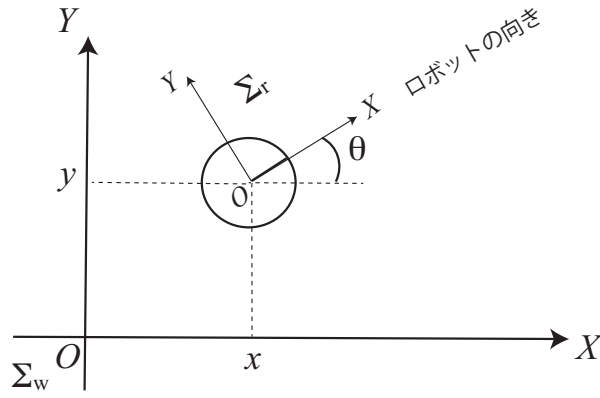


図1 世界座標系とロボットの姿勢

2.2 観測

環境中にいくつかランドマークが存在していると仮定する。時刻 t におけるロボット座標系 Σ_r を Σ_{rt} と表すこととすると、ロボットには、時刻 t において、全ランドマークのうちいくつかを計測する。

2.2.1 ランドマークの識別

ロボットからは、一度観測したランドマークは、後の時刻で観測したときに、どのランドマークが識別できることとする。ロボットは観測したランドマークに ID を与えて管理することにする。ID は c と表し（番号でも文字列でもなんでも良い）、ID として c を与えられたランドマークを L_c と表す。ロボットが認識しているランドマークの ID の集合を C で表す。

2.2.2 ランドマークの位置計測

ロボットは Σ_{rt} においてランドマーク L_c を観測したとき、 L_c までの距離 $d_{c,t}$ と、ランドマークが見える方向 $\varphi_{c,t}$ を計測値として得る。図2にこれらの記号の関係を示す。

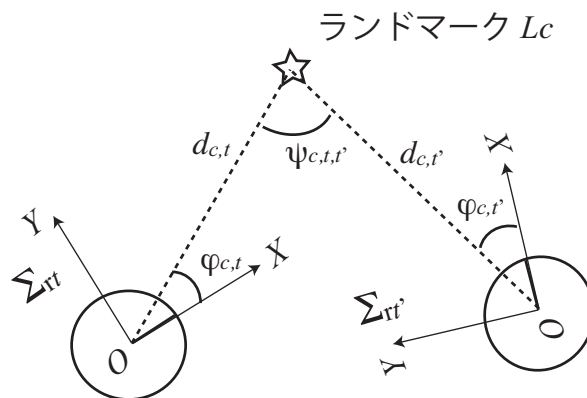


図2 計測値

また、ランドマークにはなんらかの模様がついていて、2箇所からの計測値から、ランドマーク

の面を観測したか相対的に分かると仮定する。この相対的な向きの差を図 2 のように $\psi_{c,t,t'}$ と表す。向きは、 θ, φ, ψ 共に反時計回りを正とする。

2.2.3 計測値の記録

ロボットが時刻 t で得るランドマーク全ての計測値の集合は、 $Z_t = \{z_{c,t} = (d_{c,t}, \varphi_{c,t}) | c \in C, c: \text{観測したランドマークの ID}\}$ で表すことができ、これもロボットは各時刻ごとに記録する。 Z_t の集合を $Z_{0:T}$ で表す。

また、 ψ の計算のため、センサからの生データ（ランドマークを写したカメラ画像などの元データ）も保存しておく。元データからは、ロボットの行動後に、 ψ の計測値の集合 $\Psi = \{\psi_{c,t,t'} | \forall c \in C, \forall t \in \mathcal{T}, \forall t' \in \mathcal{T}, t \neq t'\}$ を作る。

2.3 完全 SLAM 問題

ここで、 $Z_{0:T}, \Psi$ から、推定値 $\hat{\mathbf{x}}_{0:T}$ を真値 $\mathbf{x}_{0:T}$ に近づける最適化問題を考える。最適化のための評価関数については後述する。

3 graph-based SLAM の実装例

参考文献

- [1] Grisetti, G., Kümmerle, R., Stachniss, C. and Burgard, W.: A Tutorial on Graph-Based SLAM, *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol. 2 (2010), 31–43.