

GPS による相対位置計測にもとづく複数自律移動体の屋外ナビゲーション Cooperative outdoor navigation of multiple mobile robots using relative positioning by GPS and dead reckoning

松本 高斉 (筑波大学) 正 大矢 晃久 (筑波大学)

正 油田 信一 (筑波大学)

Kohsei MATSUMOTO, Akihisa OHYA and Shin'ichi YUTA

University of Tsukuba

The purpose of this research is to realize cooperative navigation in outdoor environment. This method uses GPS(Global Positioning System) data and internal sensor data(wheel encoders) of each robot and will be applied to improve the relative positioning accuracy by compensating the error of each sensor data. The measurement accuracy of positioning by GPS is improved by the principle of relative positioning between GPS receivers. In this paper, position estimation method in common coordinate among robots and navigation strategy to arrive at a destination point for multiple robots are described.

keywords cooperative navigation, multiple robots, outdoor, GPS

1 はじめに

作業効率などの観点から複数の移動体による屋外ナビゲーションは搬送作業などへの応用が期待される。しかし、天候の変化や障害物などの外乱の多い屋外環境において、移動体同士が位置推定を行なうことは一般に困難であり、協調的なナビゲーションの実現を難しくしている。

屋外において移動体の位置を得る手段として GPS が挙げられる。GPS の単独測位による絶対位置の誤差は約 100m と言われており、移動体への適用においてはその精度が問題となるが、複数の GPS 受信機を用いた相対測位により位置精度が向上することが知られている。

本研究の目的は GPS による複数の車輪型移動ロボットの位置推定にもとづく屋外ナビゲーションを実現し、その実現を通して「屋外環境における複数ロボットの位置推定方法」と「複数ロボットによる屋外ナビゲーションにおける他のロボットへの追従方法」を提案することである。

2 複数ロボットによるナビゲーションのためのロボットシステム

Fig.1にシステムの全体構成を示す。システムはリーダーロボットの操作者部分と操作されるリーダーロボット、リーダーロボットに自律的に追従動作するフォロワーロボットから成る。各ロボットは GPS の情報、オドメトリによる推定位置を取得可能であり、無線モデムによりロボット間で情報を共有する。

フォロワーロボットは自己の GPS 情報とリーダーロボットの GPS 情報を用いてロボット間の相対位置計測を行なう。相対位置の計測結果は最尤推定法によりオドメトリによる推定位置と融合され、求めた推定位置をもとにリーダーロボットに追従する走行制御を行なう。

3 GPS による複数ロボットの位置推定

3.1 推定する情報

リーダーロボットの推定位置情報を用いてフォロワーロボットが追従動作を行なう場合には相対位置を保つことが要求される。本ロボットシステムでは、リーダーロボットの持つ GL(Global)座標系を共通の座標系とし各ロボットの位置を推定し、相対位置を求める。

3.2 デッドレコニングによる位置推定

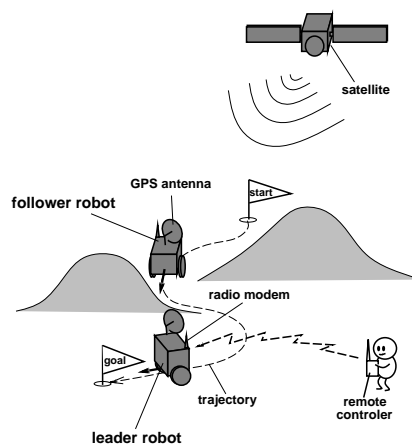


Fig 1: Multiple robot navigation system by using GPS

Fig.2に本システムで用いる座標系のモデルを示す。東西南北を示す座標軸として E 軸、N 軸を正方向とする E, W, S, N を持つ座標は、GPS における楕円体座標系を直角平面座標系に変換したものであり、これを GPS 座標系と定義する。また、GL 座標系における y 軸と GPS 座標系における N 軸のなす角度を GL 座標系の方位角 γ と定義する。このとき、二次元平面上での位置・姿勢情報ベクトルを

$$\mathbf{P}[t] = [x[t] \ y[t] \ \theta[t] \ \gamma[t]]^T \quad (1)$$

と定義する。このときの推定位置の更新式は

$$\mathbf{P}[t + \tau] = \mathbf{P}[t] + \tau \mathbf{V}[t] \quad (2)$$

\mathbf{V} : vector of velocity and angular velocity

τ : sampling time interval

により表現される。また、誤差共分散更新式は

$$\Sigma_P[t + \tau] = \mathbf{J} \Sigma_P[t] \mathbf{J}^T + \mathbf{K} \Sigma_V[t] \mathbf{K}^T + \tau^2 \Sigma_N[t] \quad (3)$$

\mathbf{J}, \mathbf{K} : Jacobian matrices of function(2)

Σ_P : error covariance of position

Σ_V : error covariance of velocity and angular velocity

Σ_N : noise

により表現される [1]。なお、方位角 γ の誤差はリーダーロボットの移動量に応じて増加する。

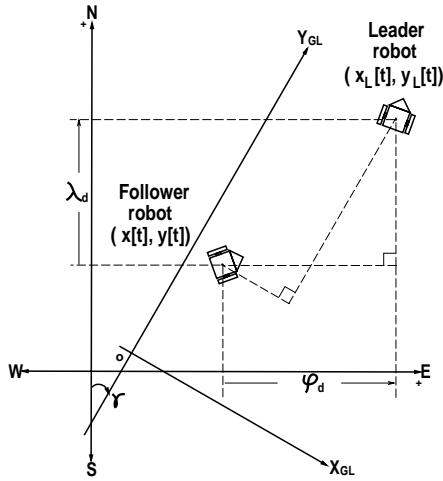


Fig 2: Relationship between a Leader robot's GL coordinate and GPS coordinate

3.3 GPSによる相対位置計測手法の複数ロボットへの適用

無線通信によりロボット間で共有しているGPS情報を用いることで、フォロワーロボットとリーダーロボットが同時に測位を行ない、また測位に使用しているGPS衛星が全て一致している場合は相対測位を行ない、相対緯度・経度による相対位置 (φ_d, λ_d) が求まる [2]。相対位置はセンサー情報としてフォロワーロボットのオドメトリ情報との融合することにより、位置推定に用いられる。

Fig.2はGPSによりフォロワーロボットとリーダーロボット間で測位を行ない、フォロワーロボットを基準としてリーダーロボットの相対位置を表した実験結果である。y軸方向が北向きで、原点位置のフォロワーロボットに対して5m北の位置にリーダーロボットを設置して測位している。絶対位置の測位で一般に約100m程度あると言われる誤差が相対測位により最大で5m程度になっている。オドメトリによる誤差に対してかなり大きい、ロボットの移動につれて増加するオドメトリの誤差を徐々に相殺する効果を持つと考えられる。

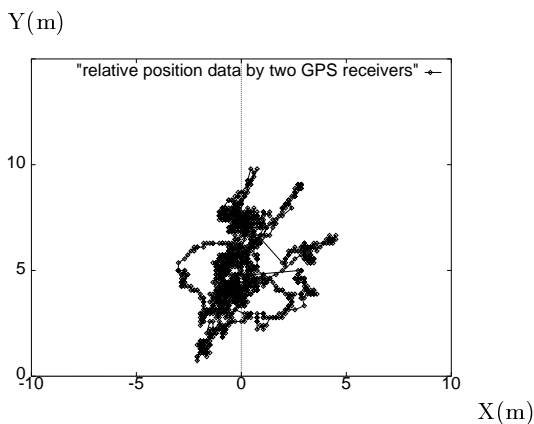


Fig 3: Relative position data of two GPS receivers

3.4 GPSによる相対測位を用いた位置推定

GL座標系でのリーダーロボットの位置を (x_L, y_L) と二台のロボットの各GPSによる相対位置 (φ_d, λ_d) を合わせて観測ベクトル s と定義すると

$$s = [x_L \ y_L \ \varphi_d \ \lambda_d]^T \quad (4)$$

と表せる。Fig.2より各ロボットの位置・姿勢情報ベクトル $P[t]$ とGPSによる観測ベクトル s の間に幾何学的な関係として、

$$g[P[t], s] = \begin{bmatrix} (x - x_L) + (\varphi_d \cos \gamma - \lambda_d \sin \gamma) \\ (y - y_L) + (\varphi_d \sin \gamma + \lambda_d \cos \gamma) \end{bmatrix} = \mathbf{0}_{2 \times 1} \quad (5)$$

が成り立つ。フォロワーロボットの位置の誤差共分散の更新式は最尤推定法により、

$$\Sigma_f = \{\Sigma_p^{-1} + \mathbf{J}'_p^T \Sigma_{su}^{-1} \mathbf{J}'_p\}^{-1} \quad (6)$$

Σ_f : corrected error covariance

Σ_{su} : transformed covariance matrix of $g[P[t], s]$

\mathbf{J}'_p : Jacobian matrices of function(5)

となり、また推定位置の更新式は、

$$P_f = P + \Sigma_f \mathbf{J}'_p^T \Sigma_{su}^{-1} P_{su} \quad (7)$$

Σ_{su} : error vector of $g[P[t], s]$

P_f : corrected position after fusion

により表される。以上により、ロボット間で共有するGL座標系におけるリーダーロボットに対するフォロワーロボットの位置とその誤差共分散、およびGL座標系の方位角が推定される。

4 フォロワーロボットによるリーダーロボットへの追従動作

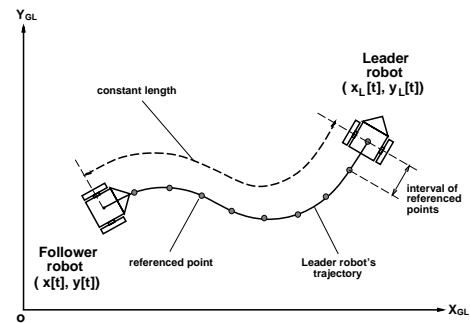


Fig 4: Following motion to Leader robot

リーダーロボットはGL座標系における推定位置 (x_L, y_L, θ_L) を1秒毎に無線モデムにより送信する。フォロワーロボットは受信したリーダーロボットの推定位置から移動距離を計測し、一定距離毎にリーダーロボットの通過した位置を記録していく。

フォロワーロボットによるリーダーロボットへの追従動作は、記録されたリーダーロボットの位置を順次通過するような走行制御により実行される。また、フォロワーロボットはリーダーロボットとの距離間隔を一定範囲内に収めるように動作させる。

5 まとめ

本稿では複数移動ロボットの屋外ナビゲーションの実現を目標として、ロボット間の相対位置計測方法及び位置推定方法、他のロボットの推定位置を用いた通過経路への追従方法の提案を行った。今後は屋外実験により提案した手法の有効性を検討していく。

参考文献

- [1] 前山祥一, 大矢晃久, 油田信一, “移動ロボットの屋外ナビゲーションのためのオドメトリとジャイロのセンサ融合によるデッドレコニング・システム”, 日本ロボット学会誌, Vol.15 No.8, pp.84-91, 1997.
- [2] 日本測量協会編, “GPS測量の基礎 テキスト”, 日本測量協会.