

無線通信にむだ時間がある車輪型全方向移動ロボットのモデル予測制御に関する研究

情報科学科 日下部 宏幸

指導教員：成瀬 正，伊藤 正英

1 はじめに

ロボカップサッカー小型リーグは、1 チーム 6 台の車輪型全方向移動ロボットを無線通信による指令のもと自律制御させるサッカー競技である。活発な研究・開発によって、ロボットは高速で正確な動きが可能となり、戦略はますます高度化している。特に、複数台ロボットの連携プレーに着目すると、各ロボットが受け身でボールを回すというこれまでの主流から、動きながらのボール回しにシフトしつつある。この発展にはより高精度な運動制御が要求される。

モデルに基づく予測を取り入れた制御手法として、モデル予測制御 (Model Predictive Control; MPC) が注目されている。ロボカップサッカーにおいても、小型リーグや中型リーグでの適用例 [2,3] がある。しかしながら、これらの先行研究では設計パラメータと制御性能との関係性が明らかになっていない。そこで本研究では小型リーグで用いられている車輪型全方向移動ロボットを対象として、設計した MPC コントローラのパラメータと制御性能との関係を明らかにすることを目的とする。

2 車輪型全方向移動ロボットのモデル予測制御

まず、システムの概要を示す。制御するロボットは、オムニホイールを四輪搭載しており、全方向に移動することが可能である。ロボットの位置 (デカルト座標)・姿勢をフィールドを俯瞰するカメラから取得できる。ホストコンピュータは各ロボットへ、所望の並進・回転運動に応じた速度を無線通信によって指令する。ここで、速度指令値を送信する際にはむだ時間が生じる。

MPC とは、制御対象のモデルを用いて有限時刻先までのふるまいを予測し、それを最適化するように現在の入力決定する制御法である。MPC ではコントローラ設計に離散時間モデルが必要となる。車輪型全方向移動ロボットに対しては、位置 (x, y) 、姿勢 θ を状態ベクトル \mathbf{z} 、それぞれの位置、姿勢に対する速度指令値を入力ベクトル \mathbf{v} とし、離散時間状態方程式を次式のように与えた。

$$\mathbf{z}(k+1) = \mathbf{z}(k) + \alpha T_s \mathbf{v}(k) \quad (1)$$

ただし、 T_s はサンプリング周期を、 α はスケールパラメータを表す。予備的な実験に基づいて $T_s = 1/60$ s, $\alpha = 0.9$ とした。

3 数値実験

ロボットが x 軸方向に 1000 mm の距離を障害物と衝突することなく移動する状況を想定し、設計パラメータを様々に変えて軌道追従制御を評価する。具体的には、目標軌道と実際の軌道との二乗誤差をとり、移動が完了するまでの全時間区間における離散和で評価する。

コントローラにおけるロボットが理想的に制御されたとき目標軌道に一致する点 (これを一致点という) は、予測区間の終点に設定した。

予測区間の長さ (3, 6, 9 steps) を設計パラメータとした MPC と、既存の制御手法であるフィードフォワード補償付き P 制御 (FF+P) とを比較する数値実験を行った。目標軌道と実際の軌道との誤差を図 1 に示す。このとき、MPC, FF+P とも制御系

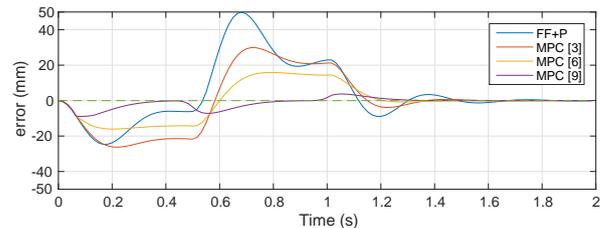


図 1 軌道追従誤差

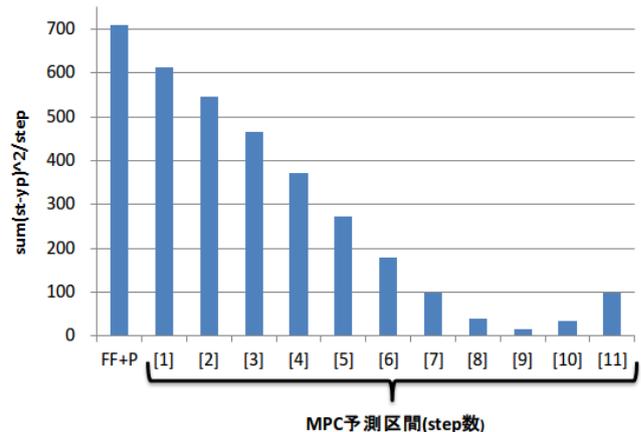


図 2 各予測区間での二乗誤差

の時定数は同じに設定している。図 1 から予測区間が適切であれば MPC は FF+P に比べて優位であることがわかる。

そこで、設計パラメータの一つである予測区間の長さを 1 steps ~ 11 steps で変化させ数値実験を行い評価した結果を図 2 に示す。この結果を見ると予測区間が 9 steps のとき最も誤差の二乗和が小さくなり、MPC には最適な予測区間が存在することがわかる。なお、予測区間内で複数の一致点をとった場合をあわせて評価しても、一致点が 1 つの場合が最も誤差の二乗和が小さくなることを確認している。

4 おわりに

本研究によって、車輪型全方向移動ロボットを MPC で制御する場合、最適な予測区間が存在し、一致点は予測区間の終点にのみ設定するときが最もよい制御性能を得られるという関係性を明らかにすることができた。

今後の課題には、実機システム上と、障害物と衝突した場合の評価などがある。

参考文献

- [1] J. M. Maciejowski : モデル予測制御 — 制約のもとでの最適制御 —, 足立・菅野 訳, 東京電機大学出版局, 2005.
- [2] M. Zarghami, *et al.* : “Fast and precise positioning of wheeled omni-directional robot with input delay using model-based predictive control,” Proc. CCC’14, pp.7800–7804, 2014.
- [3] K. Kanjanawanishkul, *et al.* : “Path following for an omnidirectional mobile robot based on model predictive control,” Proc. ICRA’09, pp.3341–3346, 2009.