

動揺ベースマニピュレータのグローバル座標における運動制御

東京海洋大学 佐藤 正門・戸田 勝善

1. 背景・目的

本研究では、波浪による動揺の影響を受ける機械システムに着目し、グローバル座標における運動制御を行うための手法を提案する。本研究の応用例としては、**船の動揺によらず常に海底方向への姿勢を保持するような魚群探知機、海洋観測のためのヒープモーションウィンチ、船と陸の間での荷役作業機**などが考えられる。

2. 制御対象の設定・動力学モデル

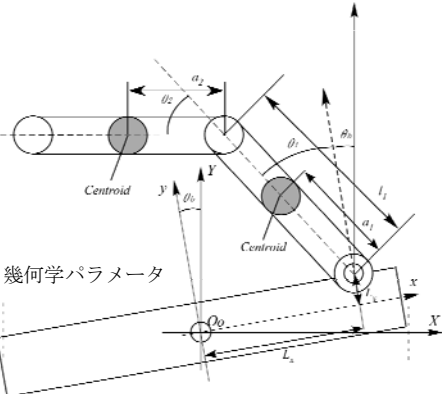
1自由度動揺ベース・2自由度回転関節マニピュレータを制御対象とし、動力学モデルの運動方程式を導いたものを以下に示す。

$$M(\theta)\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + C(\dot{\theta}, \theta) + G(\theta, \theta_b) + H(\ddot{\theta}_b, \dot{\theta}_b, \theta) = \gamma$$

θ : リンク角
 θ_b : ベース角
 M : 慣性項
 D : 粘性項
 C : コリオリ力、遠心力項
 G : 重力項
 H : 動揺による外乱項
 γ : トルク

L_x, L_y, a_1, a_2, l_1 : Fig.1における幾何学パラメータ

Fig.1: 動揺ベースマニピュレータ概略図



3. 制御系設計

A: 非線形状態フィードバックによる線形化

$\gamma = C(\dot{\theta}, \theta) + D\dot{\theta} + G(\theta) + H(\dot{\theta}_b, \theta) + M(\theta)u$ とする。

$M(\theta)\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + C(\dot{\theta}, \theta) + G(\theta, \theta_b) + H(\ddot{\theta}_b, \dot{\theta}_b, \theta) = \gamma$ に代入

$$\ddot{\theta} = u - M(\theta)^{-1}H(\ddot{\theta}_b) \rightarrow \ddot{\theta} = u + d$$

仮想的な線形システム

B: 感度関数の周波数整形・制御器の導出

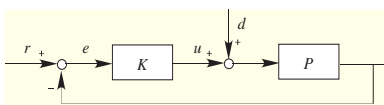


Fig.2 閉ループシステム

P: 制御対象
 K: 制御器
 r: 目標値 e: 偏差
 u: 制御入力 d: 外乱 y: 出力

感度関数 $S = (I + PK)^{-1} \quad (r \rightarrow e)$
 $S_p = (I + PK)^{-1}P = SP \quad (d \rightarrow -e)$
 準相補感度関数 $T_a = K(I + PK)^{-1} \quad (r \rightarrow u)$

PD制御を内部に組み込んで、低周波数帯における特性を改善する。そして重み関数を用いた一般化プラントの構成する。その一般化プラントを基に、 γ -イタレーションを行い、 H^∞ 制御器を導出する。

重み関数

$$W_s = \frac{\pi(s^2 + 2\alpha s + \omega^2)}{(s + 10^{-5})(s^2 + 0.02\alpha s + \omega^2)}$$

$$W_t = \frac{1 \times 10^{-3}s + 0.01}{s + 10^3}$$

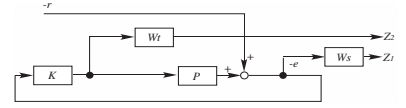


Fig.3 一般化プラント

4. シミュレーション

シミュレーションは以下4パターン行った。

シミュレーション条件

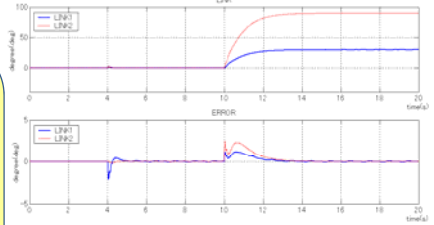
- ・共通事項
 シミュレーション時間・20秒
 動揺ベース・4秒から振幅 5° , $2\pi \text{ rad/s}$ で動揺開始
 初期状態 両リンク共に 0°
 目標値はステップ入力に時定数0.8の1次ローパスフィルタを介して入力する。

・姿勢制御

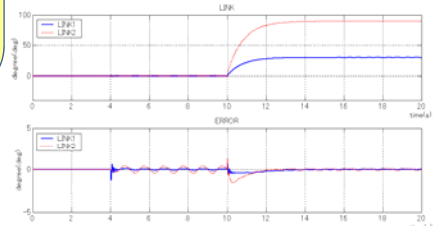
- 開始10秒後にグローバル目標角入力開始 (LINK1 30° , LINK2 90°)
 PID制御の係数 (比例: 5, 微分: 0.1, 積分: 5)

・位置制御

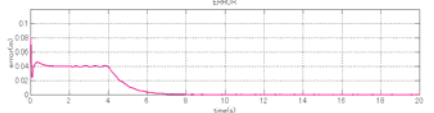
- 開始後にグローバル目標座標入力開始
 (0秒 $X=0.08, Y=0.165 \Rightarrow$ 4秒後 $X=0.06, Y=0.13$)
 PID制御の係数 (比例: 0.5, 微分: 0.1, 積分: 0.5)



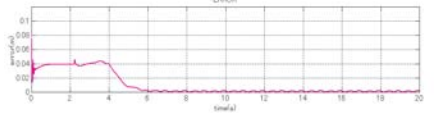
A1: H^∞ 制御器を用いた姿勢制御



A2: PID制御器を用いた姿勢制御



B1: H^∞ 制御器を用いた位置制御



B2: PID制御器を用いた位置制御

5. 結論

動揺ベースマニピュレータに対し、運動方程式を導き、そのモデルを基に、提案手法とPID制御とをシミュレーションによって比較した。

姿勢制御については、さほど差異がみられないが、PID制御に関しては、目標値入力時細かい振動が見られた。位置制御に関しては、提案した制御器の方がより優れた性能を有していることが分かった。従って、提案手法がより効果的であることが確認できた。