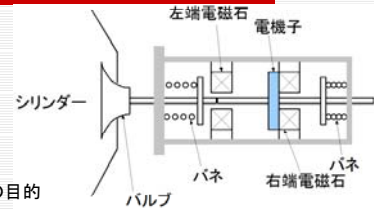


電磁駆動弁運動制御への モデル予測制御応用の検討

九州大学
○清木場 卓
向井 正和
川邊 武俊

はじめに<電磁駆動弁>



z: 電機子左面の位置
m: 可動部の質量
c: 粘性係数
k: ばね定数
u: 左端電磁石の吸引力
d: 外乱

- 本研究の目的
 1. 電機子の衝突音を低減するために電機子が電磁石に0.1[m/s]未満の速度で接触するような制御系を構成
 2. 外乱やシステムの摂動に対してロバスト性を持たせる
 3. 計算時間を短縮する
- 制御系設計の方針
 1. 最適制御を基にしたモデル予測制御を用いる
 2. 制御系をロバストにするために固定補償器を用いる

モデルと最適制御問題

・可動部分の運動方程式

・状態空間表現

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = u + d \quad (1)$$

$$\dot{x} = Ax + b(u + d) \quad (2)$$

・評価関数

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \frac{1}{2} u^2 dt$$

$$x = \begin{bmatrix} z \\ \dot{z} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \end{bmatrix}$$

・拘束条件

電磁石は吸引力しか用いることが出来ないで本来は入力为正という制約を与えなければならないが、今回は計算時間の短縮のため拘束条件は与えない。

・終端条件

$$x(t_f) = \begin{bmatrix} z_f \\ 0 \end{bmatrix}$$

電機子への接触速度を0に指定

<特徴>

●終端時刻を設計パラメータに含めることが可能。

z_f : 制御終了位置 t_f : 制御終了時刻
ここで、 z_0, \dot{z}_0, z_p, t_0 は既知とする。

モデル予測制御<最適入力の計算>

最適性の必要条件より

$$\begin{cases} \lambda_1 = \frac{k}{m} \lambda_2 & (5) & u + \frac{\lambda_2}{m} = 0 & (7) \\ \lambda_2 = -\lambda_1 + \frac{c}{m} \lambda_2 & (6) & \dot{x} = Ax + b(u + d) & (8) \end{cases}$$

最適制御入力

$$u = -\frac{1}{k} (A_1 \alpha_1 e^{\alpha_1 t} + A_2 \alpha_2 e^{\alpha_2 t}) \quad (9)$$

A_1, A_2 は初期条件、終端条件から求まる定数
 α_1, α_2 は特性方程式の2つの根

代数計算で
求められる

二点境界値問題のような複雑な計算を必要としない
最適入力uが負となる可能性がある

計算シミュレーションから得られた結果:

t_f を大きくすれば、uの値を常に正とすることができる。
→入力が正となる t_f を探すアルゴリズムを用いる

計算機シミュレーション

モデル予測制御だけでは、外乱やモデルの摂動により終端状態の精度が落ちてしまう。

→ 終端状態の精度をより良くするために固定補償器を用いる。

シミュレーションに用いた定数

m	0.215[kg]
c	12[N/ms]
k	150000[N/m]

z_0	3.375×10^{-3} [m]
\dot{z}_0	$z=z_0$ のときの速度
z_f	4.375×10^{-3} [m]
Δt	50[μs]

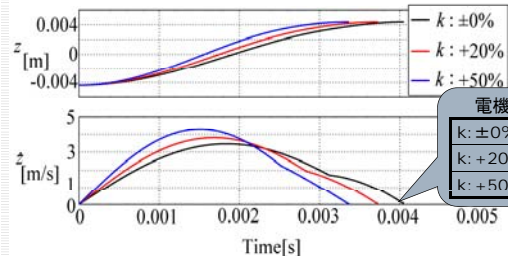
●ローパスフィルタは次のように設定した

$$H = \frac{1}{(1+sT)^2} \quad (T=7.95 \times 10^{-5}[s])$$

●電機子の位置が 4.374×10^{-3} [m]を越えた時点で5[A]の電流を流し電機子を持

●今回は吸排気による外乱dは生じず、ばね定数に+20%、+50%の誤差が生じるものとした

計算機シミュレーションとまとめ



提案する方法を用いたときのシミュレーション結果

- 速度が制御開始時点より上に凸になっている。
- ばね定数の誤差が+50%のときでも仕様である0.1[m/s]を大幅に下回る速度で電機子を吸着している。

まとめ: 提案手法により、吸引力だけを用いて所望の制御性能を得ることができた。また、ばね定数の変動に対してロバストな制御性能を得ることができた。