

部分的に不可観測なシステムにおける未知外乱の推定

学籍番号：90188105 大塚研究室 中務 匡

1 はじめに

近年ビルの高層化が進み、エレベータの担う役割がさらに大きくなりつつある．それに連れ、ビルそのものが巨大化することでエレベータシステム自体も巨大な物になってしまった．しかし、一時的には中の人間を外から切り離し、相当な重量を高速に垂直移動させるので、安全に運用するには精密な制御をする必要がある．エレベータには大きく二つの動きがあり、垂直移動とドアの開閉がある．本論文ではドアの開閉について考える．特に高層ビルの最下階と最上階では僅かではあるが気圧差が生じ、それがドアの開閉を阻害する外力となる現象がしばしば起きる．これをドラフトと呼び、これが発生するとドアが閉まらないなどの問題が発生する．これを未知外乱と本論文では呼ぶこととし、これを推定することを目的とする．

2 モデル設定

ドアの運動方程式、モータの回転の運動方程式を立てると、

$$\begin{aligned} m_l \ddot{x}_l + m_r \ddot{x}_r &= T_4 - c_r \dot{x}_r - T_2 - c_l \dot{x}_l + F_l + F_r \\ J_0 \ddot{\theta}_0 &= (T_0 - T_1)r_0 - c_0 \dot{\theta}_0 + \tau \\ J_1 \ddot{\theta}_1 &= -(T_0 - T_1)r'_1 + (T_2 - T_4)r_1 - c_1 \dot{\theta}_1 \end{aligned}$$

となる．モデルの線形化・簡略化のため、 $\frac{x_l + x_r}{2} = x$, $F_l + F_r = F$, $m = m_l = m_r$, $c = c_l = c_r$, $k = k_2 = k_4$, $b = b_2 = b_4$, $\lambda = \frac{r'_1}{r_0}$, $\lambda^2 J_0 + J_1 = J'_1$, $\lambda^2 c_0 + c_1 = c'_1$ という仮定を置く．また未知外乱を推定する手段として同一次元オブザーバを使用するので、未知外乱を状態変数として取り込むことにする．この際に未知外乱の変化を考えなければならないが、これを $\dot{F} = 0$ とおくことで、

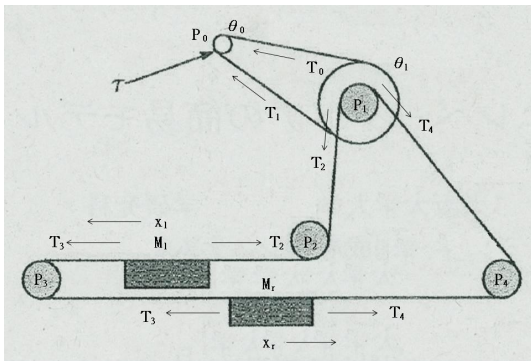


Fig. 1: 物理モデルの概略

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \ddot{x} \\ \dot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_1 \\ \dot{F} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{b+c}{m} & \frac{kr_1}{m} & \frac{br_1}{m} & \frac{0}{2m} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -\frac{2kr_1}{J'_1} & -\frac{2br_1}{J'_1} & +\frac{2kr_1^2}{J'_1} & \frac{2br_1^2 - c'_1}{J'_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta_1 \\ \dot{\theta}_1 \\ F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{\lambda}{J'_1} \\ 0 \end{bmatrix} \tau$$

$$y = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta_1 \\ \dot{\theta}_1 \\ F \end{bmatrix}$$

とモデルを設定した．

3 未知外乱の推定

未知外乱 F を直接推定することは不可能なので、未知内力 F' をまず推定し、そこから間接的に F を求める． F' を推定するにはまず最小実現を行い、可制御可観測なシステムに変換したところで、

$$F' = \frac{c'_1}{r_1} \dot{\theta}_1 + \frac{J'_1}{r_1} \ddot{\theta}_1 - \frac{\lambda}{r_1} \tau$$

を求め、そこから

$$\begin{aligned} F &= 2c\dot{x} - F' \\ &= 2c\dot{x} - \frac{c'_1}{r_1} \dot{\theta}_1 - \frac{J'_1}{r_1} \ddot{\theta}_1 + \frac{\lambda}{r_1} \tau \end{aligned}$$

を得た．ここでシミュレーションを行い、推定した値と比較した．

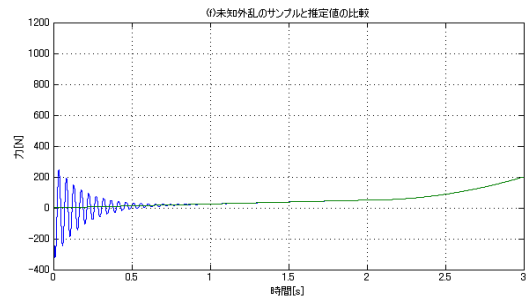


Fig. 2: 未知外乱のサンプルとその推定値の比較の例

収束の速度は約0.5秒で、精度も十分なものだった．収束するまでの誤差が大きいですが、グラフ後半の二次関数的な変化にも十分な追従性を確認できた．

4 終わりに

このモデルのように初期値は全て分かっているが部分的に不可観測なシステムというのは社会には数多く存在するので応用の幅は広いと考える．今回モデルとして取り上げたエレベータでの応用としては、この未知外乱を、ドアの開閉を行うモータにフィードバックして、これを打ち消すようにトルクを出力し確実なドアの開閉を行う事が出来る．また、未知外乱の原因がドラフトなのか人なのかゴミなのかということも判断出来るのでドアの開閉の効率化や、エレベータをオンラインで同定することで、保守点検の効率化などにも効果が期待できる．