

ヘリコプタにおける吊下げ物体の振動抑制制御

Vibration Suppression Control for a Hanging Load of Helicopter

80717876 森川智隼 (Chihaya Morikawa) Supervisor: 村上俊之 (Toshiyuki Murakami)

1 序論

現在、2000機あまりの無人ヘリコプタが日本国内で産業用に利用されており、今後も様々な用途での働きが期待されている。災害時の人命救助などで物体を運搬する用途を考えた場合、ヘリコプタから吊下げた物体を振動させずに、素早く所望の位置に移動させたい。しかしながら、吊下げ物体自身の制御に焦点を当てた研究は現在までほとんど行われていない。そこで本論文では、提案する吊下げ物体加速度制御器 [1] を用いた制御系を設計し、吊下げ物体の振動抑制を目指す。また、提案する制御系におけるゲイン決定法も提案する。

2 モデリング

図 1 に示すようにヘリコプタ、吊下げ物体をモデル化する。プロポ電圧 V_{thro}^{ref} , V_{ail}^{ref} , V_{ele}^{ref} , V_{lad}^{ref} を入力として、ヘリコプタ位置 $x, y, z(\Sigma_G)$ 、姿勢 $\phi, \theta, \psi(\Sigma_F)$ 、吊下げ物体位置 $x_L, y_L, z_L(\Sigma_G)$ を制御する。また吊下げ物体は 2 自由度振子モデルとして考え、振り座標系の吊下げ物体位置を $x_{rope}, y_{rope}, z_{rope}(\Sigma_P)$ とする。

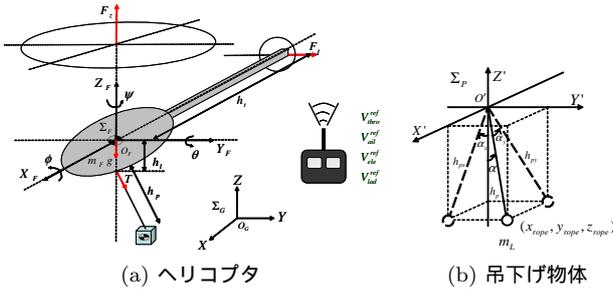


図 1: モデル

3 制御系設計

ここでは、問題の単純化のため、ヘリコプタの前後方向に関する振動抑制のみを目的とする。

3.1 全体の制御系

制御系全体のブロック線図を図 2 に示す。姿勢制御器には、より精度の高い角速度の指令値追従を実現するため、角速度フィードフォワードを用いた角速度制御と、通信外乱オブザーバ [2]・外乱推定オブザーバ [2] を用いた時間遅延補償を導入する。位置制御器には、PD 制御を適用する。

3.2 吊下げ物体加速度制御器

吊下げ物体加速度参照値を (1) 式と設計し、位置制御器からの加速度参照値と足し合わせることで、振動抑制を行う。

$$\ddot{x}_{load}^{ref} = K_A(\ddot{x}_L^{res} - \ddot{x}^{res}) + K_B(\dot{x}_L^{res} - \dot{x}^{res}) + K_C(x_L^{res} - x^{res}) \quad (1)$$

3.3 ゲイン決定法

ヘリコプタの Z 方向加速度、ヘリコプタの姿勢角、および吊下げ物体の Z 軸からの傾きは微小である、という仮定を用いると、吊下げ物体位置指令値 x_L^{cmd} から応答値 x_L^{res} への伝達関数は (2) 式と表せる。

$$\frac{x_L^{res}}{x_L^{cmd}} = \frac{\{(h_p - 1)s^2 + g\}(K_V s + K_P)}{(h_p + K_A)s^4 + (h_p K_V + K_B)s^3 + (h_p K_P + g + K_C)s^2 + g K_V s + g K_P} \quad (2)$$

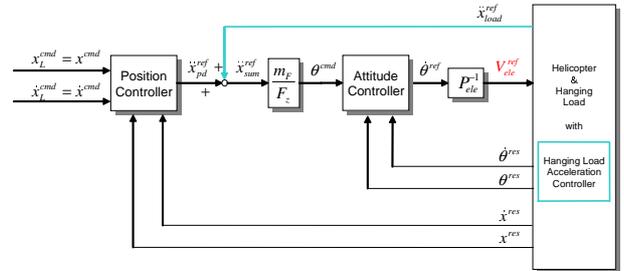


図 2: 制御系全体

この伝達関数を用い、特性多項式を (3) 式と選べば、位置制御器のゲインと、吊下げ物体加速度制御器のゲインを恒等式から求めることができる。

$$\Phi(s) = a(s + b)(s + c)(s + d)(s + e) \quad (3)$$

4 実験

ホバリング中に吊下げ物体にインパルス外乱 (手動) を与える実験を行った。提案手法を用いることにより、吊下げ物体位置の収束が速くなっていることがわかる。

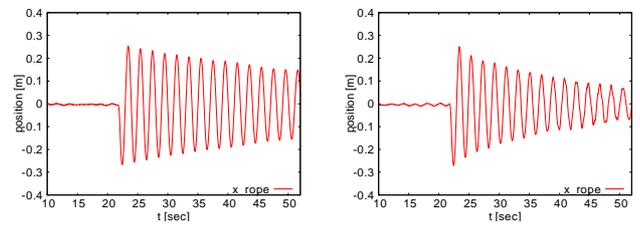


図 3: 振り座標系における吊下げ物体位置

5 結論

本論文では、ヘリコプタにおける吊下げ物体の振動抑制を目的とし、吊下げ物体加速度制御器を用いた制御系と、ゲイン決定法を提案した。シミュレーションと実験により、提案手法の有効性を示した。

参考文献

[1] C. Morikawa and T. Murakami: "Vibration Suppression Control for a Hanging Load of Autonomous Helicopter using Simplified Transfer Function", *Proceedings of 3rd Asia International Symposium on Mechatronics (AISM2008)*, TA1-2(1), 27-31, Aug. 2008, Sapporo, Japan

[2] Kenji Natori, Kouhei Ohnishi: "An Approach to Design of Feedback Systems with Time Delay", *Proc. of The 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1931-1936, 6-10, Nov. 2005, North Carolina, USA