

修理資材運搬水上ロボットの運動モデル導出に関する研究 Research on Modelling of USVs for Transporting Repair Materials

○西村 光生¹, 市川 弘貴¹, 河内山 学¹, 李 賢品², 羽田 錦², 羽多野 正俊³
Mitsuo Nishimura¹, Hiroataka Ichikawa¹, Manabu Kawachiyama¹, Kenpin Ri², Nishiki Hata², Masatoshi Hatano³

Abstract: USV(Unmanned Surface Vehicles) are needed to transport repair parts instead of divers. However, robots are influenced by waves and ocean current. Thus, it is necessary for control design that it can oppose external influences. In this report, I proposed a model of USV.

1. 緒言

港湾などに建築されている海洋構造物の脚部には風や海水による浸食や風化が発生しており,定期的に修理が必要になる.従来,人間が船やボートに乗り,脚部まで補修部材を運搬していたが,海流や波の影響により作業には多くの危険が伴う.よって,人間の代わりに修理資材の運搬を目的とした水上ロボットが期待されている.

水上ロボットが波の影響を受けずに自律制御ができるようになるためには動的挙動を明らかにし,そのモデルを考慮した制御系の設計を行わなければならないと考える.本発表では,天井クレーンのモデルをベースに垂直 2 次元平面内を運動する USV(Unmanned Surface Vehicle)システムのモデル化について述べる.

2. 水上ロボット

作製した水上ロボットを Fig. 1, 概略図を Fig. 2 に示す.

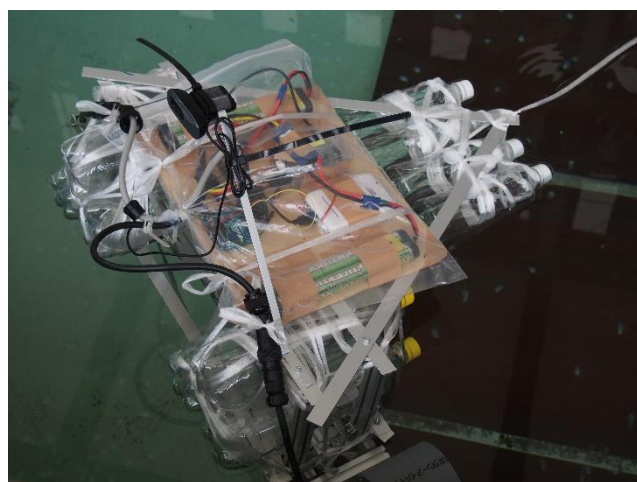


Fig. 1 Constructed USV

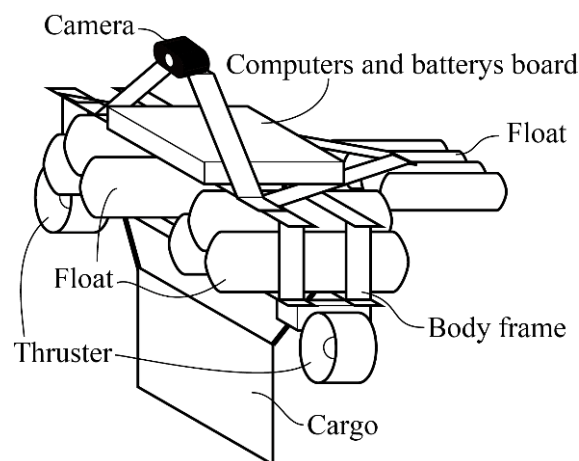


Fig. 2 Image of USV

水上での水平 2 次元運動を行うため,左右に取り付けられたブラシレスモータにより,直進,左右回転を行い 2 自由度の運動が可能である.上部には USB カメラが取り付けられており,この部分で取得された画像データよりビジュアルフィードバック制御を行いロボットを自律化させる.更に外部からノートパソコンによって遠隔操作を行って手で制御する.ロボットボディ部にはニッケル水素バッテリー,モバイルバッテリー,モータアンプ,Arduino,Raspberry Pi3 が搭載されている.浮力材は 500[ml]サイズの空のペットボトルを用意し,左右に 3 本ずつ,ロボット後部に 4 本取り付け.そして,ロボット下部に修理部材を吊り下げ運搬する.

3. 水上ロボットのモデル

天井クレーンをベースに Fig. 3 に示すようなモデルを考える. 2 次元垂直平面内を運動するモデルを考えた. 基準座標系を Σ_w , ロボット本体中央に質量中心を取ったロボット座標系を Σ_R , 釣り荷の中心に質量中心を取ったオブジェクト座標系を Σ_0 とする. 水平方向に移動する為の推進力を F_x , 垂直方向に働く力を F_z ,

1 : 日大理工・院 (前)・精機, 2 : 日大理工・学部・精機, 3 : 日大理工・教員・精機

ロボット本体のピッチ角を a , 振子の振れ角度を θ とする.

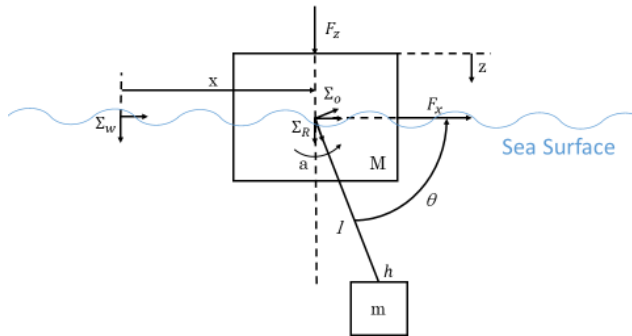


Fig. 3 USV Model

同次変換行列より Σ_w から見た \mathbf{h} の位置ベクトル ${}^w\mathbf{h}$ は

$${}^w\mathbf{h} = \begin{bmatrix} l \sin(a + \theta) + x \\ 0 \\ l \cos(a + \theta) + z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

モデル全体の運動エネルギー T はロボット本体と釣り荷の慣性モーメントを I_1, I_2 とすると

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2}M(\dot{x}^2 + \dot{z}^2) + \frac{1}{2}I_1\dot{a}^2 + \frac{1}{2}I_2(\dot{a} + \dot{\theta})^2 \\ & + \frac{1}{2}m[l^2(\dot{a} + \dot{\theta})^2 \\ & + 2l(\dot{a} \\ & + \dot{\theta})\{\dot{x} \cos(a + \theta) - \dot{z} \sin(a + \theta)\} \\ & + \dot{x}^2 + \dot{z}^2] \end{aligned} \quad (2)$$

モデル全体のポテンシャルエネルギー U は

$$U = Mgz + mg\{l \sin(a + \theta) + z\} \quad (3)$$

よってラグランジュ方程式より x, z, a, θ をそれぞれ一般化座標とすると運動方程式は以下のように導出できた.

$$\begin{aligned} F_x = & (M + m)\ddot{x} + ml(\ddot{a} + \ddot{\theta}) \cos(a + \theta) \\ & - ml(\dot{a} + \dot{\theta})^2 \sin(a + \theta) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} F_z = & (M + m)\ddot{z} - ml(\ddot{a} + \ddot{\theta}) \sin(a + \theta) \\ & - ml(\dot{a} + \dot{\theta})^2 \cos(a + \theta) \\ & + (M + m)g \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \tau_a = & ml^2(\ddot{a} + \ddot{\theta}) - ml \sin(a + \theta)(\dot{x}\dot{a} + \dot{x}\dot{\theta} + \dot{z}) \\ & + ml \cos(a + \theta)(\dot{x} - \dot{z}\dot{a} - \dot{z}\dot{\theta}) \\ & - ml(\dot{a} + \dot{\theta})\{-\dot{x} \sin(a + \theta) \\ & - \dot{z} \cos(a + \theta)\} + mgl \cos(a + \theta) \\ & + I_1\ddot{a} + I_2(\ddot{a} + \ddot{\theta}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} 0 = & ml^2(\ddot{a} + \ddot{\theta}) - ml \sin(a + \theta)(\dot{x}\dot{a} + \dot{x}\dot{\theta} + \dot{z}) \\ & + ml \cos(a + \theta)(\dot{x} - \dot{z}\dot{a} - \dot{z}\dot{\theta}) \\ & - ml(\dot{a} + \dot{\theta})\{-\dot{x} \sin(a + \theta) \\ & - \dot{z} \cos(a + \theta)\} + mgl \cos(a + \theta) \\ & + I_2(\ddot{a} + \ddot{\theta}) \end{aligned} \quad (7)$$

τ_a はピッチ角 a のトルクである.

このモデルの妥当性について検討する.

(4)式と(7)式の z と a 及び F_z と τ_a に 0 を代入すると

$$F_x = (M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (8)$$

$$0 = \ddot{x} \cos \theta + l\ddot{\theta} + g \cos \theta + I_2(\ddot{\theta} + \ddot{a}) \quad (9)$$

となり, 天井クレーンの運動方程式と一致した.

(6)式と(7)式の x と z 及び F_x と F_z に 0 を代入すると

$$\begin{aligned} \tau_a = & (ml^2 + I_1 + I_2)\ddot{a} + (ml^2 + I_2)\ddot{\theta} \\ & + mlg \cos(a + \theta) \end{aligned} \quad (10)$$

$$0 = (ml^2 + I_2)\ddot{a} + (ml^2 + I_2)\ddot{\theta} + mlg \cos(a + \theta) \quad (11)$$

となり 2 リンクアームの運動方程式 (第 1 リンクのアームの長さは 0 となる) と一致した.

4. 結言

天井クレーンをベースに資材運搬水上ロボットの運動方程式を導出した. 今後, このモデルを用いて運動シミュレーションを行い, 動的挙動の解析や制御系の構築, および実験機との運動比較などについて研究を行い, さらに, ボディを $x, y, z, \theta, \phi, \psi$ の 6 軸モデルに拡張した 3 次元モデルへの拡張についても研究を行う.

5. 参考文献

- [1] 森泰親: 「演習で学ぶ現代制御理論 新装版」(2014)
- [2] 川崎晴久: 「ロボット工学の基礎 第 2 版」(2014)