

## ロボットアームを有する水中ロボットのための自己位置姿勢制御手法に関する研究

### Research on Position and Posture Control Methods of Underwater Robots with Robot Arms

○高橋 智博<sup>1</sup>, 西村 光生<sup>2</sup>, 羽多野 正俊<sup>3</sup>\*Tomohiro Takahashi<sup>1</sup>, Mitsuo Nishimura<sup>2</sup>, Masatoshi Hatano<sup>3</sup>

Abstract: Electric generators used in the Sea are needed to be monitored and maintained for stable operations. Thus, underwater robots are required for such operations instead divers. In this report, we show our constructed underwater robot and control system for position and posture controls of the robot.

#### 1. 緒言

本研究の目的は、水中ロボットが通信が困難な水中において自律航行を行い、水中構造物の観測を行うために必要となる自己位置姿勢制御手法について提案することである。水中構造物は潮流や土砂の流入などで浸食や堆積物の蓄積が起こる。人間による観測には危険を伴い、コストもかかるため、人間の代わりに水中構造部分の日常的な監視、簡単なメンテナンスを目的とした水中ロボットの開発が期待されている<sup>[1]</sup>。

本発表では、加速度センサおよび水圧センサの情報から水中ロボットの位置姿勢の推定を行い、水中構造物観測用のカメラ付きロボットアームを制御を行い、取得するカメラ画像を安定させる方法を提案する。

#### 2. 実験機

本研究で実験に用いたロボットを Figure 1 に、主な仕様を Table 1 に示す。

ロボット本体には6基のスラストが取り付けられており、水中で任意の位置姿勢が取れる。スラストはブラシレス DC モータのコイル部をエポキシ樹脂でコーティングし防水処理を行ったモータとプロペラで構成する<sup>[2]</sup>。実験中のロボット内部情報のデータ取得のため、データ送受信の無線モジュールを浮きユニットに納め常に水面に出ていて外部 PC とデータ送受信できるようにしてあり、浮きユニットとロボット本体は有線で接続されている。なおこの浮きユニットは、予

Table 1. Specifications of Our Underwater Robot

Body	Acrylics cylinder (thickness 5[mm])	
Size	L500×W260×H250[mm]	
Weight	About 7.2[Kg]	
Main Computer	Raspberry Pi 2 Model B Frequency: 900[MHz], Memory: 1[GB]	
Sub Computer	mbed NXP LPC1768 ×2 Frequency: 96[MHz], Memory: 512[KB]	
Thruster	Brushless DC Motor ×6 HP-ZS2213-22 240[W]	
Battery	Ni-MH, 12[V], 4200[mAh]×2	
Camera	Logicool HD Webcam C270 1280×720 [pixel], 30[fps]	
Sensor	3axis Acceleration	MPU-9150 ±16[G]
	Depth	MIS-2503-015G 0 ~ -10.53[m]

備実験を行う際のリアルタイムデータ取得や、システムデバッグのための機器であり、目標の自律運行の際には用いない。

水中ロボットのシステム構成を Figure 2 に示す。制御システムには ROS(Robot Operating System)を使用した。ロボット内部に小型 CPU ボード(Raspberry Pi 2)と(mbed)を搭載する。Raspberry Pi 2 は外部 PC へセンサ情報とカメラ画像の送信, mbed へ制御信号の送信を行う。mbed は加速度センサと圧力センサを接続し、位置姿勢の計測と SD カードへのデータ記録を行う。

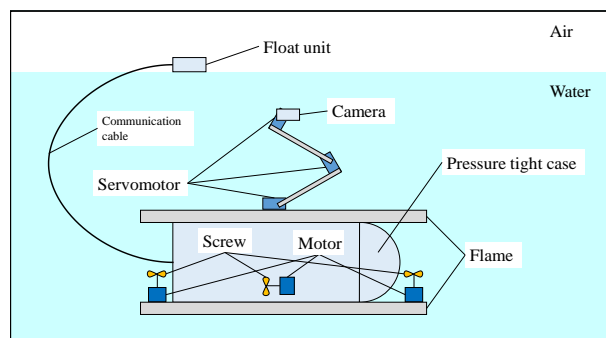


Figure 1. View of Our Underwater Robot

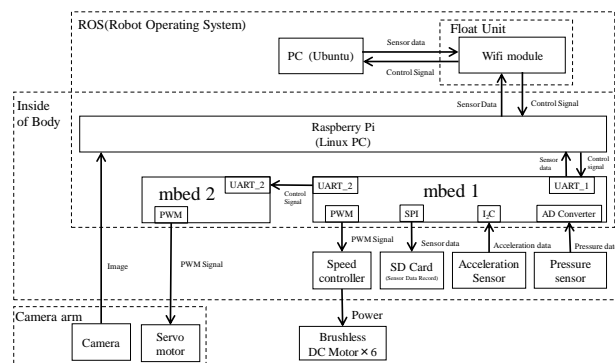


Figure 2. System Configuration of the Robot

外部 PC から入力された目標値とロボットの現在値を比較しスラストのフィードバック制御を行う。また 2 台目の mbed にて水中ロボット搭載のカメラ用 3 軸ロボットアームの制御を行う。

### 3. 圧力センサを用いた水深制御手法

本研究では、ロボットの水深の測定にゲージ式圧力センサ(MIS-2503-015G)を用いた。ロボット内部の圧力  $P_{atm}$  とロボット外部の圧力  $P_{water}$  との差圧を計測し、水深  $h[m]$  を求める。また、本ロボットの航行速度は微速であり静水と仮定した。このとき静止している水が物体に与える圧力  $P_{water}$  は物体から水面までの水の重量  $\rho gh$  と水面にかかる大気圧  $P_{atm}$  であるため式(1)となる。測定深度の増加に比例して  $P_{water}$  は増加するため、ロボットの水深  $h$  は式(2)のように求めた。

$$P_{water} = \rho gh + P_{atm} \quad (1)$$

$$h = \frac{P_{water} - P_{atm}}{\rho g} \quad (2)$$

ここで、 $P_{water}$  は測定水深にかかる水の圧力[Pa]、 $\rho$  は水の密度 [ $kg/m^3$ ]、 $g$  は重力加速度 [ $m/s^2$ ]、 $h$  はロボットの水深[m]、 $P_{atm}$  は大気圧[Pa]である。

### 4. 加速度センサを用いた姿勢認識手法

本研究では、ロボットの姿勢の測定に 3 軸加速度センサ(MPU-9150)を用いた。加速度センサにかかる加速度を重力加速度のみと仮定すると、加速度センサから得られる 3 軸の加速度から、ロボットの傾斜角を得られる。Figure 3 に座標軸を示す。

1 軸による傾斜の検出方法について、x 軸が重力ベクトル方向に沿って回転した場合、x 軸の加速度の出力は重力ベクトルの x 軸上の投影によって、加速度センサの x 軸と水平線がなす角度  $\theta$  [rad] の正弦に等しい出力加速度となる。重力加速度を  $g$  [ $m/s^2$ ] とすると x 軸の出力加速度  $A_x$  [ $m/s^2$ ] は式(3)で表せる。

$$A_x = g \sin \theta \quad (3)$$

1 軸のみの計測では  $\theta$  が  $\pm 90^\circ$  近傍では傾き角の変化に対して、加速度センサで検出できる加速度の変化が小さくなる。そこで x 軸と直行する y 軸を用いて、傾き角度に対する検出加速度を補う。1 つ目の軸で検出加速度が小さくなる時、もう一方の軸の検出加速度が増大することを利用する。x 軸と y 軸の検出加速度から正接関数を用いることで式(4)となり、求める傾斜角  $\theta$  [rad] は式(5)となる。

$$\frac{A_x}{A_y} = \frac{g \sin \theta}{g \cos \theta} = \tan \theta \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{A_x}{A_y} \right) \quad (5)$$

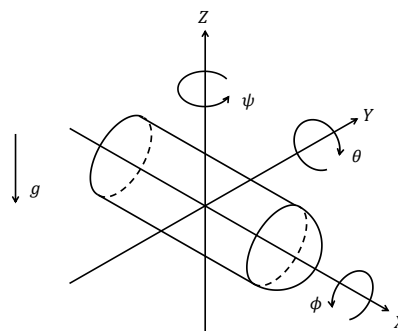


Figure 3

また、X,Y,Z の 3 軸すべてを用いると三角法からそれぞれの式(6)、(7)、(8)のように表される。

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}} \right) \quad (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}} \right) \quad (7)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{A_x}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}} \right) \quad (8)$$

ただし、 $A_x$  [ $m/s^2$ ] は加速度センサの X 軸の検出加速度、 $A_y$  [ $m/s^2$ ] は加速度センサの Y 軸の検出加速度、 $A_z$  [ $m/s^2$ ] は加速度センサの Z 軸の検出加速度である。加速度センサの 3 軸にかかるベクトルの合算は前提条件より重力ベクトルとなるので式(9)の関係となる。

$$\sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} = g \quad (9)$$

### 5. 結言

水中ロボットの自己位置推定方法の一つとして、加速度センサを利用した方法について述べた。今後は位置推定方法として加速度センサと併用して水圧センサや流速センサを用いて自己位置姿勢認識精度を向上させる手法を検討する。

### 参考文献

- [1] 居駒知樹：「海洋再生エネルギー利用のための複合浮体システムの研究」, CST2010 シンポジウム, (2010)
- [2] ユ チョン, 和氣直道：「水中メンテナンスロボットの基礎運動特性に関する研究」, 日本大学理工学部卒業論文, (2013)