

力学系学習木を用いた小型船舶の外乱推定

沼倉彬雄[†] 加藤成将[†] 佐藤和幸[‡] 富沢武弥[¶] 三好扶[‡] 明石卓也[†] 金天海[†]

岩手大学工学部電気電子情報システム工学科[†]

岩手大学工学部機械システム工学科[‡] 越喜来漁業協同組合[¶]

1. はじめに

岩手県のアワビとウニの漁獲高はそれぞれ全国1位、2位だが、若年労働者不足もあり被災後の漁業再開率は84.3%と低い。大船渡市の越喜来漁協におけるアワビ・ウニ漁においても身体的負担の大きさ、漁の難度から新規参入者が単独で漁を行うことが難しく、若年層の新規参入の妨げになっている。この問題に対し、漁を行う際に小型船舶の制御を自律的に行うシステムを開発することで問題の解決を図る。

このシステムでは、波や流れの影響を踏まえた制御を行う必要があるが、水上ロボットの運動に対する波の影響はオンライン計算が難しい。Ramirezら^[1]は波の影響をニューラルネットワークに学習させているが、「水面上各位置において波の影響が一定」という仮定が必要であり、応用場面は限定的である。本研究の目的は、海や川などの浅瀬において位置・方位を自律的に維持できる水上ロボットの構成論を確立することである。

本稿では力学系学習木を用いた小型船舶の外乱推定法を提案する。

2. 加速度による船舶の制御

加速度による船舶の制御を考える。船舶に働く加速度は無波無動力時加速度 a_0 、制御入力による加速度 a_t 、波の影響を含めた外乱による加速度 a_w の3つに分類でき、船舶の加速度 a は(1)式で表せる。また(1)式より外乱による加速度 a_w を求める(2)式が得られる。

$$a = a_0 + a_t + a_w \quad (1)$$

$$a_w = a - a_0 - a_t \quad (2)$$

a : 船舶の加速度

a_0 : 無波無動力時加速度

a_t : 制御入力による加速度

a_w : 波の影響を含めた外乱による加速度

Noise Estimation for Small Vessel using Dynamics Learning Tree.

[†] Akio Numakura, Shigenobu Kato, Takuya Akashi and Chyon Hae Kim are with Engineering and Computer Science of Faculty of Engineering, Iwate University.

[‡] Kazuyuki Sato and Tasuku Miyoshi are with Mechanical Engineering of Faculty of Engineering, Iwate University.

[¶] Takeya Tomizawa is with Okirai Fishery Association.

(2)式より、船舶の加速度 a 、制御入力による加速度 a_t 、無波無動力時加速度 a_0 を求められれば外乱による加速度 a_w が推定できることが分かる。 a は実際の加速度を測定することにより求まり、 a_t はスラストへの指令値と a の計測値の対応から容易にモデル化することができるため、この手法では、 a_0 を求めることが主な課題となる。しかし a_0 は水面から船体に働く抗力による加速度を含み、船体形状によっても異なるため、その力学的挙動を数式で表現することは困難である。一方、著者らの船体などの力学系の挙動を関数近似するための手法として、力学系学習木を提案している^[2]。力学系学習木はデータの学習密度の応じた推定を行えるという特徴をもつ。本稿では力学系学習木による関数近似で a_0 を推定し、(2)式から外乱による加速度 a_w の推定を行う手法を提案する。

3. 力学系学習木

力学系学習木は木構造を用いた階層型学習器である。図1にその例としてN階層2次元2分割の力学系学習木を示す。力学系学習木の学習は船体などの力学系の状態とその状態における状態遷移速度の対応を学習させることで関数近似を行う。力学系学習木では状態を入力すると根側から n 分木に従って、入力状態に対応した葉を探し、葉に登録された状態遷移速度の相加平均を用いることで力学系の挙動を予測できる。力学系学習木は教師データ密度に応じた n 分木を適応的に構成するため、教師データが密な場合においては精細な、疎な場合には汎化を伴った予

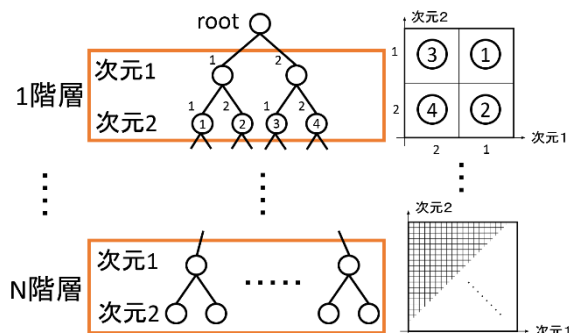


図1: N層2次元2分割の力学系学習木 力学系学習木の木構造(左)と各階層時のデータ空間(右)を示す。1階層目の葉ノードは右のデータ空間の各領域に対応している。

測を行うことができる。図2は学習木を用いて単振動の動作の式を学習、予測した結果である。左図では学習数が少なく学習木の上層データを用いるため予測が正確ではないが、学習数の増加により単振動の動作予測をより正確に行うことができている。

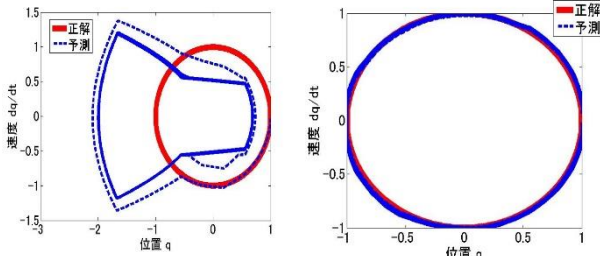


図2:力学系学習木による単振動の予測結果
学習した単振動の運動方程式 $\ddot{x} = -x$
左:100回学習の結果 右:5000回学習の結果

4. 実験

提案手法により外乱による加速度を求められることを確かめる。実験機を用いて無波無動力時加速度を測定し力学系学習木に学習させ、学習済みの力学系学習木を用いて a_0 の推定を行う。また学習木より推定した a_0 を適用した(2)式から外乱による加速度の推定を行う。

4.1. 実験内容

波の影響がほぼない水槽(図3)上に実験機(図4)を浮かべ、実験機左右のスラスタを動かすことで様々な速度状態を作りモーションキャプチャ(VENUS3D:株式会社ノビテック)を用いて実験機の水槽上の位置データを収集した。位置データを微分し速度、加速度を求め、実験機の初期位置を0度とした角度を船体中心軸ベクトルの内積と外積から求め、角速度、角加速度も求めた。

学習木にスラスタ停止時の実験機の各速度状態(v_x, v_y, v_θ)における加速度 $a_0 = (a_{0x}, a_{0y}, a_{0\theta})$ を学習させ、 a_0 を推定した結果と実際の動作を比較する。またスラスタによる加速度を外乱として推定した($a_t = a - a_0, a_w = 0$)。



図3:実験を行った水槽

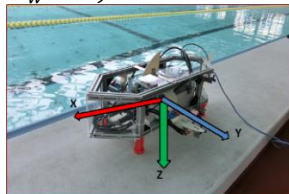
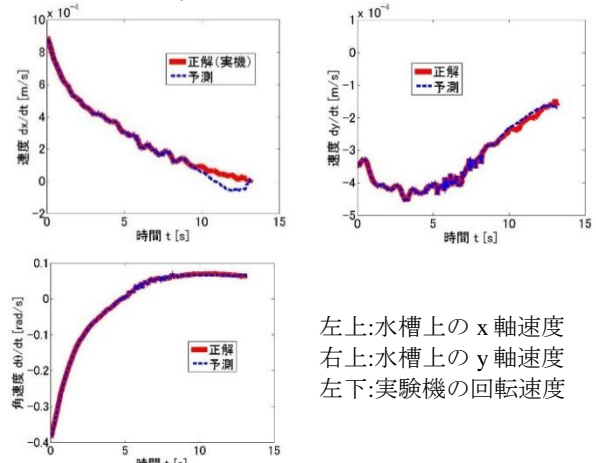


図4:実験機

4.2. 実験結果

図5は学習木に計測した速度状態の一つを与え、推定した無波無動力時加速度を積分し実験機の速度を求めた結果である。図5では約8秒間は予測と実機の動作が一致していることが分かる。図6は学習木で推定した a_0 を用いてx軸方向外乱加速度 a_t を推定した結果である。図中の網掛けの

範囲では外乱 a_t が付加されており、右図では外乱による加速度 a_t を推定できている。



左上:水槽上のx軸速度
右上:水槽上のy軸速度
左下:実験機の回転速度

図5:推定した a_0 による速度の予測結果

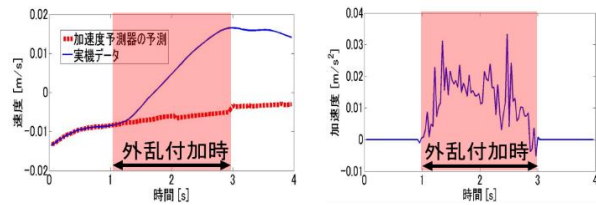


図6:x軸方向外乱 a_t の推定結果

左:x軸速度の推定結果, 右: $a_t = a - a_0$ の結果

5. 考察

図5では力学系学習木によって約8秒間は正確な推定できており、実際の制御においては1Hz毎の制御を予定しているため十分な予測ができると言える。図6では外乱付加時にx軸における外乱 a_t が推定できていることが伺え、y軸、回転の加速度においても同様の結果を得られていることから外乱の推定が行えると言える。

6. 結論と展望

実験により船体の力学系の挙動を学習させることで制御するのに十分な無波無動力時加速度 a_0 を推定することができ、推定した a_0 を(2)式に適用することで外乱による加速度を推定できることが分かった。

今後は波のある環境において a_w の推定を行い、求めた a_w を用いた流れや波の影響を考慮した制御を行うことにより自律的な位置・方位の維持が行えることを検証していく。

参考文献

[1] F. F. Ramirez, D. S. Benitez, E. B. Portas and J. A. L. Orozco: "Coordinated sea rescue system based on unmanned air vehicles and surface vessels," IEEE OCEANS, (2011).
[2] 沼倉彬雄ら: "力学系学習木-連続力学系の階層型学習-", 第77回情報処理学会全国大会, 6ZF-04, (2015).