

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
School of Information Technologies

Kaarel Värk 182827IAPM

**GAUSSIAN PROCESS BASED DYNAMICS  
MODEL AUGMENTATION FOR AN  
AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE  
WITH BIO-INSPIRED ACTUATORS**

Master's thesis

Supervisors: Christian Meurer  
MSc.  
Mohamed Walid  
Remmas  
MSc.

Tallinn 2021

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Kaarel Värk 182827IAPM

**BIO-INSPIREERITUD AKTUAATORITEGA  
AUTONOOMSE VEEALUSE SÕIDUKI  
DÜNAAMILISE MUDELI TÄIUSTAMINE  
GAUSSI PROTSESSI ABIL**

Magistritöö

Juhendajad: Christian Meurer  
MSc.  
Mohamed Walid  
Remmas  
MSc.

Tallinn 2021

## **Abstract**

Autonomous vehicles require accurate estimation of their pose, which is used various autonomy modules. Pose is usually estimated by the vehicle's mathematical model. Model identification is in turn used to estimate the mathematical model's parameters, to improve an available model with augmentation or to fully learn a new model of the vehicle. Model identification for autonomous underwater vehicles has been widely researched. However, the focus of these studies has been on conventional torpedo-shaped vehicles with propellers. Here we show that a method for model identification based on Gaussian processes can augment a classical dynamics model for an unconventional autonomous underwater vehicle with bio-inspired actuators. Our results demonstrate that the augmented model was able to improve the velocity estimation of a classical dynamics model at least by 30 % and up to 85 %. Subsequent position estimation showed up to 10 times improvement from 10 m to 1 m. We found that modelling complex vehicle dynamics is achievable with improved accuracy within a state-space that was only sparsely covered during training. The resulting model works in unknown situations and performs as well as the classical dynamics model in such situations. Furthermore, the selected method lends itself to online implementation and could be modified for further performance improvements. Our work introduces the concept of Gaussian process based model identification for underwater vehicles with bio-inspired actuators.

This thesis is written in English and is 60 pages long, including 5 chapters, 42 figures and 6 tables.

## **Annotatsioon**

### **Bio-inspireeritud aktuaatoritega autonoomse veealuse sõiduki dünaamilise mudeli täiustamine Gaussi protsessi abil**

Autonoomsed sõidukid vajavad erinevate autonoomsete funktsioonide töötamiseks täpset asukoha hinnangut, milleks tavaliselt kasutatakse sõiduki matemaatilist mudelit. Sõiduki mudeli tuvastamiseks kasutatakse erinevaid meetodeid: mudeli parameetrite leidmine, olemasoleva mudeli täiustamine häiremudeli abil või tervikliku mudeli õppimine. Autonoomsete veealuste sõidukite matemaatiliste mudelite kohta on mitmeid teadustöid, kuid nende tööde keskmes on olnud tavapärased propelleriga torpeedokujulised sõidukid. Käesolev töö näitab, et Gaussi protsessidel põhinev mudeli identifitseerimise meetod võib täiendada ebatraditsioonilise autonoomse veealuse sõiduki klassikalist dünaamikamudelit, millel on bioloogiliselt inspireeritud uimed. Antud töö tulemusel täiustati klassikalise dünaamikamudeli kiiruse hinnangut veamudeli abil 30 protsendilt kuni 85 protsendini. Sõiduki positsiooni hinnang paranes kuni kümme korda: kümnelt meetrilt ühe meetrini. Keerulise dünaamikaga sõiduki matemaatilise mudeli täiustamine saavutati eelnevalt kaetud olekuruumis õppimisprotsessi ajal. Rakendatud meetod baseerub klassikalisele dünaamikamudelile ning seega toimib sama hästi ka tundmatutes olukordades. Lisaks sellele on antud meetodit võimalik tulevikus muuta õppima töötamise ajal, mida saab vajadusel edasiseks mudeli täpsuse parendamiseks vastavalt rakendada. Antud töö erisus seisneb selle, et rakendab Gaussi protsessil põhinevat matemaatilise mudeli identifitseerimist ebatraditsioonilisele veealusele sõidukile, millel on bioloogiliselt inspireeritud ajamid.

Lõputöö on kirjutatud inglise keeles ning sisaldab teksti 60 leheküljel, 5 peatükki, 42 joonist, 6 tabelit.