

KI-Technologie für Unterwasserroboter

Frank Kirchner · Sirko Straube · Daniel Kühn ·
Nina Hoyer
(Hrsg.)

KI-Technologie für Unterwasserroboter

 Springer Vieweg

Hrsg.
Frank Kirchner
Robotics Innovation Center
DFKI GmbH und Arbeitsgruppe Robotik
Universität Bremen
Bremen, Deutschland

Daniel Kühn
Robotics Innovation Center
DFKI GmbH
Bremen, Deutschland

Sirko Straube
Robotics Innovation Center
DFKI GmbH
Bremen, Deutschland

Nina Hoyer
Robotics Innovation Center
DFKI GmbH und Arbeitsgruppe Robotik
Universität Bremen
Bremen, Deutschland

ISBN 978-3-031-42368-0 ISBN 978-3-031-42369-7 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-42369-7>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Buch ist eine Übersetzung des Originals in Englisch „AI Technology for Underwater Robots“ von Kirchner, Frank, et al., publiziert durch Springer Nature Switzerland AG im Jahr 2019. Die Übersetzung erfolgte mit Hilfe von künstlicher Intelligenz (maschinelle Übersetzung). Eine anschließende Überarbeitung im Satzbetrieb erfolgte vor allem in inhaltlicher Hinsicht, so dass sich das Buch stilistisch anders lesen wird als eine herkömmliche Übersetzung. Springer Nature arbeitet kontinuierlich an der Weiterentwicklung von Werkzeugen für die Produktion von Büchern und an den damit verbundenen Technologien zur Unterstützung der Autoren.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Nature Switzerland AG 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Petra Steinmueller

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Nature Switzerland AG und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Vorwort

Daten sind das Öl des einundzwanzigsten Jahrhunderts: Dies ist der Schlüsselsatz, der den enormen Erfolg von KI-Technologien beschreibt und erklärt, den wir im letzten Jahrzehnt beobachtet haben. Dieses Buch versucht, die Möglichkeiten für KI in einem Bereich zu skizzieren, der bisher von diesen Technologien ziemlich unberührt geblieben ist, aber großes Potenzial für das Feld der KI bietet und enorm von diesen Anwendungen profitieren wird, insbesondere in Kombination mit modernen Robotertechnologien.

Wir haben eine Gruppe von KI-Experten aus verschiedenen Bereichen der künstlichen Intelligenz und verwandten Disziplinen in einem 2-tägigen Workshop in Bremen, Deutschland, vom 27. bis 28. August 2018, zusammengebracht.

Die Idee hinter dem Workshop war, diese Wissenschaftler mit dem Bereich der Unterwassertechnologien, Anwendungen und maritimen Wissenschaften zu konfrontieren und zu identifizieren, welchen Einfluss diese Umgebung auf die Methoden, Werkzeuge und Theorien haben würde, die sie so erfolgreich im terrestrischen Bereich verwenden, anwenden und entwickeln.

Im ersten Teil des Workshops stellten Kollegen aus dem Bereich der maritimen Wissenschaft und industriellen maritimen Anwendung ihre Arbeit und die Herausforderungen vor, denen sie gegenüberstehen, wenn sie vorhandene Technologie im maritimen, aber insbesondere im Unterwasserbereich verwenden.

Es stellte sich heraus, dass es für alle Teilnehmer eine Augen öffnende Erfahrung war, dass der Einsatz und die Verwendung selbst der einfachsten und robustesten mechanischen Werkzeuge eine Herausforderung darstellt und oft mit einer enormen Menge an Vorbereitung, kontinuierlicher Überwachung und Wartung verbunden ist. Wenn es darum geht, komplexere elektromechanische Komponenten oder sogar Systeme zu verwenden, steigt die Menge an Vorbereitung und Wartung exponentiell mit der Komplexität, in Bezug auf die Anzahl der verbundenen mechatronischen Teile, der Komponenten oder Systeme. Als Ergebnis steigt der Preis für jede Aktivität, die in dieser Umgebung durchgeführt wird, entsprechend an, da der einzige Weg, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Technologie in der maritimen – und insbesondere der Unterwasserumgebung – zu gewährleisten, darin besteht, den Aufwand für die Vorbereitung und Wartung

zu erhöhen. Interessanterweise gilt dies, wenn auch in unterschiedlichem Maße, sowohl für wissenschaftliche Unternehmungen als auch für industrielle Vorhaben. Der Begriff Preis hat in diesem Zusammenhang auch eine ökologische Implikation. Wenn man die Menge an Treibstoff berechnet, die ein Standard-Offshore-Wartungsschiff an einem einzigen Tag verbrennt, ist es offensichtlich, dass ein einziger durch moderne Robotik- und KI-Technologie eingesparter Tag den ökologischen Fußabdruck solcher Operationen erheblich reduziert.

Der erste Teil skizziert einige der Herausforderungen, mit denen Experimentatoren und Betreiber konfrontiert sind, während sie meereswissenschaftliche Forschung betreiben oder Offshore-Projekte (z. B. Öl und Gas, Windkraft) durchführen. Fischer gibt einen Einblick in die Welt der Unterwasserwissenschaft und stellt die Schönheit, aber auch die Zerbrechlichkeit der Unterwasserwelt vor und skizziert die Möglichkeiten für die zukünftige meereswissenschaftliche Forschung mit intelligenten Unterwassersystemen. Motta et al. bieten eine andere Sicht auf die Unterwasserumgebung, indem sie die Anforderungen beschreiben, die notwendig sind, um die reichen Ressourcen in diesem Bereich zu nutzen, da sie den Fokus auf die Notwendigkeit legen, minimalinvasiv handeln zu können, um eine Ausbeutung ohne massive Eingriffe durchzuführen.

Der zweite Teil konzentriert sich auf die grundlegenden Technologien, die benötigt werden, um die Art von intelligenten Systemen zu erreichen, die im Kap. 1 postuliert wurden. Die Anforderungen reichen von Perspektiven aus der Materialwissenschaft in Bachmayer et al., die die Möglichkeiten neuer und fortschrittlicher Materialien und Produktionsstrategien diskutieren, um robustere Systeme zu ermöglichen, die Eigenschaften wie Selbstheilung nutzen, um so der rauen Unterwasserumgebung standzuhalten, bis hin zu Hildebrandt et al., die Ansätze zur Modularität und Rekonfigurierbarkeit mit dem Fokus auf die Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit, Vielseitigkeit und Einsatzkosten von Unterwassersystemen vorstellen. Bachmayer et al. konzentrieren sich auf eine andere, jedoch sehr wichtige Technologie, indem sie Einblicke in die Möglichkeiten zur Gestaltung neuer Antriebe geben, die es ermöglichen, Unterwasserfahrzeuge mit einer Präzision und Genauigkeit zu manövrieren und zu steuern, die den zugrunde liegenden Steuerungsalgorithmen entsprechen.

Eine weitere sehr grundlegende Anforderung ist die Kommunikation. Während die durch die Physik eingeschränkte Ausbreitung elektromagnetischer Wellen nur eine sehr schmale Bandbreite erlaubt, geben Wübben et al. Einblick in alternative Wege zur Kommunikation, indem sie semantische Konzepte als neues Kommunikationsparadigma angesichts begrenzter Bandbreiten nutzen. Schließlich konzentrieren sich Bartsch et al. auf eine weitere wichtige Fähigkeit zukünftiger Unterwasserroboter, indem sie neue Konzepte für die Unterwassermanipulation vorstellen und versuchen, Konzepte aus dem terrestrischen Aktuatordesign und -steuerung auf leistungsstarke, skalierbare Unterwasseraktuatoren zu übertragen.

Im dritten Teil konzentrieren sich die Autoren auf die Systemfunktionalität und -leistung sowie auf die Möglichkeiten zur Darstellung der Umweltstruktur und -dynamik. De Gea et al. analysieren die Möglichkeiten des maschinellen Lernens

zur Modellierung und Steuerung der zunehmenden strukturellen Komplexität von Unterwasserrobotern für präzise und intelligente Manipulation. Um diese Techniken effektiv anzuwenden, ist eine präzise Fähigkeit des Roboters zur Erkennung und Darstellung der Umgebung erforderlich, was im Fokus von Köser et al. steht, die moderne KI-Technologien zur Umgebungserkennung und -darstellung verwenden. Kampmann et al. legen den Fokus auf ein sehr wichtiges Teilsystem für die Unterwassermanipulation, indem sie sich das Greifersystem selbst ansehen. Diese Autoren betonen die Notwendigkeit für geschickte Manipulation und nutzen neue und innovative drucktolerante Sensortechnologien, um adaptive geschickte Greiffähigkeiten in Unterwasserrobotern zu erreichen. Ein äußerst schwieriger Fall ist die Modellierung der Systemdynamik in der Wassersäule. Die Verwendung einfacher mathematischer Ansätze hat sehr enge Grenzen, wenn es um sich ändernde Eigenschaften des Mediums sowie sich ändernde Dynamiken im System selbst geht. De Gea et al. analysieren die Möglichkeiten von Deep-Learning-Technologien, um ein Modell der Dynamik eines Unterwasserroboters zu approximieren, selbst im Falle einer hochkomplexen mechanischen Struktur. Kampmann et al. betonen schließlich die Notwendigkeit für neue Sensortechnologie, indem sie speziell ein Konzept nutzen, das seit Langem in terrestrischen Anwendungen etabliert ist und verschiedene Modalitäten integriert, um präzisere, robustere und letztendlich zuverlässigere Informationen aus der Umgebung zu sammeln.

Im vierten Teil betrachten die Autoren die Möglichkeiten zur Integration neuer intelligenter Roboter in tatsächliche Unterwasserszenarien. Frese et al. erforschen die Möglichkeiten der Navigation, insbesondere in engen Räumen. Im Gegensatz zur Navigation im offenen Wasser benötigen enge Räume probabilistische Ansätze zur Modellierung und Vorhersage sowohl der Umgebung als auch der Systemdynamik, um eine Hypothese zur Selbstlokalisierung sowie eine Umgebungskarte zu berechnen. Ein wichtiger Nachteil probabilistischer Methoden ist, dass sie Trainingsdaten benötigen, um sich letztendlich optimalen Lösungen anzunähern. Diese Informationen können nicht effizient in realen Tests erworben werden. Daher wird ein möglicher Ansatz angesichts der heutigen Simulationswerkzeuge und -ansätze im Kap. 13 in Teschner et al. ausgenutzt, indem die Möglichkeiten für Simulationsrahmen für Unterwasserinterventionen zur Schulung und Optimierung der Leistung von Systemen in der realen Welt erforscht werden. Egal wie viel Training in realistischen oder simulierten Szenarien wir durchführen können, am Ende, wenn es darum geht, diese neuen Arten von Systemen in der Praxis der Meereswissenschaft oder der Meeresindustrie anzuwenden, wird ein Verifizierungsprotokoll benötigt, das die Funktion des Systems beschreibt und in gewissem Maße garantiert. Lüth et al. befassen sich mit dieser Frage, wenn sie neue und bestehende Techniken zur Überprüfung der Korrektheit von Software und Hardware von Unterwasserrobotersystemen erforschen. Schließlich werden wir nicht in der Lage sein und es ist nicht beabsichtigt, den menschlichen Bediener vollständig zu ersetzen, wenn es darum geht, intelligente Roboter in Unterwasserumgebungen einzusetzen. Tatsächlich werden diese neuen Systeme erweiterte Werkzeuge für menschliche Bediener sein, die ihnen helfen werden, die Qualität der Arbeit, die sie leisten, zu verbessern, oder die es ihnen ermöglichen werden, Dinge zu tun,

die sie bisher nicht tun konnten, oder die es ihnen ermöglichen werden, Dinge zu tun, die sie bereits getan haben, aber mit weniger oder keinen zerstörerischen Eingriffen und schließlich wird es den menschlichen Bedienern ermöglichen, viel mehr Informationen über diese zerbrechliche und doch unerbittliche und harte Umgebung zu sammeln. In jedem Fall müssen Menschen und Roboter effizient interagieren, was im Fokus von Kirchner et al. steht, wenn sie neue und innovative Techniken zur Interaktion mit Unterwasserrobotersystemen beschreiben.

Bremen, Deutschland
Juni 2019

Frank Kirchner

Inhaltsverzeichnis

Unterwasserroboter: Herausforderungen und Anwendungen

Eine Übersicht über Herausforderungen und Potenziale für KI-Technologien	3
Frank Kirchner	

Intelligente Sensortechnologie: Ein „Muss“ für die Meereswissenschaft des nächsten Jahrhunderts	19
Philipp Fischer	

Herausforderungen für Tiefseeoperationen: Eine Branchenperspektive	39
Daniel Motta, Leone Andrade, Luiz Brêda Mascarenhas und Valter E. Beal	

Systemdesign, Dynamik und Kontrolle

Intelligente Haut – fortgeschrittene Materialien und Fertigung für einen modularen und vielseitigen Rumpf	55
Ralf Bachmayer und Dorothea Stübing	

Modulares und rekonfigurierbares Systemdesign für Unterwasserfahrzeuge	65
Marc Hildebrandt, Kenneth Schmitz und Rolf Drechsler	

Intelligenter Antrieb	77
Ralf Bachmayer, Peter Kampmann, Hermann Pleiteit, Matthias Busse und Frank Kirchner	

Herausforderungen und Möglichkeiten in der Kommunikation für autonome Unterwasserfahrzeuge	91
Dirk Wübben, Andreas Könsgen, Asanga Udugama, Armin Dekorsy und Anna Förster	

Modulare Unterwassermanipulatoren für autonome Unterwassereinsätze	103
Sebastian Bartsch, Andrej Kolesnikov, Christof Büskens und Mitja Echim	
Intervention und Umweltanalyse	
Maschinelles Lernen und dynamische Ganzkörpersteuerung für Unterwassermanipulation	115
José de Gea Fernández, Christian Ott und Bilal Wehbe	
Adaptive Steuerung für Unterwasser-Greifsysteme	127
Peter Kampmann, Christof Büskens, Shengdi Wang, Dirk Wübben und Armin Dekorsy	
Herausforderungen bei der Unterwasser-Visuellen Navigation und SLAM	137
Kevin Köser und Udo Frese	
Multimodale Unterwasser-Sensorik für Umweltkartierung und Fahrzeugnavigation	149
Peter Kampmann, Ralf Bachmayer, Daniel Büscher und Wolfram Burgard	
Auf dem Weg zu einem Simulations-Framework für Unterwasser-Interventionen	159
Matthias Teschner und Gabriel Zachmann	
Autonomie und Missionsplanung	
Neue Richtungen für die Navigation autonomer Unterwasserfahrzeuge in beengten Räumen	171
Udo Frese, Daniel Büscher und Wolfram Burgard	
Verifizierung für autonome Unterwassersysteme	185
Christoph Lüth, Nicole Megow, Rolf Drechsler und Udo Frese	
Ein interaktives strategisches Missionsmanagementsystem für intuitive Mensch-Roboter-Kooperation	199
Elsa Andrea Kirchner, Hagen Langer und Michael Beetz	