

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2023

HN 125

3D-Positionierung
auf See

60km



Autonome Unter-Wasser-Fahrzeuge für das hydrographische Monitoring von kritischen Infrastrukturen

Ein Beitrag von NIKLAS-MAXIMILIAN SCHILD, LUKAS KLATT, MARKUS KRAFT und HARALD STERNBERG

Pipelines stellen wichtige Versorgungsleitungen dar, die Energieträger über weite Strecken transportieren und Länder miteinander verbinden. Ein regelmäßiges Monitoring und rechtzeitige Detektion kleinerer Schäden verhindern größere Unfälle mit gravierenden Folgen für Mensch und Umwelt. Dafür stellen AUVs (Autonomous Underwater Vehicles) inzwischen eine effiziente Erweiterung in der Hydrographie dar, da sie wirtschaftlich effizient und hochpräzise akustische, optische und elektromagnetische Sensordaten aus unmittelbarer Nähe der Pipeline aufnehmen können. In dem vom BMWK geförderten Forschungsprojekt CIAM werden Navigation, Objekterkennung und Autonomiegrad in einem Konsortium von neun Partnern aus Wissenschaft und Industrie weiterentwickelt.

AUV | ROS-Framework | Autonomiegrad | Objekterkennung | Pipelineinspektion | Imaging-Sonar | SLAM
AUV | ROS framework | autonomy level | object detection | pipeline inspection | imaging sonar | SLAM

Pipelines are important supply lines that transport energy sources over long distances and connect countries with each other. Regular monitoring and timely detection of minor damage prevent major accidents with serious consequences for people and the environment. To this end, AUVs (autonomous underwater vehicles) are now an efficient extension in hydrography, as they can record economically efficient and highly precise acoustic, optical and electromagnetic sensor data from the immediate vicinity of the pipeline. In the CIAM research project funded by the BMWK, navigation, object detection and the level of autonomy are being further developed in a consortium of nine partners from science and industry.

Autoren

Niklas-Maximilian Schild, Lukas Klatt und Markus Kraft sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der HCU. Harald Sternberg ist Professor für Hydrographie an der HCU in Hamburg.

niklas-maximilian.schild@hcu-hamburg.de

Einleitung

Ein weltweites Netzwerk von Unter-Wasser-Pipelines transportiert kontinuierlich verschiedene Energieträger wie Öl, Gas und erneuerbare Energien über große Entfernungen. Es trägt zur Energieversorgung in zahlreichen Ländern der Welt bei und stellt so eine kritische Infrastruktur für die heutige Gesellschaft dar. Mögliche Beschädigungen oder Havarien würden schwerwiegende wirtschaftliche und ökologische Schäden erzeugen. Um diese Gefahr zu minimieren, ist eine regelmäßige Überwachung und Wartung der Pipelines notwendig. Herkömmliche hydrographische Datenerfassungsmethoden mit Vermessungsschiffen werden vermehrt durch unbemannte Vermessungssysteme ergänzt, um Effizienz und Präzision zu steigern, Datenlücken zu schließen und Umweltbelastungen zu verringern.

In diesem Zusammenhang hat sich die Entwicklung von autonomen Unter-Wasser-Fahrzeugen (AUVs) als innovative Methode für hydrographische Messungen erwiesen. AUVs bieten eine Reihe entscheidender Vorteile, die eine präzise und umweltfreundliche Datenerfassung ermöglichen.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Trägerplattformen können AUVs näher an den Meeresboden oder das zu vermessende Objekt heranfahren, was zu genaueren Messergebnissen und zu einem geringeren Eingriff auf das maritime Leben bzw. Ökosystem führt, da mit geringerer Schallleistung vermessen werden kann. Die leise und effiziente Fortbewegung eines AUV minimiert zudem Lärm- und Schadstoffemissionen und trägt somit zu einer umweltfreundlichen Datenerfassung bei. Die Autonomie ermöglicht den Einsatz ortsunabhängig von menschlichem Personal am zu vermessenden Objekt. Das AUV kann vorprogrammierten Routen folgen, komplexe Vermessungsaufgaben erfüllen und in schwer zugänglichen Gebieten arbeiten, was eine hohe Flexibilität und Effizienz bei der Datenerfassung ermöglicht. Das Risiko für die menschliche Besatzung wird reduziert, da diese nicht mehr in gefährliche Gebiete fahren müssen.

AUVs werden schon seit einiger Zeit erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Dennoch müssen noch einige Herausforderung in der Weiterentwicklung bewältigt werden. Die Energieversorgung über

Batterien oder Brennstoffzellen ist ein elementarer Bestandteil, der die Nutzlast und Einsatzdauer begrenzt. Auch die Kommunikation mit dem Betriebspersonal ist eingeschränkt, da Funkwellen praktisch nicht durch die Wassersäule transportiert werden können. Dies stellt auch für die Navigation besondere Herausforderungen dar, da die Möglichkeit der Positionsbestimmung über GNSS nicht besteht (Schild 2022). An diese Herausforderungen lassen sich verschiedene Forschungsfragen knüpfen, die im Rahmen des Forschungsprojekts CIAM beantwortet werden sollen.

In diesem Beitrag stellen wir das laufende Forschungsprojekt CIAM vor, welches sich mit der Entwicklung eines AUV für hydrographische Messungen von kritischen Infrastrukturen befasst. Insbesondere erläutern wir die Implementierung eines Algorithmus für die autonome Verfolgung von Pipelines und das Navigationskonzept zur Gewährleistung einer präzisen Positionierung des AUV.

Forschungsprojekt CIAM

Das Forschungsprojekt CIAM (Comprehensive Integrated and Fully Autonomous Subsea Monitoring) ist ein Verbundprojekt von insgesamt neun Projektpartnern aus Wissenschaft und Industrie. Ziel des Projekts, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, ist die Entwicklung einer integrierten und autonomen Lösung zur Überwachung kritischer Infrastrukturen in der Tiefsee. Projektziel ist, ein AUV zu konzipieren, das regelmäßige Inspektionen durchführen und den aufwendigen Einsatz von Tauchern oder bemannten Fahrzeugen ersetzen kann. Dazu werden verschiedene Funktionen wie Navigation, Sensordatenverarbeitung, Objekterkennung und Hindernisvermeidung implementiert. Um sicherzustellen, dass alle beteiligten Entwickler effizient zusammenarbeiten können, wurde eine einheitliche Struktur eingeführt, um die unterschiedlichen Softwareteile zu entwickeln und zusammenzuführen. Die Verwendung eines grundlegenden Frameworks gewährleistet, dass alle Softwareteile effizient miteinander interagieren und später nahtlos auf dem AUV installiert werden können. Ein Framework ist eine Art Vorlage oder Sammlung von Tools und Bibliotheken, die Entwickler:innen helfen, schnell und effizient Softwareanwendungen zu implementieren.

Im Falle des CIAM-Projekts wurde das Robot Operating System (ROS) als Basis-Framework ausgewählt, da es sich speziell bei der Entwicklung von Robotik-Anwendungen in der Praxis bewährt hat. Ein Vorteil der Microservice-Struktur ist die einfache Integration verschiedener Softwarebausteine sowie die zahlreichen bereits bestehenden Tools und Bibliotheken. Dazu gehören zum Beispiel die Möglichkeit, verschiedene Hardwarekom-

ponenten und Sensoren zu steuern, Transformationen zwischen einzelnen Koordinatensystemen durchzuführen oder Karten von der Umgebung in 3D darzustellen (Linzer et al. 2022). ROS stellt auch eine umfassende Dokumentation und Unterstützung durch eine aktive Community von Entwickler:innen zur Verfügung, die bei der Implementierung von Algorithmen und der Behebung von möglichen Problemen helfen können. Zusätzlich bietet ROS die Flexibilität, mit verschiedenen Betriebssystemen wie Linux, Windows und MacOS sowie verschiedenen Programmiersprachen wie C++, Python und Java zu arbeiten. Dies ermöglicht Entwickler:innen, die am Projekt beteiligt sind, ihre bevorzugte Programmiersprache und das Betriebssystem zu wählen und dennoch problemlos mit dem ROS-Framework zu interagieren.

Aufnahme von Testdaten

Um Testdaten einer Unter-Wasser-Pipeline aufzuzeichnen und Algorithmen zu implementieren und zu bewerten, wurde ein Pipeline-Mockup in ein Reservoir eingetaucht. Dieses Mockup besteht aus acht separaten Komponenten mit einem Durchmesser von jeweils 219 mm und hat die Form eines geschlossenen achteckigen Rings mit einem Durchmesser von 40 Metern. Die Struktur wurde von einer Testplattform beobachtet, die mit zahlreichen Sensoren ausgestattet ist, wie zum Beispiel einem Imaging-Sonar und einem Inertialnavigationssystem zur Positionsbestimmung. Die Testplattform bewegte sich unter Wasser in einem Abstand von etwa 2,3 m über der Pipeline (Smith et al. 2022). Die mit dem Imaging-Sonar durchgeführte Vermessung erfasste nicht nur die Pipeline, sondern auch einzelne Felsen im Reservoir. Die Messdaten der unterschiedlichen Sensoren wurden im Rosbag-Format gespeichert. Durch die Verwendung dieses standardisierten Formats können Rosbags beliebig oft von verschiedenen Projektpartnern in ROS wiedergegeben werden. Dies ermöglicht die wiederholte Ausführung des Messablaufs und erleichtert die Entwicklung und Überprüfung eines ROS-Knotens (Linzer et al. 2022). Der mit einem Rosbag entwickelte Algorithmus kann mit Hilfe anderer Rosbags überprüft oder direkt in das AUV integriert und bei einer echten Messfahrt eingesetzt werden.

Autonome Identifizierung von Pipelines in Imaging-Sonar-Messdaten

Ein entscheidender Faktor bei der Entwicklung eines effizienten AUV für die Pipelineinspektion ist die Fähigkeit, Pipelines automatisch zu erkennen und zu verfolgen (Kraft 2022). Diese Aufgabe ist jedoch aufgrund der schlechten Sicht und der komplexen Bedingungen, die in vielen Unter-Wasser-Umgebungen herrschen, eine große Herausforderung. Es gibt zahlreiche Sensoren, die für

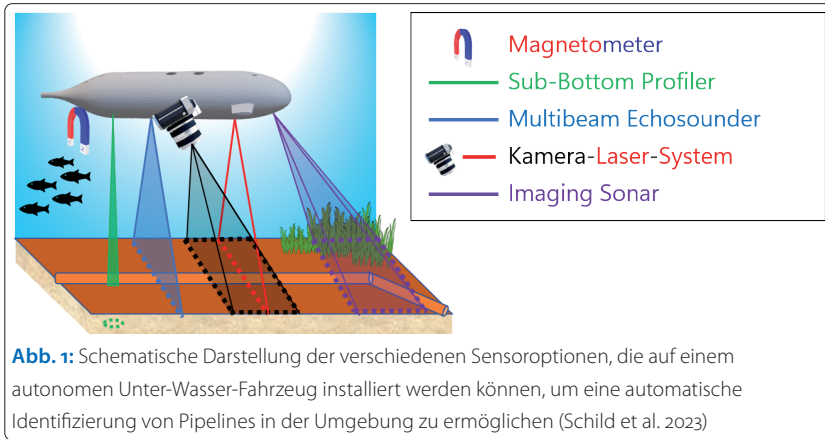


Abb. 1: Schematische Darstellung der verschiedenen Sensoroptionen, die auf einem autonomen Unter-Wasser-Fahrzeug installiert werden können, um eine automatische Identifizierung von Pipelines in der Umgebung zu ermöglichen (Schild et al. 2023)

diese Aufgabe denkbar sind (siehe Abb. 1). Während optische Systeme wie Kamera-Laser-Systeme in klaren Gewässern gut funktionieren, sind sie in schwierigeren Bedingungen und in Gebieten mit schlechter Wasserqualität oft unzureichend. Eine vielversprechende Ergänzung ist der Einsatz von Imaging-Sonaren, welche akustische Bilder der Umgebung liefern können. Durch den Einsatz akustischer Sensoren können sowohl in klaren als auch in trüben Gewässern genaue Ergebnisse erzielt werden. Im Vergleich zu anderen akustischen Sensoren wie Fächerecholoten (multibeam echo sounder), Vertikalecholoten (single-beam echo sounder) oder Sedimentecholoten (sub-bottom profiler) hat ein Imaging-Sonar einen entscheidenden Vorteil: Es kann in Fahrtrichtung ausgerichtet werden. Dadurch erkennt es den Verlauf der Pipeline mehrere Meter im Voraus, was zur Optimierung der Routenplanung des AUV beiträgt. Diese Methode bietet erhebliche Kosten- und Zeiteinsparungen, da das AUV Hindernisse effektiver umfahren und unnötige Umwege vermeiden kann.

Um die Unterwasserwelt abzutasten, sendet ein Imaging-Sonar einen horizontalen Fächer von Hochfrequenzstrahlen, typischerweise im Bereich von 600 bis 800 kHz, in die Wassersäule. Dieser Fächer ist wie in Abb. 2a dargestellt aufgebaut und besteht aus einer bestimmten Anzahl von Strah-

len. Jeder dieser Strahlen hat eine bestimmte Anzahl von Bins, die kontinuierlich die Intensität des reflektierten Signals aufzeichnen (siehe Abb. 2b). Das zur Aufzeichnung der Daten verwendete Imaging-Sonar, das Tritech Gemini 720is, verfügt über 512 Strahlen und 6032 einzelne Intensitätsmessungen innerhalb eines Strahls (Tritech 2021). Mit diesen hochauflösenden Daten kann das AUV die Pipeline und ihre Umgebung präzise erfassen.

Um die Pipeline in den Messdaten eines Imaging-Sonars automatisch zu identifizieren und sowohl die Position als auch die Orientierung der Pipeline zu bestimmen, sind einige Verarbeitungsschritte erforderlich. Die für diese Aufgabe entwickelte Methode basiert auf der Annahme, dass eine Pipeline in den Daten eine zusammenhängende, längliche Ansammlung von Punkten darstellt. Um relevante Pipeline-Objekte zu identifizieren, wird der entwickelte Algorithmus folgende Schritte durchführen: Zunächst wird der relevante Messbereich ermittelt, dann werden alle Objekte in den Messdaten segmentiert und schließlich wird eine geometrische Analyse angewendet, um das Objekt zu identifizieren, das höchstwahrscheinlich eine Pipeline darstellt. Die Schritte und Details der automatischen Filterung sind bei Schild et al. (2023) nachzulesen und werden daher im Folgenden nur kurz erörtert.

Um die Effizienz bei der Suche nach Pipelines zu verbessern, wird die Datenmenge der einzelnen Messungen reduziert, indem zunächst der wesentliche Messbereich herausgefiltert wird. Dieser Bereich umfasst die grün markierten Bins in Abb. 3, welche Messungen beinhalten, die Informationen über den Meeresboden und die dort verlaufenden Pipelines liefern. Die blau hervorgehobenen Bins dagegen sind für die Suche nach Pipelines nicht relevant, da sie den Bereich zwischen dem Sensor und dem Meeresboden darstellen. Der schwarze Bereich zeigt das fehlende Signal aufgrund der vollständigen Reflexion vom Meeresboden, was zu einem Messrauschen führt.

Zur Bestimmung des wesentlichen Messbereichs wurde eine automatische Filtermethode entwickelt, die auf der Analyse des Signal-Rausch-Verhältnisses der einzelnen Bins aufbaut. Die Methode basiert auf der Annahme, dass die Standardabweichung im Bereich zwischen dem Sensor und dem Meeresboden aufgrund fehlender Reflexionen gering ist, während sie im hinteren Bereich (bei Messungen im Boden) mangels fehlender Reflexionen und des Sensorverstärkungsrauschens hoch ist.

Nachdem der Punktwolkendatensatz automatisch und sinnvoll reduziert wurde, besteht das Ziel der Segmentierung darin, Objekte zu identifizieren und zu extrahieren, die potenziell eine Rohrleitung darstellen könnten. Bei diesem Prozess werden alle zusammenhängenden Punktcluster innerhalb des

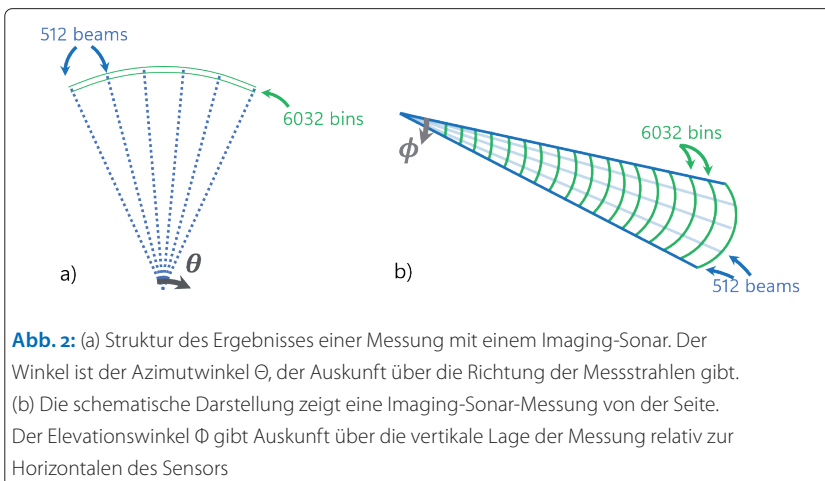


Abb. 2: (a) Struktur des Ergebnisses einer Messung mit einem Imaging-Sonar. Der Winkel ist der Azimutwinkel θ , der Auskunft über die Richtung der Messstrahlen gibt. (b) Die schematische Darstellung zeigt eine Imaging-Sonar-Messung von der Seite. Der Elevationswinkel ϕ gibt Auskunft über die vertikale Lage der Messung relativ zur Horizontalen des Sensors

Datensatzes gesucht und dann alle kleinen Punktcluster verworfen, bei denen es unwahrscheinlich ist, dass sie einer Rohrleitung entsprechen. Ein Beispiel für einen angewendeten Filter ist der *radius outlier removal filter*, der auf die verbleibenden Messdaten angewandt wurde. Dieser Filter entfernt Datenpunkte, die nicht genügend Nachbarpunkte innerhalb eines bestimmten Radius haben (Prio et al. 2022). Denn bei kleinen Punktansammlungen sind nicht genügend Punkte vorhanden, um zuverlässig zu identifizieren, ob es sich um eine Pipeline handelt oder nicht.

In der abschließenden geometrischen Analyse werden alle länglichen Punktansammlungen mit einer bestimmten Sollbreite gesucht, der Rest wird verworfen. Die Sollbreite wird anhand des bekannten Durchmessers einer Pipeline und der Höhe des AUV über dem Boden geschätzt. Die Höhe über dem Boden kann mit einem DVL bestimmt werden. Die ermittelte Sollbreite wird als Eingabe für einen RANSAC-Algorithmus verwendet, um die bestmögliche Linie in den Daten zu finden (Fischler und Bolles 1981). Anhand der Richtung der gefundenen Linie und des Startpunkts des Punktclusters kann die Lage und Ausrichtung eines Objekts bestimmt werden, bei dem es sich höchstwahrscheinlich um eine Pipeline handelt. Der RANSAC-Algorithmus wird dann wiederholt, um festzustellen, ob noch ein Pipeline-Segment in den Daten vorhanden ist. Dies ist besonders nützlich, wenn eine Verzweigung einer Rohrleitung auftritt und somit für eine effiziente Routenplanung unerlässlich wäre.

Abb. 4a zeigt eine Imaging-Sonar-Messung, die eine Rohrleitung mit einer Verzweigung enthält. In Abb. 4b wird das Ergebnis dargestellt, das automatisch vom Algorithmus erzielt wurde. Trotz des starken Messrauschens und zusätzlicher Linien konnte der Algorithmus beide Rohrleitungsegmente zuverlässig erkennen. Die Erkennung beider

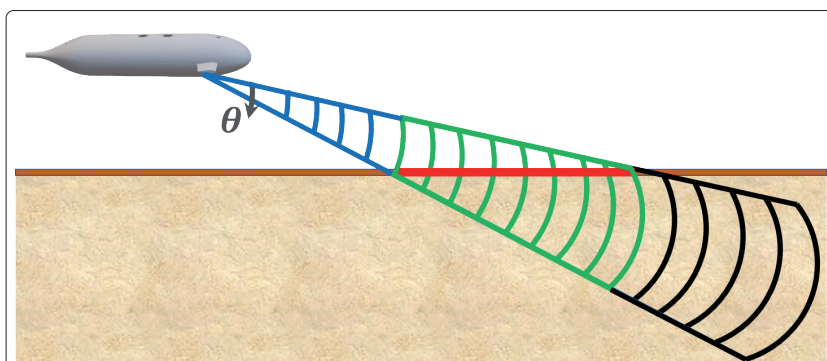


Abb. 3: Seitenansicht einer Messung, die mit einem auf den Meeresboden gerichteten Imaging Sonar durchgeführt wird. Der grüne Bereich enthält die relevanten Messungen zum Auffinden von Pipelines in den Messdaten

Segmente ermöglicht es dem AUV, der Pipeline zu folgen und sich effizient auf die bevorstehende Richtungsänderung der Pipeline vorzubereiten.

Im restlichen Datensatz wurde die Pipeline ebenfalls zuverlässig erkannt. Der Algorithmus identifizierte die Punkte, die zu einer Pipeline gehören, und ermittelt die Lage und Ausrichtung der Pipeline.

Navigation eines autonomen Unterwasser-Fahrzeugs

Die Navigation ist unter Wasser eine besonders aufwendige Herausforderung. Es gilt, sowohl die Steuerung des AUV sicherzustellen als auch die aufgenommenen Sensordaten für die weitere Untersuchung und Analyse zu georeferenzieren. Bei der Überwachung von Versorgungsstrukturen wie Pipelines und Tiefseekabeln gelten besondere Herausforderungen, denen begegnet werden muss. Im Projekt wird ein komplexer Kalmanfilter zur Sensordatenfusion eingesetzt. Aufgabe ist dabei, die Präzision, Robustheit und Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung durch Weiterentwicklungen und kaskadierte Ergänzungen zu optimieren.

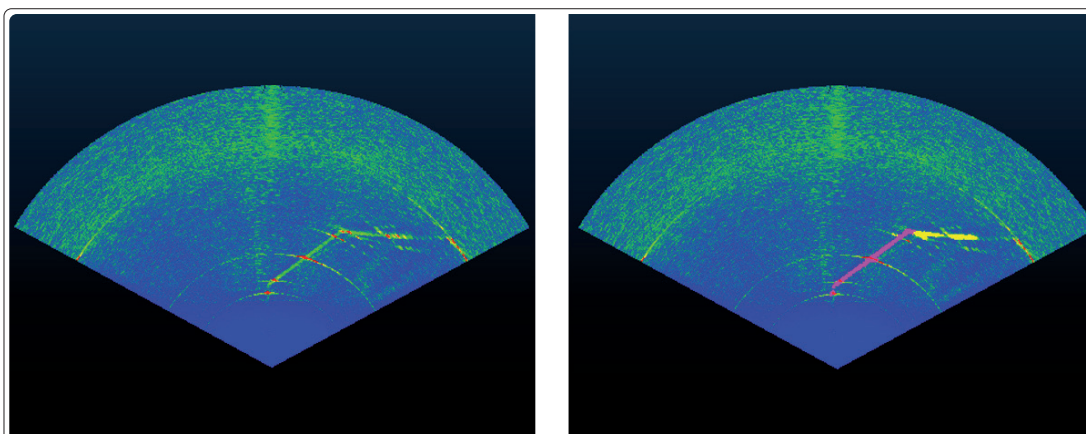


Abb. 4: (a) Vermessung des Meeresbodens, auf dem sich eine Pipeline befindet, mit einem Imaging-Sonar.
 (b) Die rosa und gelb hervorgehobenen Punkte sind jeweils Segmente, die von dem entwickelten Algorithmus erfolgreich als Pipelines erkannt wurden (Schild et al. 2023)

Grundsätzlich gilt, dass zwischen relativen und absoluten Fehlern bei der Ortsbestimmung unterschieden werden muss. Eine hohe relative Präzision und Richtigkeit zu einem lokalen Koordinatensystem ist wichtig für die Sensordatenauswertung und ist Basis zur Detektion von möglichen Schadstellen. Für eine robuste Navigation muss eine absolute Genauigkeit im globalen Referenzsystem von ausreichender Qualität erreicht werden. Dabei ist insbesondere die Zuverlässigkeit und geringe Ausfallwahrscheinlichkeit wichtig, die auch unter kritischen Einsatzbedingungen gewährleistet werden muss.

Der wichtigste Baustein der Navigation von AUVs ist die Koppelnavigation, bei der das U-Boot auf Basis von Beschleunigungs-, Drehraten- und Magnetfeldsensoren die Position des Systems ermittelt. Unterstützend können Doppler Velocity Logger eingesetzt werden, um Informationen über die Strömung oder die Geschwindigkeit über Grund zu erhalten. Wie bei jedem inertialen Messsystem, führen Messrauschen und kleinere Kalibrierfehler kontinuierlich zu kleineren Abweichungen in der Lage- und Kursbestimmung. Diese summieren sich mit fortschreitender Missionszeit fort, sodass der Drift der inertialen Navigation eine Georeferenzierung des Systems und der aufgenommenen Sensordaten erschwert.

Für diese Herausforderung lässt sich die inertielle Navigation von der Wasseroberfläche aus unterstützen. Ein Mutterschiff oder auch begleitendes Autonomous Surface Vessel (ASV) kann die eigene Position klassisch über GNSS ermitteln und über ein USBL-System (Ultra-short Baseline) mit akustischen Signalen an das AUV kommunizieren. Diese Nachrichten fließen als Updates in den komplexen Filter ein und bieten der Positionsschätzung Informationen mit einer haltbaren absoluten Lagegenauigkeit.

Um den Autonomiegrad des AUV zu steigern und Kosten beim Betrieb zu senken, werden in CIAM Möglichkeiten untersucht, ohne begleitendes Schiff zuverlässig die eigene Position zu bestimmen.

Eine Möglichkeit zur Elimination des Drifts bei der Koppelnavigation ist die audio-visuelle Odometrie. Das AUV kann vorbeiziehende Features zur Bestimmung der absolut zurückgelegten Entfernung verwenden; vergleichbar mit der Geschwindigkeitsbestimmung bei Autos durch Zählen der Umdrehungen der Reifen. Insbesondere regelmäßig auftretende Ereignisse wie Verbindungsstücke zwischen einzelnen Segmenten sowie Halterungen sind dafür geeignet. Weiterhin wird im Projekt der Ersatz der sonst üblichen fiberoptischen Gyrometer (FOG) durch IMUs auf Basis mikroelektronisch-mechanischer Systeme (MEMS) geprüft. Im Projekt durchgeführte Laborarbeiten und Herstellerangaben geben höhere Ungenauigkeitseigenschaften für MEMS an, sodass die Erweiterung insbesondere

der Kursbestimmung durch extrinsische Informationen zielführend erscheint. Für eine gezielte Unterstützung der Orientierung durch Magnetometer und gyroskopische Sensoren lassen sich bildgebende Sonarverfahren wie das Imaging-Sonar sowie nach unten gerichtete Kameras verwenden. Die Daten werden in zwei Stufen ausgewertet. Zunächst findet eine Feature-Erkennung und Bildsegmentierung statt, gefolgt von einer Schätzung der Kursparameter. Diese Schätzung wird durch ein trainiertes neuronales Netzwerk vorgenommen, das die Gewichtung bei der Sensordatenfusion vorhersagt. Erste Projektergebnisse deuten auf ein vielversprechendes Potenzial hin.

Neben der Weiterentwicklung und Ergänzung der Koppelnavigation wird im CIAM-Projekt untersucht, ob auch A-priori-Informationen AUVs dabei unterstützen können, ihre Position zu bestimmen. Diese Informationen können aus verschiedenen Quellen stammen, einschließlich Karten oder bereits bekannten Standorten von Unter-Wasser-Objekten oder Features von oder neben Pipelines. Das können Strukturen an der Pipeline sein (Verbindungen, Patches oder Knicke) sowie Strukturen in unmittelbarer Umgebung des Untersuchungsobjekts (Wracks, Riffe und Felsstrukturen). Auch aufgedruckte Features wie Nummerierungen oder Schriftzüge lassen sich als Landmarken verwenden. Eine solche Navigation mit A-priori-Informationen ermöglicht es dem U-Boot, seine Position zu ermitteln und Updates in die Sensorfusion einfließen zu lassen. Die Qualität dieser Updates liegt ähnlich wie bei USBL-Updates weniger in der Präzision, sondern vielmehr in der Zuverlässigkeit und Richtigkeit der absoluten Lage.

Eine weitere Methode zur Navigation, die bei autonomen Unter-Wasser-Booten verwendet werden kann, ist das Vorgehen der gleichzeitigen Lokalisierung und Kartierung (simultaneous localisation and mapping – SLAM). SLAM ist ein Verfahren, bei dem das U-Boot seine Umgebung kartiert und gleichzeitig seine Position in der Karte bestimmt. Mit Hilfe einer echtzeitfähigen Umgebungsrepräsentation lässt sich vom AUV die Umwelt scannen, eine Karte erstellen und die Position innerhalb dieser Karte schätzen. Diese rechenaufwendige Aufgabe bietet jedoch erst ihre Vorteile, wenn ein Loop-Closure eintritt und Features aus unterschiedlichen Perspektiven ermittelt werden können. Dieses Szenario ist bei der Pipeline-Überwachung eher unwahrscheinlich.

Durch die Kombination verschiedener Navigationsmethoden können autonome Unter-Wasser-Roboter ihre Position mit höherer Genauigkeit bestimmen und ihre Missionen effektiver ausführen. Schließlich bietet eine echtzeitfähige semantische Umgebungsrepräsentation in Verbindung mit einer robusten Navigation die Möglichkeit, die Steuerung des AUV zu erweitern. So kann die Kollision mit

statischen Hindernissen vermieden, beweglichen Objekten ausgewichen oder Points of Interests wie Schadstellen können gezielt untersucht werden.

Zusammenfassung

Natürliche Ressourcen wie Öl und Gas spielen eine wichtige Rolle bei der Energieversorgung und sind für die Weltwirtschaft von großer Bedeutung. Pipelines sind eine der wichtigsten Infrastrukturen für den Transport dieser Ressourcen. Rohrbrüche und Lecks in Unter-Wasser-Pipelines können jedoch erhebliche Schäden verursachen, sowohl für die Umwelt als auch für die Wirtschaft.

Daher ist die regelmäßige Überwachung von Unter-Wasser-Pipelines von entscheidender Bedeutung, um potenzielle Schäden frühzeitig zu erkennen und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung zu ergreifen. Herkömmliche, von Schiffen durchgeführte Vermessungsmethoden sind jedoch nicht immer ausreichend, da sie zeitaufwendig sind und nur begrenzte Daten liefern können. Die Entwicklung von autonomen Unter-Wasser-Fahrzeugen (AUVs) bietet eine vielversprechende Ergänzung. Durch den Einsatz von AUVs können Pipelines genauer vermessen werden, während gleichzeitig die Umweltauswirkungen minimiert werden.

Die Entwicklung eines AUV ist eine enorme Herausforderung, da es unter anderem autonom navigieren, präzise Messungen durchführen und Kollisionen mit Hindernissen vermeiden muss. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Forschungsprojekts CIAM arbeiten neun Projektpartner an der Entwicklung eines solchen AUV. Ein wichtiger Aspekt der AUV-Entwicklung ist die autonome Verfolgung einer Pipeline. Hierfür eignet sich insbesondere ein Imaging-Sonar, welches in Fahrtrichtung ausgerichtet werden kann und somit

den zukünftigen Verlauf einer Pipeline bestimmen kann. Dies kann wiederum in der Routenplanung effizient berücksichtigt werden. Um dies zu ermöglichen, wurde ein Algorithmus entwickelt und in diesem Beitrag vorgestellt, der in der Lage ist, eine Pipeline in den Imaging-Sonar-Daten automatisch zu identifizieren. Dank dieses Algorithmus kann ein AUV eine Pipeline präzise verfolgen und Vermessungsdaten sammeln, ohne menschliches Eingreifen zu erfordern.

Ein weiterer spannender Aspekt, der im Rahmen dieses Beitrags vorgestellt wurde, betrifft das autonome Navigieren eines AUV. Dies ist einerseits notwendig, um georeferenzierte Sensordaten zur Untersuchung und Analyse der Pipeline zu erfassen, andererseits gewährleistet es auch, dass das AUV mit den aufgezeichneten Daten sicher zurückkehren kann. Eine besondere Herausforderung bei der Positionierung von AUVs unter Wasser stellt das Fehlen von GNSS-Signalen dar, da diese aufgrund der Eigenschaften des Wassers nicht in dieses eindringen können. Um die Positionierung unter Wasser zu ermöglichen, kommen unter anderem Inertialnavigationssysteme zum Einsatz. Diese Systeme nutzen Gyroskope, Beschleunigungssensoren und Magnetometer, um die Position des AUV zu bestimmen. Allerdings führen geringfügige Abweichungen, die beispielsweise durch Messrauschen entstehen, im Verlauf der Mission zu einer fortschreitenden Anhäufung von Abweichungen. Daher müssen Inertialnavigationssysteme durch andere Methoden unterstützt werden, um eine präzise Navigation zu gewährleisten. In diesem Beitrag wurden vielversprechende Möglichkeiten vorgestellt, wie die Unterstützung durch Umgebungsinformationen, die im weiteren Verlauf des Projekts eingehender untersucht und implementiert werden sollen. //

Literatur

- Fischler, Martin A.; Robert C. Bolles (1981): Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, DOI: 10.1145/358669.358692
- Kraft, Markus (2022): Pipelinedetektion durch Autonomes Underwater Vehicles (AUVs). In: MST 2022 – Multisensortechnologie: Von (A)nwendungen bis (Z)ukunftstechnologien. DVW-Schriftenreihe, Band 103
- Linzer, Finn; Niklas-Maximilian Schild; Jens-AndréPaffenholz (2022): ROS im Multisensorsystem – Am Beispiel von geodätischen Anwendungen. In: MST 2022 – Multisensortechnologie: Von (A)nwendungen bis (Z)ukunftstechnologien. DVW-Schriftenreihe, Band 103
- Prio, Makhluq Hossain; Sahil Patel; Goutam Koley (2022): Implementation of Dynamic Radius Outlier Removal (DROR) Algorithm on LiDAR Point Cloud Data with Arbitrary White Noise Addition. 2022 IEEE 95th Vehicular Technology Conference, Helsinki, DOI: 10.1109/VTC2022-Spring54318.2022.9860643
- Schild, Niklas-Maximilian (2022): Wo geht's lang im Dunkeln? Positionierung und Navigation unter Wasser am Beispiel eines AUV. In: Hydrographie – Messen mit allen Sinnen, DVW-Schriftenreihe, Band 102
- Schild, Niklas-Maximilian; Lukas Klatt; Markus Kraft (2023): Subsea pipeline tracking using a forward-looking imaging sonar for autonomous underwater vehicle. FIG Working Week 2023, Orlando, USA
- Smith, Amos; Jeremy Coffelt; Kai Lingemann (2022): A Deep Learning Framework for Semantic Segmentation of Underwater Environments. OCEANS 2022, DOI: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977212
- Tritech (2021): Gemini 720is Real-time multibeam imaging sonar. Datasheet