

Exposé zur Diplomarbeit  
”*Adaptive Positions- und Lageregelung eines autonomen  
Unterwasserfahrzeugs mittels online optimierter,  
physikalischer Fahrzeugmodelle*”

Florian Keßeler  
(Florian.Kessler@dfki.de)

1. September 2010

Betreuer:  
Marc Hildebrandt (Marc.Hildebrandt@dfki.de)  
Prof. Dr. Frank Kirchner (Frank.Kirchner@dfki.de)

# 1 Motivation

Vor allem kleinere autonome Unterwasserfahrzeuge (AUVs) verfügen häufig über begrenzte Sensorik zur Positions-, Lage- und Geschwindigkeitsbestimmung. Die exakte Positionsbestimmung ist bis auf die Bestimmung der aktuellen Tauchtiefe kaum möglich, selbst die Tiefe über Grund lässt sich mit gängigen Echoloten nur mit einer Frequenz von wenigen Hertz bestimmen.

Aus diesen geringen Abtastfrequenzen der üblicherweise hohen Masse und dem hydrodynamischen Widerstand der Fahrzeuge ergeben sich zwangsläufig Probleme bei klassischen Regelungsmodellen (beispielsweise PID- oder Fuzzy-Regler). Diese Probleme reichen von resonanten Schwingungen und langsamer Konvergenz bis zu schlechter Adaption an wechselnde Umweltbedingungen (Strömungs-, Druck-, Temperatur- oder Salinitätsänderungen).

Diese Probleme erschweren die präzise Positionierung und Orientierung von Unterwasserfahrzeugen. Für viele komplexere Aufgaben sind diese Fahrzeuge jedoch auf eine stabile Positionierung und Orientierung angewiesen.

Durch Kenntnis physikalischer Fahrzeug- und Umweltparameter lässt sich die erste Art der Probleme verringern, indem aus Regelabweichung, aktuellem Systemzustand und bekannten physikalischen Parametern zunächst die Stellgröße (bei elektrisch betriebenen Unterwasserfahrzeugen meistens die Pulsfrequenz der Thruster) berechnet wird. Hierbei kann das erwartete Verhalten des Fahrzeugs mit in die Extrapolation der Messwerte einfließen um diese grundlegend zu verbessern bzw. überhaupt erst zu ermöglichen.

Durch Adaption an die exakten Eigenschaften des Systems zur Laufzeit lassen sich Probleme der zweiten Gruppe reduzieren. So kann es möglich sein, einen in einer kontrollierten Laborumgebung kalibrierten Regler in einer anderen Umgebung (beispielsweise einem Fluss mit relativ konstanter Strömung oder Salzwasser mit stärkerem Auftrieb) einzusetzen oder auf Änderungen der Parameter oder ungenaue oder veraltete Kalibrierung zur Laufzeit zu reagieren.

# 2 Ziele

Ziel der Diplomarbeit ist es, ein brauchbares physikalisches Modell für das AUV „AVALON“ zu erarbeiten und auf Basis dessen einen Regler für die verschiedenen Freiheitsgrade (Translation in drei Achsen sowie Rotation um Hoch- und Querachse) des Fahrzeugs zu entwickeln. Dieser Regler soll auch bei niedriger Abtastfrequenz des Istwertes eine Regelung mit geringem Schwingungsverhalten und möglichst geringer Konvergenzzeit ermöglichen.

Bei der Auswahl der Regelungs- und Adaptionsverfahren soll zunächst eine Untersuchung des aktuellen Stands der Technik erfolgen, wobei ein besonderes Augenmerk auf andere am DFKI veröffentlichte Arbeiten, wie beispielsweise [1], gelegt werden soll.

Dabei soll auch für bisher auf diesem Fahrzeug noch nicht verfügbare Absolutpositionsgeber (insbesondere Position in Längs- und Querrichtung) vorbereitet werden, um später bei Verfügbarkeit neuer Sensorik einfach um diese erweitert werden zu können.

Die Adaption an wechselnde Umgebungen und Fehlkalibrierungen soll durch eine Erkennung des Schwingverhaltens des Fahrzeugs durchgeführt werden. Dies soll über eine Frequenzanalyse der Regelabweichung geschehen. Daran anschließend soll ein überwachtetes Lernverfahren bestimmte, im Verlauf der Diplomarbeit genauer zu benennende, Parameter des Fahrzeugmodells optimieren. Obwohl ein überwachtetes Lernverfahren eingesetzt werden soll, wird kein menschlicher Trainer benötigt, da das System aus seinem eigenen Schwingverhalten die positive oder negative Verstärkung selbst berechnen kann.

### 3 Notwendige Arbeiten

#### 1. Analyse bestehender Regelungsverfahren

Zunächst werden bestehende Regelungsverfahren für die Positions- und Lageregelung von Fahrzeugen untersucht und auf ihre Anwendbarkeit im Bereich kleiner, autonomer Unterwasserfahrzeuge hin untersucht. Aus dieser Analyse wird ein bestehendes Verfahren zur Implementierung der Basisfunktionalität des Reglers ausgewählt.

#### 2. Aufstellen eines physikalischen Modells

Es wird analysiert, welche Parameter das physikalische Modell sowohl des Fahrzeugs als auch der Umwelt benötigt. Anschließend werden Verfahren zur Bestimmung der ausgewählten Parameter gesucht und umgesetzt. Ziel dieses Arbeitsschritts ist es, ein möglichst präzises Modell des Fahrzeugs und seiner Umwelt für die weitere Verwendung im Regler zu erhalten.

#### 3. Implementierung des physikalischen Modells

Für den später zu implementierenden Regler werden Module zur Extrapolation des Weltzustands aus dem letzten bekannten Weltzustand und des physikalischen Modells benötigt.

#### 4. Experimentelle Validierung des implementierten Modells

Um sicherzustellen, dass das implementierte Modell in der Praxis tatsächlich eingesetzt werden kann, werden Daten der verfügbaren Sensoren aufgezeichnet und Zwecks Extrapolation an die Implementierung des physikalischen Modells übergeben. Die extrapolierten Daten werden dann mit den aufgezeichneten Folgedaten verglichen. Dieser Abgleich erfolgt automatisch und liefert verschiedene Fehlerwerte (mittlerer quadratischer Fehler, Standardabweichung des Fehlers u.ä.) für jeden geschätzten Parameter über den Extrapolationszeitraum.

#### 5. Implementierung des Reglers

Der in Arbeitsschritt 1 ausgewählte Regler wird unter Verwendung des validierten physikalischen Modells implementiert

#### 6. Test des Reglers

Der Regler wird auf seine Praxistauglichkeit hin untersucht. Dazu wird das Fahrzeug über einen längeren Zeitraum für verschiedene dauerhafte Regelungsaufgaben programmiert. Die Soll- und Istwerte der Fahrzeugposition und -Lage für alle verfügbaren absoluten Lage- und Positionssensoren wird aufgezeichnet und anschließend wie bei der Validierung des physikalischen ausgewertet.

#### 7. Implementierung des Adaptionverfahrens

Die Überwachung der Regelgenauigkeit wird automatisiert und parallelisiert. Die Analyse von Schwingungsfrequenzen- und Amplituden soll nebenläufig zur eigentlichen Regelung ablaufen. Aus diesen Daten wird eine Schätzung über notwendige Parameteranpassungen durchgeführt. Die Parameteränderung wird durchgeführt und erneut überprüft. Dabei muss beachtet werden, dass eine negative Beeinflussung des Regelverhaltens schnell bemerkt und korrigiert wird, um erratic Verhalten zu vermeiden.

#### 8. Validierung des Adaptionverfahrens

Das entwickelte Adaptionverfahren wird getestet, indem das Fahrzeug mit vorsätzlich fehlerhafter Kalibrierung der physikalischen Parameter getestet wird. Es wird für verschiedene Fehlergrößen geprüft, ob und wie schnell das System sich an die tatsächlichen Parameter anpasst. Es wird eine Grenze bestimmt, bis zu der die Adaption akzeptabel funktioniert.

## Literatur

- [1] SCHMID, Korbinian: *Entwicklung von Algorithmen auf FPGA Basis zur stabilen Steuerung eines uAUVs*. Bremen, Hochschule Bremen, Diplomarbeit, 2008