

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Institut für Automatisierungstechnik

Beitrag zur Bewegungsplanung autonomer Wasserfahrzeuge

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
der Universität Rostock

vorgelegt von
Robert Damerius, geb. am 10.08.1991 in Bergen auf Rügen
aus Rostock

Rostock, 17. Januar 2025

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird ein neuartiges Verfahren zur Bewegungsplanung traversierfähiger, autonomer Wasserfahrzeuge vorgestellt, wobei das Manövrieren in der Nähe unbewegter Hindernisse im Fokus steht. Die Aufgabe der Bewegungsplanung ist die fortlaufende Berechnung kollisionsfreier Trajektorien von einem initialen Bewegungszustand zu einer vorgegebenen Zielpose. Dabei werden alle unbewegten Hindernisse sowie die geometrische Form des Fahrzeuges mit konvexen Polygonen beschrieben.

Das Verfahren basiert auf dem RRT*-Algorithmus und verfolgt einen sequenziellen Ansatz, bei dem das Planungsproblem in zwei Teilprobleme zerlegt wird. Zuerst wird ein kollisionsfreier Pfad ermittelt, der anhand seiner Länge, dem Abstand zu Hindernissen und der Längsbewegung des Fahrzeuges entlang dieses Pfades optimiert wird. Anschließend wird eine Untermenge des resultierenden Pfades für die nachfolgende Bewegungsplanung verwendet, um eine dynamisch realisierbare und kollisionsfreie Trajektorie zu generieren. Die Berechnung einer Trajektorie beruht auf der numerischen Integration eines geschlossenen Regelkreises, in dem ein nichtlineares Bewegungsmodell des Wasserfahrzeuges verwendet wird. Um Nichtlinearitäten auf Geschwindigkeitsebene zu kompensieren, wird ein Regelsystem auf Basis der exakten Linearisierung entworfen. Damit das Fahrzeug zur Laufzeit auf neu detektierte Hindernisse reagieren kann, wird eine Methode für das wiederholte Neuplanen von Trajektorien vorgestellt, bei der die Rechenzeiten für die Pfad- und Bewegungsplanung berücksichtigt werden. Mithilfe einer Warmstart-Prozedur wird ein zuvor berechneter Pfad für die aktuelle Berechnung genutzt. Die entwickelten Methoden werden anhand von Simulationen quantitativ analysiert und auf einem realen Wasserfahrzeug appliziert und erprobt.

Abstract

This thesis presents a novel method for motion planning of fully-actuated autonomous surface vehicles, focusing on maneuvering in the vicinity of non-moving obstacles. The task of motion planning is to continuously calculate collision-free trajectories from an initial motion state to a given goal pose. All non-moving obstacles and the geometric shape of the vehicle are described by convex polygons.

The method is based on the RRT* algorithm and follows a sequential approach in which the planning problem is decomposed into two sub-problems. First, a collision-free path is determined, which is optimized based on its length, the distance to obstacles and the longitudinal movement of the vehicle along this path. Afterwards, a subset of the resulting path is used for motion planning in order to generate a dynamically feasible and collision-free trajectory. The calculation of a trajectory is based on the numerical integration of a closed-loop control system in which a non-linear motion model of the surface vehicle is used. In order to compensate for non-linearities at the velocity level, a control system based on feedback linearization is designed. To enable the vehicle to react to newly detected obstacles at runtime, a method for the online replanning of trajectories is presented in which the computing times of the path and motion planning are taken into account. A warm start procedure is presented in order to replan a path on the basis of a previously calculated path. The proposed methods are analyzed using simulations and applied and tested on a real surface vehicle.