

DISS. ETH Nr. 9803

Aufdatierung der Position und der Orientierung eines mobilen Roboters

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels
Doktor der technischen Wissenschaften

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
ALOIS ALBERT HOLENSTEIN
dipl. Elektroingenieur ETH
geboren am 3. Oktober 1960
von Fischingen TG

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. M. Mansour, Referent
Prof. Dr. G. Schweitzer, Korreferent
Dr. E. Badreddin, Korreferent

1992

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Bestimmung der Position und der Orientierung eines mobilen Roboters in einer strukturierten Umgebung. Bekannte Techniken, wie z.B. die Führung mittels Leitdraht oder das Anbringen von passiven oder aktiven Positionierhilfen, sind weit verbreitet, bedeuten aber eine wesentliche Einschränkung der Autonomie und der Flexibilität. Odometrie, d.h. die Positionsbestimmung mittels Aufintegration der Radumdrehungen, ist für längere Fahrstrecken zu ungenau. Mit dem hier vorgestellten Verfahren kann die Position ohne künstliche Markierungen bestimmt werden. Es werden lediglich Ultraschallabstandsmessungen und ein Referenzmodell der Umgebung benötigt. Ergänzt werden die Ultraschallsensoren durch ein Bildverarbeitungssystem, welches für das Heranfahren an eine Andockstelle eingesetzt wird. Die Positionsbestimmung ist Teil einer verhaltensbasierten Regelungsstruktur und ist auf dem institutseigenen mobilen Roboter RAMSIS implementiert und ausgetestet worden.

Die Positionsbestimmung ist deshalb ein Problem, weil dafür geeignete Objekte in der Umgebung gefunden werden müssen. Diese Suche ist meistens schwierig und benötigt viel Rechenzeit, vor allem beim Start, wenn die Roboterposition noch völlig unbekannt ist. Oft kann auch nicht garantiert werden, dass der Roboter genügend Objekte sehen kann. Aus diesen Gründen ist es notwendig, die Art der Positionsbestimmung der jeweiligen Fahrsituation anzupassen.

Beim Start wird die ganze Umgebung nach erkennbaren Objekten abgesucht, welche in einem sensorbasierten Modell abgelegt werden. Danach wird dieses Modell mit dem Referenzmodell verglichen und dabei die wahrscheinlichste Roboterposition bestimmt. Das dafür

üblicherweise eingesetzte Suchverfahren ist sehr rechenaufwendig, wenn mehr als zwei oder drei Hindernisse vorhanden sind. Wir verwenden deshalb ein von uns definiertes Clusteringverfahren, mit welchem ein schneller und sicherer Vergleich möglich ist.

Fährt der Roboter, so wird die Position odometrisch bestimmt und die dabei entstehenden Fehler anhand von Ultraschallabstandsmessungen, die in ein Kalmanfilter eingespiesen werden, so oft wie möglich korrigiert. Dies setzt aber voraus, dass der Odometriefehler geschätzt werden kann, und dass es gelingt zu erkennen, welche Abstandsmessungen von Referenzobjekten stammen. Diese Erkennungsaufgabe wird hier auf die Frage reduziert, ob der untersuchte Abstandswert ungefähr dem erwarteten Abstand zu einem bekannten Objekt entspricht. Ein weiteres Problem ist, dass das Kalmanfilter den Orientierungsfehler nur schlecht schätzen kann, wenn nur Abstandsmessungen vorliegen. Wir stellen deshalb eine ergänzende Methode vor, die für diese Aufgabe besser geeignet ist.

Beim Heranfahen an eine Andockstelle werden die Abstandsmessungen durch ein Bildverarbeitungssystem ergänzt. Dies erlaubt eine sichere Identifikation der Andockstelle und bringt zusätzliche Winkelmessungen.

Ein wichtiger Teil der Arbeit ist die Implementation auf einem mobilen Roboter und das Austesten in einer realen Umgebung. Die dabei erzielten Resultate zeigen, dass eine gute Positionsschätzung ohne Hilfe von künstlichen Markierungen erreicht werden kann, auch wenn der Roboter mit normaler Geschwindigkeit fährt.

Summary

This thesis treats the problem of mobile robot position determination in a structured environment. Known techniques such as wire-guidance or the application of passive or active beacons are widely used, but they severely restrict the mobile robot's autonomy and flexibility. Odometry, that is positioning by measuring the wheel revolutions, is assumed to be not accurate enough for longer distances. With the method presented in this thesis, the position can be determined without any artificial beacons. Only ultrasonic range measurements and an a priori known reference model are needed. The ultrasonic sensors are complemented by a vision system that supports docking operations. The positioning method is part of a behavior-based control structure and has been implemented and tested on our mobile robot RAMSIS built at our laboratory.

The position determination is an interesting problem, because it implies that reference objects must be found in the environment. The search for these objects is difficult and requires a lot of processing power, especially at initialization time, when the robot position is completely unknown. Moreover, there are many situations where it is impossible to see enough objects. These reasons make it necessary to adapt the position determination method to the actual driving situation.

At the beginning the whole environment is looked for identifiable objects that are put into a sensor based model. This model is then matched with the reference model. Thereby, the most likely robot position is calculated. The normally used search algorithm is very time consuming if there are more than two or three obstacles. We therefore use a time optimized clustering algorithm which guarantees a fast model

matching.

When the robot moves, its position is calculated odometrically and the errors are corrected by the help of ultrasonic range measurements, that are fed into a Kalman filter. This means that the errors from odometry have to be estimated, and that it must be possible to determine which range measurements originate from reference objects and which do not. This distinction is done by comparing measured distances with distances expected from the reference model and the actual robot position. Another problem is that Kalman filters are not suited to estimate orientation errors when only range information is available. We therefore introduce a complementary method that is better suited to solve this problem.

When approaching a docking station, the range measurements are complemented by angle measurements to the docking station. This allows for a reliable identification of the docking station and gives additional orientation information.

An important part of this thesis is the implementation and the testing of the algorithms on a real mobile robot in a real environment. We have shown that a sufficient position accuracy can be reached without using artificial beacons, although the robot moves at working speed.