Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeitautonomen Field-Monitoring-System

Benjamin Kisliuk[1], Mark Höllmann[1], Christoph Tieben[1], Jan Christoph Krause[1], Alexander Mock[2], Sebastian Pütz[2], Felix Igelbrink[2], Thomas Wiemann[1,2], Santiago Focke Martinez[1], Stefan Stiene[1] und Joachim Hertzberg[1,2]

Abstract: Autonome Kartierungssysteme für landwirtschaftliche Anwendungen gewinnen zunehmend an Bedeutung. Derzeit sind die meisten Systeme ferngesteuert oder basieren auf einer einzigen globalen Umgebungsrepräsentation. Die alleinige Verwendung fester Roboterkarten und Aktionsschemata schränkt jedoch die Flexibilität autonomer Systeme ein. Insbesondere in der Landwirtschaft kann sich die Umgebung während der Vegetationsperioden schnell ändern, weshalb es einer kontextsensitiven Navigation bedarf. Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, ein autonomes System namens Autonome robotische Experimentier-Plattform (AROX) aufzubauen, das in der Lage ist, Bestandskarten über einen gesamten Vegetationszeitraum ohne Benutzereingriff zu erstellen. Dazu haben wir die Hardware-Infrastruktur zum Aufbewahren und Laden des Roboters sowie die erforderliche Software im Robot Operating System (ROS) aufgebaut, um die Kontextsensitivität zu realisieren.

Keywords: Kontextsensitive Navigation, Langzeit-Autonomie, Kartierung, Agra-Robotik, ROS

1 Einleitung

Um autonome Fahrzeuge für eine langzeitautonome Anwendung in dynamischen Umgebungen wie der Landwirtschaft erfolgreich einzusetzen, sollte der aktuelle Anwendungskontext berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu klassischen statischen Umgebungen, etwa Innenräumen, kann sich in der Landwirtschaft die Umgebung schnell ändern. Daher ist es nicht möglich, sich ausschließlich auf etablierte Lösungen, etwa auf Basis von Rasterkarten, zu verlassen. Abhängig von der Jahreszeit, dem Wetter, dem Zustand der Pflanzen und dem Layout des Feldes sind speziellere Lösungen erforderlich. Etablierte Methoden sind für einfache Anwendungsfälle gut getestet und verstanden und können daher zur Lösung von Teilproblemen eingesetzt werden.

[1] DFKI-Labor Niedersachsen, Planbasierte Robotersteuerung, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, vorname.nachname@dfki.de, https://dfki.de/pbr
[2] Universität Osnabrück, Wissensbasierte Systeme, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, vorname.nachname@uos.de, https://kbs.informatik.uos.de/

Das DFKI Labor Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die VolkswagenStiftung.
Die Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (FKZ: 28DE103E18) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 031B0684D).

Abb. 1: Übersicht der verwendeten Hardwarekomponenten vom AROX (blau) und Container (orange) zur Langzeit-Pflanzenüberwachung

Durch die Kombination von klassischen Algorithmen mit neuartigen anwendungsspezifischen Methoden wollen wir sowohl den geometrischen als auch den semantischen Kontext berücksichtigen. Hierzu präsentieren wir das autonome System AROX zum Bestandsmonitoring in einer realen Feldumgebung. Das System besteht aus einem mobilen Roboter sowie einer Aufbewahrungs- und Ladeeinrichtung, welche sich in einem Container neben den überwachten Feldern befindet (siehe Abb. 1). In diesem Beispielszenario besteht das Ziel des Roboters darin, regelmäßig 3D-Scans eines Maisfeldes ohne Benutzerinteraktion durchzuführen.

2 Verwandte Arbeiten

Frühere Arbeiten beschreiben die Softwarekomponenten, die für eine robuste Roboternavigation benötigt werden [Ma10]. Viele von ihnen sind in verschiedenen Implementierungen zu finden, die im ROS Navigation Stack gesammelt wurden. Das übliche Setup für ein solches autonomes System besteht normalerweise aus einer Umgebungskarte, bei der es sich häufig um eine Art Rasterkarte handelt [HA85]. Zur Lokalisierung innerhalb einer solchen Karte dient AMCL [Fo99] in Innenraumszenarien oder das `robot_localization` Paket [TD14] für den Außeneinsatz. Pfadplanung und -ausführung sind typischerweise in einer globalen und lokalen Planung unterteilt. Für jede dieser Komponenten existieren in ROS bereits verschiedene Ansätze und Implementierungen.

Ein Beispiel für eine solche Implementierung ist das ROS-Paket `move_base`. Dieses bildet die Basis für das erweiterte Navigations-Framework Move Base Flex (MBF) [PSH18], das die gleichen Softwareschnittstellen verwendet. MBF wurde speziell entwickelt, um die hochdynamische und heterogene Natur von Navigationskontexten zu berücksichtigen. Dies wird ermöglicht, indem eine dynamische (online) Änderung der Konfiguration zugelassen wird und ein Austausch von Planungs- und

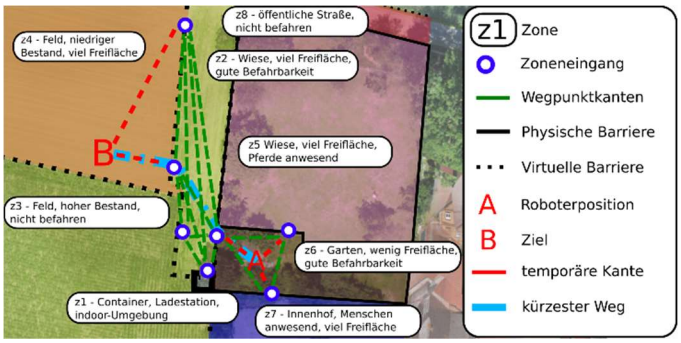

Abb. 2: Schematische Karte der Zonen, Wegpunkte und semantischen Informationen

Wiederherstellungsstrategien in Zustandsautomaten [BC10] unterstützt wird. Im Gegensatz zu den Ansätzen von Conner et al. [DJ17] werden hierbei Mehrfachinstanziierungen vermieden und somit der benötigte Rechenaufwand reduziert.

2.1 Semantische Karten

Im Allgemeinen stützen sich Karten zur Lokalisierung und Navigation ausschließlich auf räumliche Informationen. Schon früh wurden diese mit semantischen Bedeutungen angereichert. Erste Ansätze schlugen eine geschichtete Architektur vor, um die verschiedenen Informationsbereiche zu verschmelzen [LHS14] [Ku00], indem das Wissen über Objekte, Bereiche und Räume in der geometrischen Roboterkartendarstellung verankert wurde. Ein Beispiel für eine semantische Karte ist die Hybridkarte [Bu05], in der geometrische Darstellungen mit dem Wissen über die in der dargestellten Umgebung enthaltenen Entitäten, Klassen und Attribute sowie die Beziehungen zwischen ihnen inferierbar verknüpft werden [LP14].

3 Hardware Infrastruktur

Für langzeit-autonome Anwendungen in landwirtschaftlichen Umgebungen wird eine Basisstation benötigt. Diese dient zur Bereitstellung benötigter Versorgungsdienste oder -geräte wie z. B. einer induktiven Ladestation, einem NTRIP-Server zur Übermittlung von GNSS-Korrekturdaten, einer mobilen Internetverbindung sowie einem WLAN-Netzwerk zur lokalen Datenübermittlung. Außerdem schützt sie das System vor unbefugtem Zugriff und extremen Wetterbedingungen. In unserem Setup verwenden wir eine entsprechend ausgerüstete Wechselbrücke (RYTLE HUB, 3,7 m × 2,55 m × 2,1 m), die über ein Batteriesystem und zwei elektrische Schiebetore mit ausklappbaren Rampen verfügt.

Der AROX-Roboter ist eine zweiachsige mobile Plattform, die auf einem Innok Heros basiert. Zur Lokalisierung werden die Sensordaten einer IMU, die Odometrie und Multiband RTK GNSS Daten fusioniert. Neben diesen Sensoren werden

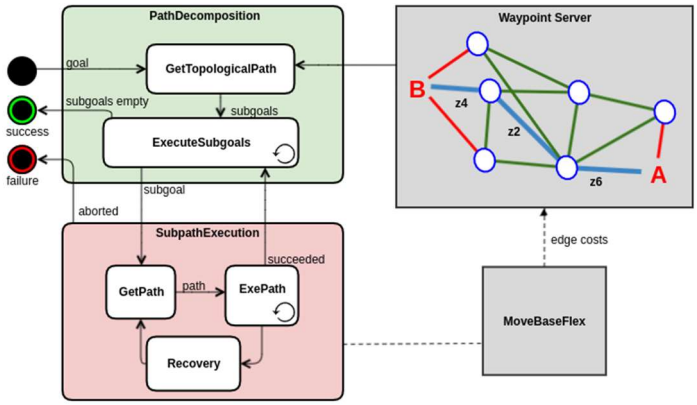

Abb. 3: Zustandsautomat der kontextsensitiven Navigation

zwei Laserscanner an der Vorder- und Rückseite der Plattform zur Kollisionsvermeidung und zur Lokalisierung verwendet. Für die Überwachung der Pflanzen und die Kartierung der Umgebung wird ein hochauflösender 3D-Laserscanner, wahlweise in Kombination mit einer kalibrierten hyperspektralen- oder RGB-Kamera, verwendet. Das komplette Setup ist in Abbildung 1 dargestellt.

4 Kontextsensitive Navigation und Planung

Zum Erreichen der oben genannten Ziele haben wir eine semantisch annotierte geometrische Karte der Umgebung erstellt und in verschiedene Navigationszonen unterteilt. Durch diesen Ansatz kann jeweils die am besten geeignete spezialisierte Planungs- und Navigationsmethode zum im geometrischen Umgebungsmodell angegebenen semantischen Kontext verwendet werden. Der Übergang der Zonen ist mit Wegpunkten beschrieben, an denen jeweils der Kontextwechsel durchgeführt wird. Zur Navigation innerhalb einer Zone dient eine angepasste Rasterkarte, die aus einer polygonalen 3D-Umgebungskarte abgeleitet wird [Pü16] und ebenfalls die Befahrbarkeit bzw. die Unebenheit der Oberflächen berücksichtig.

Abbildung 2 zeigt eine solche in Zonen aufgeteilte semantische Karte auf einem Feld neben einem Hof. Ausgehend von den Zonen wird ein topologischer Graph erstellt, der vom „Waypoint Server“ bereitgestellt wird. Wegpunkte werden als Knoten und mögliche Pfade als Kanten dargestellt. Die damit verknüpften Zonen werden im Waypoint Server mit den Informationen zum vorgesehenen Pfadplaner, Regler sowie den Zustandsautomaten das Recovery-Verhalten und der Art der Umgebungsrepräsentation gespeichert. Darüber hinaus wird die aktuelle Position des Roboters (A) und die angestrebte Zielposition (B) als temporärer Wegpunkt hinzugefügt, um mittels des Dijkstra-Algorithmus nach dem kürzesten Pfad suchen zu können.

Abb. 4: Registrierte Punktwolke des Experimentierfelds

Der resultierende Pfad wird in einem separaten Zustandsautomaten vorgehalten, überwacht und in Zwischenziele zerlegt. Diese „Path Decomposition State Machine“ dient als Schnittstelle zwischen Waypoint Server und der MBF-Navigation. Die Bewegung des Roboters zu einem Zwischenziel wird vom „SubpathExecution“-Zustandsautomaten ausgeführt. Die entsprechende Pfadplanung, der Regler sowie das Recovery-Verhalten wurden als Plugins für MBF implementiert und erlauben eine dynamische Konfiguration. Das Zusammenspiel der Komponenten sowie den Zustandsautomat zeigt Abbildung 3.

5 Exemplarische Anwendung

Wir demonstrieren die kontextsensitive Navigation anhand eines Testszenarios auf einem Experimentierfeld. Hier soll der Roboter autonom in festen Intervallen die Umgebung mit 3D-Scanner und Hyperspektralkamera erfassen, um z. B. die Dokumentation des Pflanzenwachstums zu dokumentieren oder Bonituren zu unterstützen. Die Daten werden dabei über die Netzwerkverbindung des Containers auf einen externen Server kopiert und dort weiterverarbeitet. Das RTK-GNSS wird zur groben Registrierung benutzt. In Abbildung 4 ist eine beispielhafte Punktwolke mit RGB-Werten dargestellt.

Zur Navigation wurde wie in Abbildung 2 gezeigt eine semantische Karte mit Zonen und Wegpunkten erstellt. Insgesamt gibt es acht Zonen, denen jeweils ein Typ zugeordnet ist, der die Regelungsparameter sowie das Recovery-Verhalten bestimmt. Im Beispiel soll sich der Roboter von Position A im Garten (Z 6) zur Zielposition B im Feld (Z 4) bewegen. Der Waypoint-Server ermittelt den kürzesten Pfad über die Grasfläche (Z 2), wobei zwei Wegpunkte passiert werden. Im Garten verwendet der Roboter einen „`safety_ctrl`“-Parametersatz, der einen DWA-Regler mit geringen Toleranzen und einer geringen Geschwindigkeit nutzt. Da in dieser Umgebung dynamische Hindernisse vorkommen können, wird auch das Recovery-Verhalten angepasst, sodass primär gewartet wird und sekundär schrittweise rückwärtsgefahren wird. Sobald der Wegpunkt zur Grasfläche passiert wurde, ändert sich das Verhalten des Roboters. Es wird nun ein eBand-Regler eingesetzt, der tolerantere Parameter und eine höhere Geschwindigkeit erlaubt. Zur Wiederherstellung wird primär eine Rotation zur Wegfindung durchgeführt. Im Feld wird derselbe Regler, allerdings mit reduzierter Geschwindigkeit und geringeren Toleranzen sowie dem „`safety_ctrl`“-Verhalten, eingesetzt.

6 Ausblick

In diesem Artikel haben wir erste Arbeiten zu einem vollständigen langzeit-autonomen Robotersystem in einer landwirtschaftlichen Umgebung vorgestellt. Das System ist komplett in ROS implementiert und ermöglicht die Verwendung bewährter Standardmethoden und anwendungsspezifischer Algorithmen und Karten. Der hier dargestellte Stand dient als erweiterbare Grundlage für die Realisierung der kontextsensitiven Navigation in dynamischen Umgebungen. In zukünftigen Arbeiten wird es mit einem semantischen Mapping-Framework kombiniert, um komplexere Planung und Ausführungsüberwachung zu ermöglichen und die autonomen Fähigkeiten zu verbessern.

Literaturverzeichnis

[BC10] Bohren, J.; Cousins, S.: The SMACH high-level executive [ROS news]. In IEEE Robotics & Automation Magazine, 2010, 17; S. 18–20.

[Bu05] Buschka, P.: An investigation of hybrid maps for mobile robots, 2005.

[DJ17] D. C. Conner; J. Willis: Flexible Navigation: Finite state machine-based integrated navigation and control for ROS enabled robots: SoutheastCon 2017, 2017; S. 1–8.

[Fo99] Fox, D. et al.: Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots, 1999; S. 343–349.

[HA85] H. Moravec; A. Elfes: High resolution maps from wide angle sonar: Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1985; 116-121;

[Ku00] Kuipers, B.: Spatial semantic hierarchy. In Artificial Intelligence, 2000, 119; S. 191-233.

[LHS14] Lu, D. V.; Hershberger, D.; Smart, W. D.: Layered costmaps for context-sensitive navigation: IROS 2014, 2014; S. 709–715.

[LP14] Lang, D.; Paulus, D.: Semantic Maps for Robotics. In Robotics,Proc. of ICRA, ”Workshop on AI Robotics”, 2014.

[Ma10] Marder-Eppstein, E. et al.: The office marathon: Robust navigation in an indoor office environment: ICRA 2010, 2010; S. 300–307.

[PSH18] Pütz, S.; Simón, J. S.; Hertzberg, J.: Move Base Flex: A highly flexible navigation framework for mobile robots: IROS 2018, 2018.

[Pü16] Pütz, S. et al.: 3D Navigation Mesh Generation for Path Planning in Uneven Terrain: 9th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV 2016), 2016.

[TD14] T. Moore; D. Stouch: A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System: Proceedings of the 13th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-13). Springer, 2014.