

Technical Report

Nr. 1

hochschule 21

spacebot 21 – Ein erster Überblick im Rahmen der Planungsphase

Thorsten Hermes und Thorsten Uelzen



Hochschule 21 – Technical report, Nr. 1

2013

Hochschule 21 – Technical report

Herausgeber :
hochschule 21 gemeinnützige GmbH
Staatlich anerkannte private Fachhochschule
Harburger Straße 6

21614 Buxtehude

Telefon: +49 4161 648 124
Fax: +49 4161 648 123
E-Mail: bibliothek@hs21.de
<http://www.hs21.de>

ISSN 2196-5153

space-bot 21 - Ein erster Überblick im Rahmen der Planungsphase

Thorsten Hermes und Thorsten Uelzen
hochschule 21 gemeinnützige GmbH
Staatlich anerkannte private Fachhochschule
Harburger Straße 6
21614 Buxtehude
hermes | uelzen@hs21.de

24. April 2013

Zusammenfassung

Das *space-bot 21*-Projekt¹ ist ein F&E-Projekt des Studiengangs *Mechatronik Dual* an der *hochschule 21*. Das Projekt ist ein vom DLR Raumfahrtmanagement (<http://www.dlr.de/rd/>) ins Leben gerufener Wettbewerb namens „SpaceBot Cup“, an dem bundesweit 10 Teams teilnehmen. Jedes Team/Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert. Die offizielle Projektlaufzeit beginnt Anfang März und endet im November 2013 mit einem dreitägigen Wettbewerb. In diesem Zeitraum haben die Teams Zeit, einen oder mehrere (kooperierende) Roboter zu entwickeln, die bestimmte Aufgaben - autonom zur Exploration planetarer Oberflächen - erfüllen.

Dieses Dokument gibt einen ersten Überblick über den Ansatz, der an der *hochschule 21* verfolgt wird.

1 Einleitung

Der Einsatz von Robotern kann Menschen von eintöniger Arbeit entlasten (Fließbandarbeit, Schweißroboter) oder den Zugang zu unwirtlichen Gegenden ermöglichen (wie beispielsweise zum Kernkraftwerk in Fukushima, Japan). Roboter sind zunächst zum größten Teil Assistenten des Menschen sowohl auf der Erde als auch im Weltall. Die Weltraumrobotik kann als eine Art Vorreitertechnologie angesehen werden, die auch Auswirkungen auf terrestrische Anwendungen² hat.

Bevor aber Menschen andere Planeten oder Asteroiden betreten, müssen diese möglichst gründlich erforscht werden, damit Risiken minimiert werden. Letztere – die Asteroiden – sind insbesondere dann von Interesse, wenn sich deren Laufbahn relativ nahe an der Erde befindet und wenn gleichzeitig vermutet wird, dass sich Bodenschätze auf dem Asteroiden befinden.

Das vorbereitende gründliche Erforschen von Himmelskörpern kann ohne Risiken für den Menschen nur mit Hilfe von Robotik-Systemen erfolgen. Hierbei ist es egal, ob die Systeme autonom, teil-autonom oder komplett ferngesteuert sind. Je mehr Autonomie diese Systems aufweisen, desto schneller können Ergebnisse der Exploration vorliegen. Aufgrund der Entfernung von der Erde zu einem beliebigen Himmelskörper werden Laufzeiteffekte eines Signals zur Fernsteuerung relevant. Bestes Beispiel hierfür ist die Kommunikation mit der Mars-Sonde *Curiosity*. Des Weiteren muss sichergestellt sein, dass der intendierte Steuerimpuls auch korrekt beim Empfänger ankommt. Diese Problematiken nehmen mit zunehmender Autonomie der Sonden ab. Also ist das allgemeine Ziel, einen möglichst hohen Grad an Autonomie solcher Robotik-System zu realisieren.

Der DLR-Wettbewerb fordert eben genau diesen hohen Grad an Autonomie.

Gefördert durch:



¹ aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

²Eine solche Transferleistung ist zum Beispiel für medizinische Robotik-Systeme beobachtbar.

Im folgenden Abschnitt 2 werden die im Rahmen des Wettbewerbs zu lösenden Aufgaben beschrieben. Anschließend erfolgt im Abschnitt 3 eine Kurzvorstellung aller weiteren teilnehmenden Gruppen. Der Abschnitt 4 stellt den Ansatz zur Bewältigung der Herausforderungen dar, der an der *hochschule 21* verfolgt wird. Abschließend erfolgt in Abschnitt 5 ein Überblick über die noch anstehenden Arbeiten.

2 Die Aufgabe

Der Aufgabe bzw. den einzelnen Teilaufgaben liegt ein typisches Explorationsszenario zu Grunde. Die Aufgaben umfassen die Bereiche der Navigation und Kartenbildung, des Auffindens definierter Objekte, des Überwindens unterschiedlicher Untergründe mit verschiedenen Steigungen und Beschafflichkeiten sowie Manipulationsaufgaben mit definierten Objekten.

Die Robotersysteme sollen also in der Lage sein, in einem ausgewählten Gelände (teil-)autonom Objekte aufzufinden und zu identifizieren, sie abhängig von ihren Eigenschaften zu handhaben und zu transportieren, um sie schließlich zu einer Gesamtheit zu montieren. Konkret bedeutet das, dass es drei Objekte zu finden und zu identifizieren gilt. Zwei Objekte müssen dann zum dritten Objekt – dem sog. Basisobjekt – transportiert und angebracht werden. Die drei Objekte sind wie folgt definiert [25]:

- Ein Batteriepack in Form eines Quaders der Größe von ca. 10 cm x 20 cm x 4 cm und einem Gewicht von ca. 1kg (vgl. Abbildung 1).

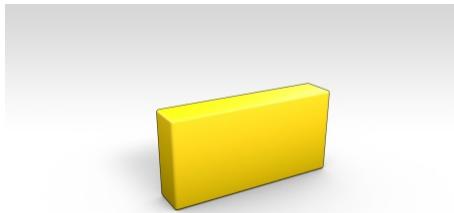


Abbildung 1: Objekt 1 – Batteriepack [25]

- Ein Becher mit einer Flüssigkeit (z.B. Wasser) in Form eines Zylinders mit der Höhe von ca. 12 cm und einem Durchmesser von ca. 8 cm und ebenfalls mit einem Gewicht von maximal 1 kg (vgl. Abbildung 2).

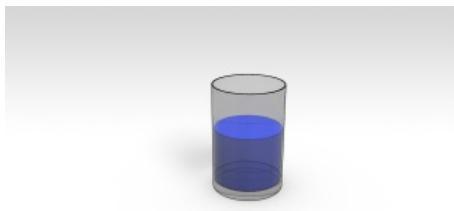


Abbildung 2: Objekt 2 – Becher gefüllt mit einer Flüssigkeit [25]

- Ein Basisobjekt in Form eines Quaders der Größe von ca. 20 cm x 40 cm x 20 cm (vgl. Abbildung 3). Dieses Objekt ist am Boden fest montiert. Es hat einen Steckplatz an einer Seite und auf der anderen Seite einen Kippschalter. Des Weiteren ist auf der Oberseite ein markierter Bereich vorhanden.

Die autonom zu lösende Aufgabe ist zunächst Objekt 1 und Objekt 2 zu finden und zu identifizieren. Beide Objekten sollen dann – wie bereits erwähnt – zum Basisobjekt transportiert werden. Hier



Abbildung 3: Objekt 3 – Basisobjekt mit Einschub, Kippschalter und Region zum platzieren des Bechers[25]

ist besonders darauf zu achten, dass so wenig Flüssigkeit wie möglich verschüttet wird. Am Basisobjekt wird der Batteriepack an einer Seite in einen Steckplatz eingeschoben. Objekt 2 wird an der Oberseite auf die gekennzeichnete Stelle platziert. Hierbei wird zusätzlich noch das Gewicht des Objektes gemessen, sodass Rückschlüsse auf die beim Transport verlustig gegangene Flüssigkeitsmenge gezogen werden können. Als quasi letzte Handhabung am Basisobjekt muss abschließend ein Kippschalter betätigt werden. War die Montage des ersten Objektes sowie die Platzierung des zweiten Objektes erfolgreich, leuchtet eine Signallampe. Danach muss das Roboter zurück zur Landezone fahren und dabei gegebenenfalls „plötzlich“ auftretenden Hindernissen ausweichen.

Neben den obigen klar definierten Aufgaben sind weitere Teilaufgaben zu bewältigen, die quasi mit auf dem Weg zur Gesamtlösung liegen. Zuerst ist die Navigation zu nennen. Die Roboter müssen in der Lage sein, anhand einer groben Karte, die es gilt Schritt für Schritt zu verfeinern, ihre jeweiligen Wege zu planen. Da ein GPS-Signal (Global Position System: [30]) nicht zur Verfügung steht, bleibt nur die Karten-basierte Navigation beispielsweise unter zu Hilfenahme von Landmarken. Es sind demnach nicht nur die Objekte 1 bis 3 zu identifizieren, sondern gegebenenfalls auch andere Objekte wie Felsen. Der Ort der Lokalisierung der Objekte ist nachträglich in die Karte einzutragen. Ebenso muss der Pfad zur Lösung der Aufgaben in die Karte eingetragen werden. Das bedeutet, dass zur Navigation nicht zuletzt die Selbstlokalisierung zu den weiteren Teilaufgaben gehört.

Sollte die Lösung mehr als ein Roboter vorsehen (vgl. Abschnitt 3), dann muss sich das Team auch Gedanken zur Kommunikation sowie des Informationsaustausches machen. Alle Roboter eines solchen Schwarms müssen wissen, wo sie sich selbst und wo sich die anderen Schwarmmitglieder befinden.

Das Gelände kann man sich vorstellen, wie in Abbildung 4 skizziert. Dabei markiert das grüne Kreuz die Landezone. Das Basisobjekt ist im rechten oberen Bereich als kleiner roter Punkt zu sehen.

Die nachfolgenden Abbildung 5 und 6 geben einen prinzipielle Überblick als Aufriss von der Seite über das Testgelände.

Zusammenfassend kann die Gesamtaufgabe also in drei größere inhaltliche Bereiche untergliedert werden, wobei der erste Bereich das *Auffinden* und *Identifizieren* umfasst. Gegenstand des zweiten Bereichs ist die *Planung* und der *Transport*. Der dritte Bereich beinhaltet die *Montage* und *Hinderniserkennung*. Zur Lösung aller Aufgaben haben die Teams jeweils maximal eine Stunde Zeit. Sollten manuelle Eingriffe während des Wettbewerbs erforderlich sein, führt das zu Zeitstrafen.

3 Die Teams

Im Folgenden werden die einzelnen Teams, die auch an dem Wettbewerb teilnehmen, vorgestellt (vgl. <http://www.dlr.de/rd//desktopdefault.aspx/tabcid-8466/>):

3.1 Artemis

Artemis ist ein Akronym für **A**utonomous **R**over **T**eam for **E**xploration and **M**anipulation **I**ntended for **S**pace**B**ot. Das Team kommt vom DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH) in Bremen und wird von Studenten und Mitarbeitern der Universität Bremen unterstützt.



Abbildung 4: Skizze eines möglichen Testgeländes [25]



Abbildung 5: Schematischer Seitenaufriss eines möglichen Testgeländes [25]

Der hierbei verfolgte Ansatz besteht aus zwei Explorationsrobotern (einen Rover und einen Crawler) sowie darauf angepasste Softwarelösungen für Navigation, Planung, Interaktion mit der Umwelt (Manipulation). Das Team verwendet Teile von Hard- und Softwarekomponenten aus abgeschlossenen Projekten des DFKI Robotics Innovation Centers und der Universität Bremen (s. [8]). Diese dienen als Basis für die Entwicklungen im Rahmen des SpaceBot Cups.

3.2 Berlin-Rockets

Das Team **Berlin-Rockets** setzt sich interdisziplinär aus Studenten und Mitarbeitern der FU Berlin sowie der TU Berlin zusammen. Am Fachbereich Mathematik und Informatik der FU Berlin wird die Entwicklung der robotischen Plattform im Sommersemester 2013 und im Wintersemester 2013/14 in die Lehre übernommen. Das Konzept des Berlin-Rockets-Team sieht für den Wettbewerb einen Roboter vom Typ eines Crawlers/Rovers vor. Der selbständige agierende Roboter besitzt eine Art Hybrid-Antrieb. Und zwar ist er zum einen in der Lage, auf sechs Beinen zu schreiten, um unwegsames Gelände zu überwinden. Dabei ist der Roboter nicht nur in der Lage geradeaus zugehen, sondern er kann auch seitlich oder rückwärts laufen. Zum anderen kann sich der Roboter auf Rädern und somit deutlich schneller fortbewegen.

Das innovative Antriebskonzept und die damit verbundene besondere Art der Fortbewegung ermöglicht das Überwinden von schwierigem Gelände. Des Weiteren wird der Roboter mit Nah- und Fern-



Abbildung 6: Seitenansicht eines möglichen Testgeländes mit Proportionsangaben. Quelle: [25]

sensoren zur Navigation und Kartierung ausgestattet. In der Planung sowie weiterem Verhalten kann das Team auf jahrelange Entwicklung von fußballspielenden, humanoiden Robotern zurückgreifen.

3.3 Jacobs Robotics Team

Das Team der Jacobs University Bremen verfügt über Erfahrungen in der Entwicklung von intelligenten autonomen Robotern in unstrukturierten Umgebungen. Der hier verfolgte Ansatz realisiert einen Rover mit einem Roboterarm. Als stetiger Datenlieferant dient eine Stereokamera auf dem Rover. So können automatisch 3D-Karten erstellt sowie die Umgebung „intelligent“ erkundet werden. Die Gruppe kann insbesondere auf Arbeiten in Bereich des 3D-Mappings zurückgreifen (vgl. [4]).

3.4 LAUROPE

LAUROPE ist das Akronym für **L**auf**R**oboter für **P**lantare **E**xploration. Das Team setzt sich aus Studenten und Mitarbeitern des Forschungszentrums Informatik (FZI) in Karlsruhe (s. <http://www.fzi.de/>) zusammen. Das FZI selbst hat eine ca. 20 jährige Erfahrung mit sechsbeinigen Laufrobotern für die Exploration und Inspektion in unstrukturiertem Gelände. Für den Wettbewerb wird die aktuellste Generation der Laufroboter – LAURON V – so erweitert werden, dass der Roboter auch manipulieren, also in Interaktion mit seiner Umwelt treten kann.

Für die verschiedenen Herausforderungen des SpaceBot Cups wie Navigation, Lokalisierung, Umweltmodellierung, Objekterkennung und Manipulation bildet das Team jeweils Untergruppen, die sich dann mit den einzelnen Themen befassen (s.[11]).

3.5 Locomotec Research Team

Das Locomotec Research Team (LRT) der Firma Locomotec [17] setzt sich als einziges Team aus Mitarbeitern einer Firma zusammen. Die Mitglieder sind schon lange aktiv in den Bereichen Mobile Manipulation und Softwareentwicklung für die Robotik. Die Grundlage des Roboters bildet der youBot von der Firma Kuka ([15], [18]). Der mobile Roboter ist bereits mit Greifarm ausgestattet. Der bisherige Einsatz des youBots in Forschung und Lehre konzentriert sich auf Innenräume.

Das Team plant deswegen zum einen den Antrieb an die Bedingungen des Wettbewerbs zu adaptieren und zum anderen die Software des Roboters so zu gestalten, dass möglichst viele Anwendungsbereiche gleichzeitig profitieren. Hierbei kommen Entwicklungsmethoden zum Einsatz, die die Wiederverwendbarkeit von Software erhöhen können.

3.6 NimbRo Centauro

Das NimbRo-Centauro-Team besteht aus Mitgliedern der Arbeitsgruppe Autonome Intelligente Systeme am Institut für Informatik der Universität Bonn (s. [12]). Die AG besitzt weitreichende Erfahrungen in der Entwicklung humanoider Fußballroboter und Serviceroboter.

Für den Wettbewerb wird ein neuer Roboter konzipiert. Der Ansatz kombiniert hierbei die Erfahrungen aus der Arbeit am zweibeinigen robotischen Gang mit denen aus dem Robotik-Bereich der mobilen Manipulation. Die zu lösende Hauptherausforderung ist dabei die Navigation in schwierigem Gelände. Der Roboter soll nicht nur die Aufgaben des Wettbewerbs vollständig autonom erfüllen, sondern später auch in Alltagsumgebungen sinnvoll eingesetzt werden können.

Insbesondere bei der visuellen Objekterkennung kann die Gruppe auf Erfolge zurückgreifen (vgl. [27]).

3.7 PERMANENCE

Die Forschungsinteressen des Teams PERMANENCE der TU Chemnitz (s. [7]) liegen im Bereich der autonomen Systeme sowie der Bildverarbeitung mit Fokus für die Anwendungen im Bereichen des Rescue Robotics (Robotern für die Unterstützung von Rettungshelfern), der Servicerobotik (beispielsweise Transportroboter in Krankenhäusern) und der Fahrerassistenzsysteme.

Aufgrund der Erfahrungen aus vorhergehenden Roboterwettbewerben soll im Kontext des Wettbewerbs eine möglichst große Fehlertoleranz in die zu entwickelnde Soft- und Hardware integriert werden. Hierbei sollen verschiedene Verfahren bereits frühzeitig auch in Simulationen getestet werden.

Die Gruppe kann u.a. auf mehrjährige Erfahrung im Bereich SLAM zurückgreifen [29].

3.8 SEAR

Das SEAR-Kernteam von der Technischen Universität Berlin setzt sich aus wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitern vom Fachgebiet Raumfahrttechnik zusammen. Das Institut (s. [14]) hat durch zahlreiche erfolgreiche Weltraummissionen Erfahrungen im Bau und Betrieb von Satelliten sammeln können. Das Kernteam wird für die Dauer des Wettbewerbs durch Studierende der Luft- und Raumfahrttechnik im Rahmen von Abschlussarbeiten und Lehrveranstaltungen ergänzt.

3.9 SpaceLions

Das gesamte **SpaceLions**-Team der TU Braunschweig besteht aus zwei Koordinatoren sowie wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden der Institute IDA (Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze) und C3E (Lehrstuhl für den Entwurf integrierter Systeme). Beide sind im Bereich nationaler und europäischer Raumfahrtprojekte tätig. Das Team wird vom Raumfahrtunternehmen DSI GmbH unterstützt. Des Weiteren kommt ein „Tiger Team“ von Studierenden der Studiengänge Elektrotechnik, Informations-Systemtechnik und Informatik dazu.

Der Ansatz des SpaceLions-Teams sieht die Entwicklung eines „Space Terrain Explorers“ vor. Er verfolgt die Realisierung einer Schwarmkonfiguration von mobilen Robotern. Hierbei wird jeder mobile Roboter mit einem eigens entwickelten Stereo-Bildverarbeitungssystem sowie der entsprechenden Hardware-Unterstützung zur Lokalisierung in Echtzeit ausgestattet. Das System nutzt zwei hochauflösende Kameras und einen Laserscanner.

Das Team besitzt insbesondere Erfahrungen in der Realisierung von Sensorik, Bildverarbeitung, Chip-Technologie und Rechnerarchitektur für die Raumfahrt. Für den Wettbewerb liegt der Fokus der Arbeiten auf der Implementierung eines verlässlichen, präzisen und ausfallsicheren Erkundungs- und Lokalisierungssystems. Die Positionsdaten werden hierbei aus den Informationen verschiedener Sensorsysteme in Echtzeit bestimmt (s. [13]). Die Gruppe hat insbesondere Erfahrung im Bereich adaptiver Systeme [10], [24].

4 *space-bot 21*-Ansatz

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt 3 ein Überblick über die weiteren Teilnehmer des Wettbewerbs gegeben wurde, wird im Folgenden der Ansatz des Teams *space-bot 21* der *hochschule 21* vorgestellt.

4.1 Team

Das Team der *hochschule 21* selbst setzt sich aus einer Reihe hochmotivierter Studenten des Studiengangs Mechatronik DUAL und zwei Professoren zusammen. Einige der Teammitglieder können auf Erfahrungen aus anderen Roboterwettbewerben zurückgreifen, wie beispielsweise der Design Challenge 2012 an der Jade Hochschule Wilhelmshaven (s. [19]).

4.2 Aufbau

Der Ansatz verfolgt die Idee (vgl. auch [20]), mehrere Roboter zu verwenden. Einen Rover (Hauptrbeiter) zur Abarbeitung der gestellten Aufgaben und mindestens eine (luftgestützte) Drohne, zur schnellen Erkundung der Umgebung. So kann nebenläufig exploriert, identifiziert und navigiert werden. Die Kommunikation der einzelnen Roboter erfolgt über eine WLAN-Verbindung. Die Roboter sind so in der Lage, parallel die zur Verfügung gestellte grobe Karte zu verfeinern, gefundene Objekte einzuordnen sowie unbekannte Areale zu explorieren. Dadurch kann in kürzerer Zeit eine vollständige Karte der Umgebung erstellt werden. Diese Karte steht allen Robotern zur Verfügung und unterstützt so die Kooperation.

Der Hauptrbeiter zeichnet sich durch eine Hauptrecheneinheit (HRE) aus, in der beispielsweise die Karte durch die Informationen aus den verschiedenen Quellen, wie der luftgestützten Drohne, dem Hauptrbeiter und eventuell auch einer kleineren Landdrohne, vervollständigt wird. Ebenso werden in der HRE die rechenintensiven Operationen zum Beispiel der Bilderkennung durchgeführt.

Des Weiteren bekommt der Rover von diversen Sensoren weitere Informationen, die es auszuwerten gilt. Hierbei stehen u.a. Lage- und Temperatursensoren zum Beispiel an der Mooren im Fokus. Die Auswertung solcher Sensoren dient dazu, dass der Rover seinen eigenen Zustand kennt. Die Lage ist wichtig beim Transport der Flüssigkeit. Es müssen auch unterschiedliche Aktoren angesteuert werden. Zum Beispiel, um die Neigung der Flüssigkeitstransportfläche möglichst waagerecht zu halten. Dieses erfolgt mit Hilfe von zwischengeschalteten Mikrocontrollern (beispielsweise einem Raspberry PI [1]). Sie übernehmen die Steuerung der Aktoren sowie die Erstverarbeitung der Sensordaten.

Der Hauptrbeiter wird mit einem selbstkonstruierten Manipulator sowie Transportflächen ausgestattet. In der folgenden Abbildung 7 ist ein grobe schematische Zeichnung dargestellt, wobei aufgrund der fehlenden Maßstabstreue der Platz für die Transportflächen nicht ersichtlich ist.

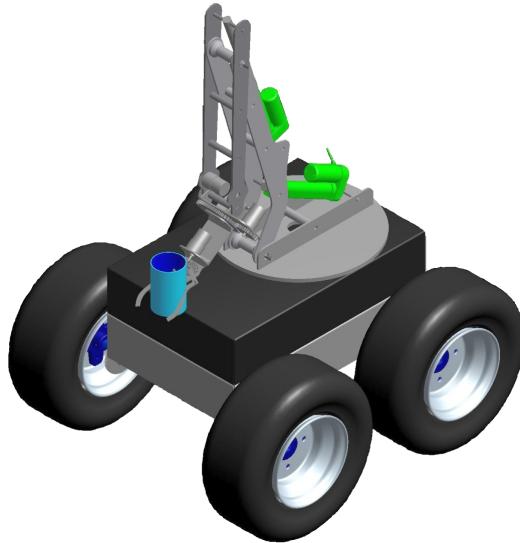


Abbildung 7: Schema Hauptrbeiter

In der Abbildung ist zu erkennen, dass es sich um ein vierrädrigen Rover handelt, der einem sog. Quad-Bike äußerlich ähnlich ist. Jedes der vier Räder hat jedoch einen eigenen Antrieb, sodass eine Art Panzersteuerung möglich ist. Das bedeutet auch, dass der Rover sehr wendig ist. Die verhältnismäßig großen Räder erlauben es, auch im unwegsamen Gelände voranzukommen.

Der Hauptrbeiter selbst erhält u.a. Lagesensoren, Batteriezustands- und Temperatursensoren, damit gestützt auf der Wissensbasis in der HRE gegebenenfalls geeignete Maßnahmen durchgeführt werden können, um die Funktionstüchtigkeit des Hauptroboters zu gewährleisten. Die luftgestützte Drohne und der Hauptrbeiter werden mit Hochleistungsakkumulatoren mit geringem Selbstentlade-

effekt ausgestattet³.

4.3 Navigation und Kartenbildung

Die kontinuierlich zu messenden Sensordaten ermöglichen die Navigation. Diese stellt für ein autonomes Robotersystem den wichtigsten Punkt dar, um alle notwendigen Aktionen zielgenau abzuarbeiten. Aktuell wird die Umgebung zur ordnungsgemäßen Navigation in drei Bereiche unterteilt.

- Den ersten Bereich stellt die Navigation über kurze Distanzen dar, in der Nahbereichssensoren ein Abbild von der Umgebung erstellen, welches in bestimmten Abständen aktualisiert wird.
- Den zweiten Bereich stellt die Navigation über mittlere Distanzen dar, bei der Gegenstände, die zu groß für die Nahbereichssensoren sind, ermittelt werden und in die Wegeplanung miteinbezogen werden.
- Den letzten Bereich stellt die „globale“ Navigation, oder auch Navigation über große Distanzen genannt, dar und befasst sich mit Distanzen von 10m bis mehreren Kilometern.

Bei allen Bereichen werden so genannte „grid-maps“ oder auch Sektorkarten erstellt, welche die Navigation durch Bildung von Koordinaten erleichtern sollen. Einzig die Größe der Sektoren und die angezeigten Karteninformationen unterscheiden die drei Bereiche voneinander, wodurch die Auflösung für die erforderlichen Weginformationen spezifisch angepasst werden kann [6].

Die GPS-freie Kartenbildung autonomer Systeme erfolgt in der Regel über eine Verbindung von Odometrie und Laserscanverfahren. Unter Odometrie versteht man die Positionserkennung bzw. -veränderung durch das Auslesen der Antriebe des Systems, z.B. die Anzahl der Umdrehungen der Räder, wodurch die Positionsveränderung des Systems berechnet werden kann⁴. Durch ein sog. SLAM-Verfahren (Simultaneous Localization and Mapping) werden die Werte von Odometrie und Laserscanner ständig verglichen [31, 26]. Mit Hilfe von Sensoren wird ein digitales Abbild der Umgebung, also eine Karte, in Bezug zur aktuellen Position geschaffen, das beispielsweise durch ein Besetzungsgitter erstellt wird. Die Selbstlokalisierung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die Karten können in verschiedenen Formaten vorliegen.

Die Navigation und Exploration der luftgestützten Drohne (Quadcopter), kann durch die Verwendung des Kinect-Sensors von Microsoft hinreichend gute Ergebnisse liefern (vgl. STARMAC-Ansatz [21]). Eine Alternative hierzu wäre der Einsatz von teleskopisch ausfahrbaren visuellen Sensoren.

Zusätzlich wird ein Laserentfernungsscanner der Fa. Hokuyo verwendet. Dieser hat einen Öffnungswinkel von 270° und eine Reichweite von ca. 30 Metern [2]. Alle Daten werden mittels Sensor Fusion [9] genutzt, um die Karte zu vervollständigen. Neben einem Kamerasystem auf dem Hauptroboter können noch weitere Nahfeldsensoren zum Einsatz kommen.

4.4 Pfadplanung

Die Planung spielt speziell bei Robotern, die autonom eine Strecke in unbekanntem Terrain zurücklegen müssen, eine große Rolle. Hierbei gibt es, je nach Aufgabe des Robotersystems, unterschiedliche Zielsetzungen. So kann zum Beispiel die Erstellung einer genauen Karte des Gebietes interessant sein. Hierzu ist ein Weg zu wählen, der möglichst viele Informationen liefert. Diese sind nicht beschränkt auf Gegenstände, die über Abstands- bzw. Kollisionssensoren erkannt werden, sondern beziehen auch Untergrundinformationen ein, die z.B. über induktive Sensoren ermittelt werden können. Eine weitere Zielsetzung kann darin bestehen, in einem bekannten oder auch unbekannten Gebiet einen möglichst effizienten Pfad (energieeffizient, kurz, schnell) zu finden. Hierbei ist eine genaue Lokalisierung in der Umgebung besonders wichtig. Aus Odometriesensoren, Zählung der Radumdrehungen, Landmarken oder GPS-Daten erhält der Roboter Informationen über seinen aktuellen Aufenthaltsort [28]. Wenn genug Daten über die Umgebung, sowie die eigene Position vorhanden sind, kann daraus ein Weg berechnet werden, der den Anforderungen entspricht [5]. Dieser Prozess ist sehr komplex, da neben

³Hierbei ist konzeptuell zu prüfen, ob und wie eine Ladefunktion über Solarpanel realisiert werden könnte.

⁴Das ist jedoch als alleinige Informationsquelle relativ fehleranfällig.

der Richtung in der Ebene noch weitere Faktoren, wie z.B. Steigungen und Untergrundbeschaffenheit einbezogen werden müssen. Ein anzunehmendes Ergebnis liegt erst dann vor, wenn eine Berechnung erfolgt ist, die sowohl den externen Anforderungen entspricht, sowie auch die Möglichkeiten des Roboters nicht überschreitet.

4.5 3D Objekt- und Umgebungserkennung

Die Objekt- und/oder Umgebungserkennung lässt sich mit Hilfe von Kamerasystemen realisieren, die Tiefeninformationen ermitteln wie Stereoköpfe oder Laserscanner. Hierbei werden 3D-Bilder und ganze 3D-Karten erstellt und von der Hauptrecheneinheit analysiert, um die einzelnen Objekte und wichtige Informationen zu filtern (s. [16]).

Bei dem Wettbewerb sind zwei Erkennungsmodi der Objekte zu unterscheiden. Zum einen das Erkennen von Objekten im Gelände um diese als Landmarken zu nutzen [23]. Zweck dieser Erkennung ist die Verfeinerung der zur Verfügung gestellten groben Karte als Grundlage der Pfadplanung für den Rover oder ggf. für die Landdrohne. Wichtig hierbei sind die Lage und die Größe eventueller Hindernisse, Steigungen und auch soweit möglich die Beschaffenheit des Untergrunds.

Weiterhin müssen die zu findenden Objekte erkannt werden. Da alle drei Objekte eine eigene spezifische Farbe aufweisen, kann dies über Farbinformationen geschehen. Da im Vorfeld bereits klar ist, dass sich ein Objekt innerhalb einer Höhle befinden wird, kann über die Landdrohne eventuell direkt nach einer Höhle oder einem Überstand gesucht werden. Ist eines der Objekte gefunden worden und der Rover vor Ort, um das Objekt zu manipulieren, kommt es auf eine deutlich höhere Genauigkeit und Lokalisation an, denn auch der Manipulator kann sich nur auf Grundlage eines errechneten Pfades zum Objekt bewegen, damit er nicht gegen Hindernisse wie z.B. die Höhlendecke kollidiert. Hierfür ist das Mehrachssystem des Manipulatorarms im Algorithmus hinterlegt, so dass die Pfadberechnung die Ausdehnung des Arms kennt.

Der zugrunde liegende Algorithmus muss sich also selbstständig an die Situation (Kartenerstellung und Manipulation) anpassen, um den Anforderungen gerecht zu werden.

5 Ausblick

Der Wettbewerb namens „SpaceBot Cup“ des DLR wurde detailliert beschrieben; sowohl die Voraussetzung und Regeln des Wettbewerbs als auch die zehn teilnehmenden Teams mit ihren zum Teil sehr unterschiedlichen Hintergründen und Expertisen.

Darauf aufbauend wurde das Konzept des Teams *space-bot 21* der *hochschule 21* zur Lösung der Herausforderungen des Wettbewerbs aufgezeigt. Dieses Konzept liegt den ersten Entwicklungsschritten zugrunde. Zeigen erste Erprobungen, dass das Konzept geändert werden muss, so stehen hierfür die Mittel und auch die Zeit zur Verfügung.

Neben der Umsetzung des Konzept, die in der jetzigen Projektphase im Fokus steht, soll auch eine eigene Testbed aufgebaut werden. Hierzu soll in einer *hochschule 21*-eigenen Versuchshalle ein ca. 45 m² (ca. 9 m × 5 m) großes Areal realisiert werden (vgl. Abbildung 8). Innerhalb dieses Areals werden drei Testobjekte (Objekt 1 bis 3 – vgl. Abschnitt 2) platziert, um diese mit zum Beispiel visuellen Sensoren zu finden. Des Weiteren werden auch ähnliche Steigungen simuliert.

Es ist weiterhin geplant, Berichte in dieser Berichtsreihe durch Themen des Raumfahrtroboterwettbewerbs fortzuführen, wobei hier Details aus der Umsetzungsphase beschrieben werden.

6 Danksagung

Wir, das aktuelle Kernteam – namentlich sind das in alphabetischer Reihenfolge neben den beiden Autoren: *Fatih Aykun, Kai-Malte Böhling, André Dehne, André Delventhal, Mathis Gerken, Christoph Grefe, Alexander Kammann, Paul Müller, Sascha Reuter, Pierre Schellner, Frederic Schmehl, Benjamin Schoof* –, danken dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt für die Möglichkeit, an diesem Wettbewerb teilzunehmen und für die finanzielle Unterstützung. Ferner danken wir der *hochschule 21*, die uns in diesem Projekt organisatorisch unterstützt.

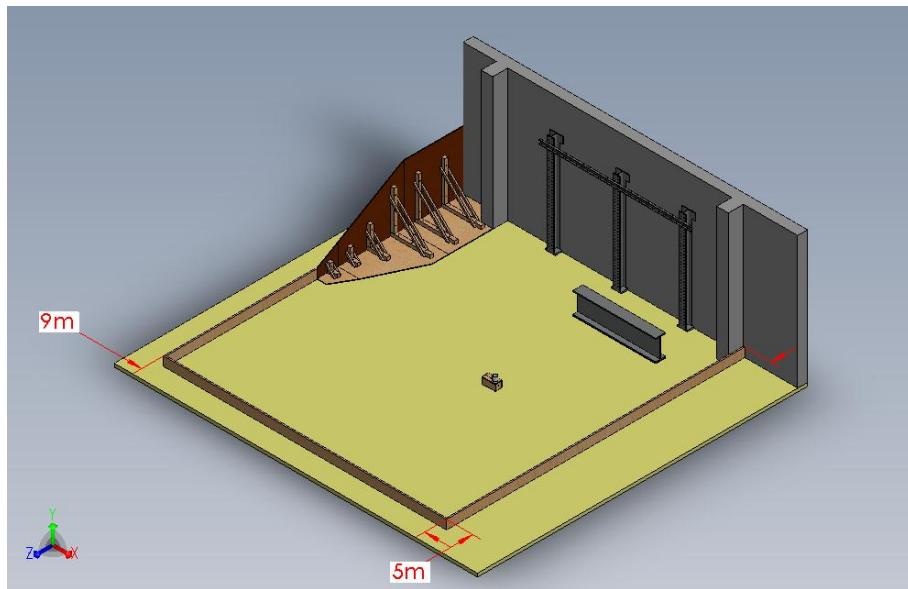


Abbildung 8: Eigenes Testgelände (Testbed)

Literatur

- [1] Homepage der Raspberry Pi Foundation. <http://www.raspberrypi.org/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 17.4.2013.
- [2] Manu Systems AG. UTM-30LX Laserscanner, HOKUYO. <http://de.manu-systems.com/UTM-30LX.shtml>, 2013. zuletzt aufgerufen am 10.4.2013.
- [3] J. Beyerer and M. Huber, editors. *Proceedings of the 2010 Joint Workshop of Fraunhofer IOSB and Institute for Anthropomatics, Vision and Fusion Laboratory*, volume IV of *Karlsruher Schriften zur Anthropomatik, Band 7*. Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung Karlsruhe, 2011.
- [4] Heiko Bülow and Andreas Birk. Spectral 6-dof registration of noisy 3d range data with partial overlap. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 35:954–969, 2013.
- [5] Sven Busch. Autonome Wegplanung mittels lokaler und globaler Sensorik für mobile Roboter. Master's thesis, Universität Dortmund – Fachbereich Informatik, 2006.
- [6] Armbrust C., T. Braun, T. Föhst, M. Proetzsch, M. Renner, B.H. Schäfer, and Berns K. RAVON – The Robust Autonomous Vehicle for Off-road Navigation. In Y. Baudoin and M.K. Habib, editors, *Using robots in hazardous environments: Landmine detection, de – mining and other applications*. Crc Press, 2011.
- [7] TU Chemnitz. Homepage der Professur Prozessautomatisierung. <http://www.tu-chemnitz.de/etit/proaut/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [8] DFKI. Projektseite des dfki bremen. <http://robotik.dfkibremen.de/de/forschung/projekte.html>, 2013. ezuletzt aufgrufen am 4.4.2013.
- [9] Thomas Emter. Multi-Sensor Fusion for Localization and Mapping for Mobile Robots. In [3], pages 91–106.
- [10] Björn Fiethe, Frank Bubenhagen, Tobias Lange, Harald Michalik, Holger Michel, Joachim Woch, and Johann Hirzberger. Adaptive hardware by dynamic reconfiguration for the solar orbiter phi

instrument. In *Adaptive Hardware and Systems (AHS), 2012 NASA/ESA Conference on*, pages 31–37, June 2012.

- [11] Universität Karlsruhe Forschungszentrum Informatik (FZI). LAUROPE – Beitrag zum DLR Space Bot Cup, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [12] Institut für Informatik VI. Homepage des Instituts für Informatik VI - Autonomous Intelligent System - der Universität Bonn. <http://www.ais.uni-bonn.de/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [13] Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze (IDA) der TU Braunschweig. Webseiten des ida zum spacebot cup. http://www.ida.ing.tu-bs.de/spacebot_cup/, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [14] Instituts für Luft-und Raumfahrt der TU Berlin. Homepage des Instituts für Luft- und Raumfahrt der Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme. <http://www.ilr.tu-berlin.de/menue/home/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [15] KUKA Laboratories GmbH. Startseite der KUKA Laboratories. <http://www.kuka-labs.com/de/start.htm>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [16] S. Grzonka, B. Steder, and W. Burgard. 3d place recognition and object detection using a small-sized quadrotor. In [22], 2011.
- [17] Locomotec UG (haftungsbeschränkt). Homepage der Fa. Locomotec. <http://www.locomotec.com/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [18] Locomotec UG (haftungsbeschränkt). Homepage youbot Store. <http://www.youbot-store.com/>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [19] Jade Hochschule. <http://www.jade-hs.de/jadewelt/studium-lehre/detailseite/article/roboterwettbewerb-design-challenge-geht-in-die-heisse-phase/>, 2012. Wilhelmshaven, Oldenburg, Elsfleth, zuletzt aufgerufen am 17.4.2013.
- [20] A. Howard, L.E. Parker, and G.S. Sukhatme. Experiments with a large heterogeneous mobile robot team: Exploration, mapping, deployment and detection. *International Journal of Robotics Research*, 25(5-6):431–447, 2006.
- [21] University Berkeley/Stanford Hybrid Systems Lab. Starmac, 2009. zuletzt aufgerufen am 10.4.2013.
- [22] Nathan Michael, Mac Schwager, and Vijay Kumar, editors. *Proc. of RSS 2011 Workshop 3D Exploration, Mapping, and Surveillance with Aerial Robots*, Philadelphia, PA, USA, 2011. GRASP Laboratory University of Pennsylvania, online <http://mrs1.grasp.upenn.edu/rss2011workshop/Proceedings/>.
- [23] E. Michaelsen, K. Jäger, D. Roschkowski, L. Doktorski, and M. Arens. On the semantics of object-oriented landmark recognition. *Pattern recognition and image analysis*, 22(1):44–53, 2012.
- [24] Harald Michalik, Torsten Fichna, Björn Fiethe, Frank Bubenhangen, Holger Michel, and Björn Osterloh. Adaptive computers in space - in flight hw-reconfigurable processors using high density fpgas. In Harald Michalik, Torsten Fichna, Björn Fiethe, Frank Bubenhangen, Holger Michel, and Björn Osterloh, editors, *8th Symposium on Small Satellites for Earth Observation*, Germany, April 2011. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., International Academy of Astronautics.
- [25] Daniel Nölke and Thilo Kaupisch. Foliensatz: DLR SpaceBot Cup Kick-Off-Meeting, März 2013. Berlin.
- [26] A. Nüchter. *3D Robotic Mapping*. Springer-Verlag GmbH, 2009.

- [27] Jörg Stücker, Nenad Brisev, and Sven Behnke. Semantic Mapping Using Object-Class Segmentation of RGB-D Images. In *Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Vilamoura, Portugal, October 2012.
- [28] Wolfgang Stürzl. *Sensorik und Bildverarbeitung für Landmarken-basierte Navigation*. PhD thesis, Eberhard Karls Universität Tübingen, 2004.
- [29] Niko Sünderhauf. *Robust Optimization for Simultaneous Localization and Mapping*. PhD thesis, TU Chemnitz, 2012. persistente URN: urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-86443.
- [30] Wikipedia. Global Positioning System. <http://de.wikipedia.org/wiki/GPS>, 2013. zuletzt aufgerufen am 4.4.2013.
- [31] Wikipedia. Simultaneous Localization and Mapping. http://de.wikipedia.org/wiki/Simultaneous_Localization_and_Mapping, 2013. zuletzt aufgerufen am 10.4.2013.