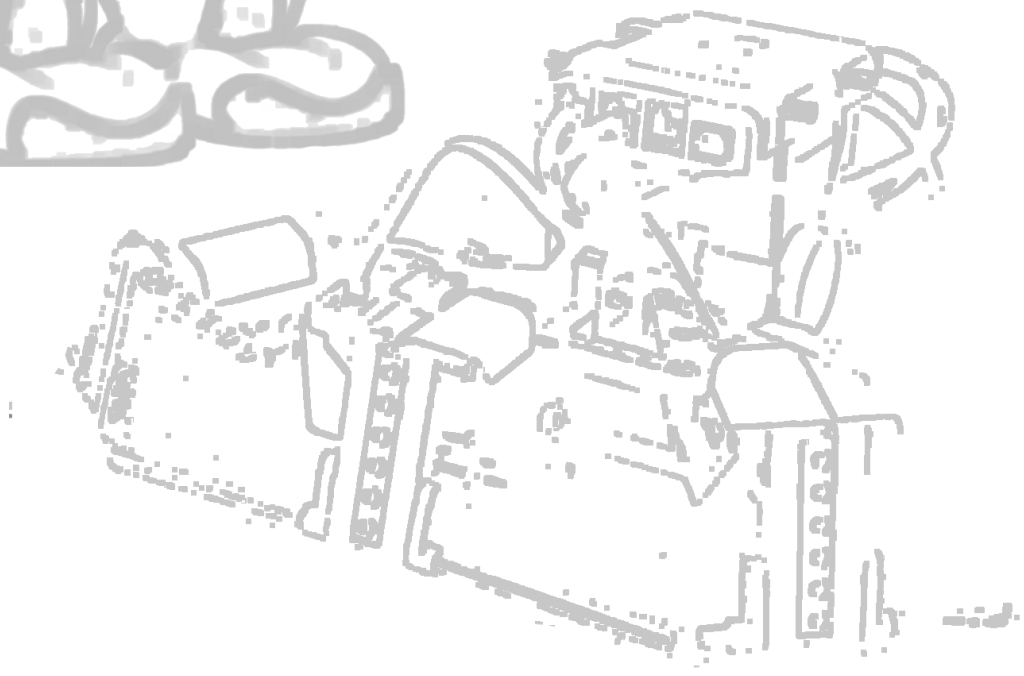


Dokumentation

Semesterprojekt - Softwaretechnik für autonome Roboterteams

Jens Bork, Denis Erfurt, Lorenz Fichte, Robert Fritz, Josef Hufnagl, Sebastian Günther, Sven Schröder, Jonathan Sielhorst und Cordt Voigt

Berlin, Sevilla, Zuerich; den 10.10.2012

Inhaltsverzeichnis

I Allgemein

Kapitel 1

Vorwort

Bei der vorliegende Projektdokumentation handelt es sich um die abschließende Dokumentation des Semesterprojektes “Softwaretechnik für autonome Roboterteams” im Sommersemester 2012 am Institut für Informatik der Humboldt-Universität zu Berlin. Das Projekt ist verpflichtender Bestandteil zum Erlangen des Bachelor of Science am Institut.
Diese Dokumentation wurde Frau Prof. Dr. sc. nat. Verena Hafner und Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd-Holger Schlingloff, den Betreuern des Projekts, vorgelegt. Durchgeführt wurde das Projekt von Jonathan Sielhorst, Jens Bork, Sven Schröder, Lorenz Fichte, Denis Erfurt, Cordt Voigt, Robert Fritz, Josef Hufnagl und Sebastian Günther. Außerdem wurde das Projekt von Marcus Scheunemann vom Lehrstuhl Kognitive Robotik betreut. In der Studienordnung [1] ist das Semesterprojekt folgendermaßen beschrieben: “[...] Studierende üben die Fähigkeit, in einem Team ein komplexes System, das eine gegebene Aufgabenstellung löst, in Hard- und/oder Software zu entwerfen, zu entwickeln, zu testen und zu dokumentieren sowie die Ergebnisse in geeigneter Form zu präsentieren. Sie erlangen Kenntnisse über die typischen Probleme bei Projekten mit mehr als 2 Beteiligten. Sie erhalten die Fähigkeit zur selbstkritischen Präsentation des Erreichten und der vorgenommenen Entscheidungen.”
Diese Dokumentation soll also nicht nur den Zweck haben das Problem und die Lösungstrategie zu beschreiben und zu dokumentieren, sondern auch die während des Projekts aufgetretenen Probleme, Heransgehensweisen und Schwierigkeiten beleuchten und somit anderen Studierenden die Möglichkeit geben daraus zu profitieren. Berlin, Sevilla, Zürich, den 10.10.2012

[1] http://www.informatik.hu-berlin.de/institut/dokumente/ordnungen

Kapitel 2

Einleitung

Das in den nachfolgenden Kapiteln beschriebene Projekt wurde in einer vollständig heterogenen Soft- und Hardwareumgebung durchgeführt, es wird daher weitestgehend auf betriebssystem-, software- oder hardwarespezifische Beschreibungen verzichtet - da es jedoch auch Teilaufgaben gab, bei denen ein homogenes Umfeld maßgeblich für einen korrekten Ablauf war, werden diese Notwendigkeiten gesondert erläutert. Insbesondere die Arbeitsumgebungen, der in diesem Projekt verwendeten Roboter, werden genauer erläutert.
Die Programmiersprache die durchgehend verwendet wird ist Python in der Version 2.6; lediglich bei der hardwarenahen Ansteuerung einer Robotergruppe wurde aus pragmatischen Gründen NXC (Not excatly C,[1])verwendet. Verwendete anwendungsspezifische Begriffe werden gesondert im Glossar erläutert, eine grundsätzliche Verständnis der Themengebiete Informatik und Programmierung wird allerdings vorrausgesetzt.

[1] http://bricxcc.sourceforge.net/nbc/

Kapitel 3

Aufgabenstellung

3.1 Formulierung der Aufgabe

Die grobe Aufgabenstellung, wie sie ursprünglich ausgeschrieben war lautet: “Bei Erkundungsaktionen in für Menschen schwer zugänglichen Gebieten - etwa in Katastrophengebieten wie der Region Fukushima - können künftig Teams von autonomen Robotern eingesetzt werden, die miteinander kooperieren. Ein Flugroboter erkundet dabei das Gebiet aus der Luft und gibt den am Boden agierenden Rettungsrobotern Lage- und Geländeinformationen. Damit solch ein Szenario reibungslos funktioniert, müssen eine Reihe software-technischer Probleme gelöst werden, von der Modellierung der Anforderungen über die Implementierung der Kommunikation und Sensorverarbeitung bis hin zur Konstruktion geeigneter Sensorik, Motorik und Verhalten der mobilen Plattformen. In diesem Semesterprojekt soll ein automomes Roboterteam, bestehend aus einem Quadrokopter, humanoiden Nao-Robotern und mehreren NXT-Robotern, entworfen und realisiert werden, welches eine kooperative Aufgabe selbständig in schwer zugänglichem Territorium durchführt. Schwerpunkt liegt dabei auf der Modellierung und dem Entwurf der Software für das verteilte System, welche nachweisbar bestimmte Korrektheitseigenschaften erfüllen muss. Begleitend zum Projekt werden das Seminar *Schwarmverhalten* und die Vorlesung *Software-Verifikation* angeboten. Die Teilnehmerzahl ist begrenzt. Von den Teilnehmern werden Vorkenntnisse in Programmierung und verteilten Systemen vorausgesetzt. Die Themen sind eng mit den Forschungsarbeiten der LS Kognitive Robotik und SVT verbunden und können zu Abschlussarbeiten führen. Besonders wichtig ist die Zusammenarbeit im Team.” [1]

Im Verlauf der ersten Treffen der Gruppenmitglieder mit den Professoren wurde diese grobe Aufgabenstellung konkretisiert, indem verschiedene Möglichkeiten, das Problem zu lösen, diskutiert wurden. Einerseits wurde zunächst von einem Flugroboter abgesehen, da die Auswertung bewegter Bilddaten bereits ein sehr anspruchsvolles und umfangreiches Problem für sich allein ist - optional konnte dieser bei ausreichenden Ressourcen noch hinzu genommen werden. Das Gebiet indem der Zielbereich gefunden werden soll, kann durch Wände oder andere glatte Oberflächen begrenzt werden; die Hindernisse sollen durch Ziegel oder ähnliche, gleich beschaffene, Steine modelliert werden. Auch hier ist eine Anpassung des Schwierigkeitsgrades durch die Anzahl der Steine und die Größe des Spielfelds möglich. Eine zeitliche Beschränkung besteht automatisch durch die Akkulebensdauer der Roboter (s. dazu Abschnitt Nao, bzw. NXT). Die erste Idee für die allgemeine Vorgehensweise ist, die NXT's für die Erkundung der Umgebung zu verwenden, die dadurch erhaltenen Daten durch ein steuerndes System auszuwerten und anschließend zu benutzen, um den NAO zum Ziel zu führen. Die genauen Rahmenbedingungen durch die Aufgabe und die Einschränkungen und Anforderungen an das System und die Roboter sind in der Anforderungserhebung formuliert (siehe Kapitel 4 auf Seite 7).

3.2 Verfügbare Ressourcen

Für das Projekt sind laut Studienordnung 12 SP angesetzt - dies entspricht etwa einem Aufwand von 360 Stunden, also etwa 25 bis 30 Stunden pro Person pro Woche. Zusätzlich haben Frau Professor Hafner, Herr Professor Schlingloff und Marcus Scheuenemann einmal wöchentlich an einer gemeinsamen Sitzung von 90 Minuten teilgenommen und waren darüber hinaus auch während des gesamten Semesters als Ansprechpartner verfügbar. Die für das Projekt eingeplanten Roboter waren zwei NAO's, sowie mehrere NXT-Bausätze, die je nach Bauart ausreichend für 3-5 Roboter sind. Für Test- und Arbeitszwecke wurde

[1] https://goya3.informatik.hu-berlin.de/goyacs/course/showCourseDetails.do?id=8363&caller=overview

ein Raum im Fraunhofer Institut in Berlin-Adlershof zur Verfügung gestellt, der uneingeschränkt genutzt werden konnte. Weiterhin wurden zur Ausführung und Entwicklung der Software die privaten Rechner der Studenten verwendet - Lizenzen für eine Python-Entwicklungsumgebung wurden von der Universität zur Verfügung gestellt.

Kapitel 4

Anforderungserhebung

Die Anforderungserhebung wurde aus der groben Aufgabenstellung (s. dazu “Aufgabenstellung”) und einer Einigung der Projektteilnehmer über den konkreten Ablauf der Mission erstellt. Sie ist in System- und Benutzeranforderungen gegliedert maßgeblich für das gesamte Projekt:

4.1 Systemanforderungen

1. NAO
   - 1.1. Der NAO soll helfen können die NXT's zu kalibrieren
     - 1.1.1. Die NXT's tragen TAGs die gemäß der Bedienungsanleitung vom NAO optisch erkennbar sind, wenn der NXT in einem Abstand von 30 - 100 cm vom NAO ist
     - 1.1.2. Der NAO muss das ganze ihm mögliche Sichtfeld absuchen können in dem er im Stehen sein Kopf bewegt
     - 1.1.3. Wenn ein NAO ein freies Sichtfeld auf den NXT hat, sendet er dem MCC auf Anfrage Informationen über die relative Lage, sonst muss der NAO dem MCC den Fehler, dass der NXT nicht gesehen werden kann, melden
   - 1.2. Der NAO muss sich zu Beginn nach dem Aufstehen und wenn er hinfällt mit Hilfe der NXT's auf 2 cm genau kalibrieren können
     - 1.2.1. Der NAO hat ein freies Sichtfeld auf 2 NXT's, sonst muss der NAO dem MCC den Fehler, dass er einen oder beide NXT's nicht sehen kann, melden
     - 1.2.2. Die NXT's sind in einem Abstand von 30 - 100 cm, sonst muss der NAO dem MCC den Fehler, dass ein oder beide NXT's nicht im gewünschten Radius sind, melden
   - 1.3. Der NAO muss sich anhand von Orientierungspunkten (Steine, NXT's, Tags??) einem gegebenen Pfad mit einem Fehler von höchstens 5 cm folgen können
2. NXT
   - 2.1. Der NXT muss zu einem gegebenen Punkt fahren können mit einer maximalen Abweichung von 10 cm
   - 2.2. Der NXT darf für 1 m Luftlinie maximal 1 min brauchen
   - 2.3. Der NXT muss das Ziel identifizieren können wenn er darüber fährt
   - 2.4. Der NXT muss selbstständig Kollisionen verarbeiten können, so dass er anschließend weiter fahren kann
   - 2.5. Der NXT muss sich selbstständig, effektiv in einem unbekannten Gebiet bewegen können
   - 2.6. Der NXT muss seine Position, den Winkel seiner aktuellen Ausrichtung und ob er sich auf dem Ziel befindet oder nicht laufend an das MCC übermitteln können
3. MCC
   - 3.1. Das MCC muss mit 2 NAO's kommunizieren können
   - 3.2. Das MCC muss mit bis zu 5 NXT's kommunizieren können
   - 3.3. Das MCC muss die 5 Zustände *Initial*, *AutonomicExploration*, *GuidedExploration*, *PathVerification* und *NAOWalk* mit folgenden Zustandsübergangsanforderungen verwalten können:

Initial
Tritt nach Beginn der Mission ein

AutonomicExploration
Tritt ein nachdem die NAO's stehen, kalibriert sind und die NXT's ihre absolute Position erhalten haben

GuidedExploration
Tritt nach 5 Minuten des vorherigen Zustands ein

PathVerification
Tritt ein nachdem das Ziel gefunden wurde, ein Pfad dorthin berechnet wurde und 80

NAOWalk
Tritt ein nachdem die vorherige Phase erfolgreich abgeschlossen wurde; sonst wird die *GuidedExploration* wiederholt

3.3.1. Das MCC muss den NAO's und den NXT's die aktuelle Missionsphase mitteilen können

3.4. Das MCC muss eine Karte aus den Messungen der NXT's generieren können

3.4.1. Das MCC kann die Karten in vereinfachter Form an die Roboter schicken können

3.4.2. Das MCC muss nach einer Kalibrierung die Messfehler mit Hilfe der Abweichung, die die Kalibrierung ergeben hat, verringern können

3.5. Das MCC muss mit Hilfe der beiden NAO's einen NXT kalibrieren können

3.5.1. Das MCC muss die Funktion kalibrieren bereit stellen, Die eine Anfrage an die beiden NAO's stellt einen bestimmten NXT zu kalibrieren

3.5.2. Wenn beide NAO's relavtive Koordinaten für den NXT liefern, dann ermittelt das MCC die absolute Position des NXTs und teilt ihm diese mit

3.5.3. Nach erfolgter Kalibrierung, sendet das MCC dem NXT seine aktuelle Koordinaten.

3.5.4. Das MCC muss den NXT auf 2 cm genau identifizieren können

3.5.5. Wenn ein oder beide NAO's den Fehler melden, dass der NXT nicht in Sichtfeld ist, muss das MCC dem NXT eine neue Position geben können, die das Problem möglicherweise behebt

4. NAOWalk

4.1. Das MCC muss einen Pfad zum Ziel bestimmen und diesen an den NAO übermitteln können

4.2. Der NAO muss mit Hilfe von einem NXT mit einem roten Ball zum Ziel laufen können

4.2.1. Der NAO muss dem 1 Meter enfernten NXT mit dem roten Ball folgen können und ihm mitteilen, dass er angekommen ist

4.2.2. Der NAO muss sich das letzte Teilstück zum NXT merken und auf die ehemalige position des NXT laufen können wenn dieser sich weiterbewegt hat.

4.3. Der NAO muss den Becher am Ziel platzieren können

4.2 Benutzeranforderungen

1. Der Benutzer muss die Roboter auf initiale Positionen bringen, so dass alle NXT's im Sichtfeld beider NAO's sind

2. Der Benutzer muss die Mission starten können

3. Die Mission muss bis auf den Systemstart ohne menschlichen Eingriff ablaufen und nach maximal 30 Minuten erfolgreich beendet sein

4. Es sollen 2 NAOs und bis zu 5 NXT's verwendet werden

5. Das Spielfeld soll eine Größe von 3m * 3m haben

6. Auf dem Spielfeld befinden sich Hindernisse

6.1. Die verwendeten Hindernisse sind so zu plazieren, dass mindestens ein möglicher Weg vom NAO zum Ziel existiert

6.2. Die Hindernisse sind von den NXT's erkennbar, d.h. sie dürfen sich nicht verschieben oder umfallen, wenn der NXT dagegen fährt

6.3. Die Größe der Hindernisse entsprechen den Kalkziegelsteinen von Hellweg für 89 Cent

7. Am Ende der Mission muss ein Becher auf dem Zielpunkt positioniert sein

7.1. Der Durchmesser des Ziels beträgt mindestens 15 cm.

7.2. Im Umfeld von 30 cm um das Ziel befinden sich keine Hindernisse.

Kapitel 5

Projekt- / Zeitplanung

5.1 Gruppenaufteilung

Ausgehend von der Anforderungserhebung kann das Projekt in drei große Teilaufgaben gegliedert werden:

- Implementation des Mission Control Centers
- Konstruktion der NXT's und Implementation der für die Roboter benötigten Routinen
- Implementation der für die NAO's benötigten Routinen

Diese drei Teilaufgaben wurden durchgehend von jeweils einer Gruppe von 2-4 Studenten bearbeitet, wobei ein Student im speziellen die Kommunikation zwischen dem MCC und dem NAO-Roboter bearbeitet hat. Durch diese Einteilung konnte - nachdem die exakten Schnittstellen zwischen den Gruppen, bzw. den Programmen festgelegt wurden - die Projektarbeit auf drei Kleingruppen heruntergebrochen werden. Innerhalb dieser Kleingruppen wurden die anstehenden Aufgaben in der Regel gemeinschaftlich oder zumindest in durchgängiger Absprache durchgeführt.

5.2 Grobe Ablaufplanung

In der Anforderungserhebung ist bereits die zu entwickelnde Funktionalität beschrieben - darauf basierend wird die Mission mit folgendem Ablauf implementiert:

1. Die NXT's erkunden die Umgebung in ausreichendem Maße, so dass für den NAO ein Weg zum Ziel existiert. Die Informationen werden dem MCC übermittelt und in einer Karte visualisiert, um den Ablauf der Mission verfolgen zu können.
2. Das MCC hat ide Möglichkeit die auftretenden Ungenauigkeiten zu reduzieren, indem eine Kalibrierung eines NXT's durch einen NAO erfolgt.
3. Nachdem die Karte ausreichend erkundet ist und ein Weg zum Ziel berechnet wurde, wird der NAO, geführt von einem NXT, zum Ziel gebracht um dort den Becher abzustellen. Formal ist der Ablauf der Mission in einer "State-Machine"implementiert (s. dazu "Statusorientierter Ablauf").

II Projektumsetzung

Kapitel 6

MCC - Mission Control Center

6.1 Statusorientierter Ablauf

Um die Lösung der Aufgabe zu strukturieren, aber auch um die Möglichkeit zu haben, die Mission in Teilaufgaben zu unterteilen, ist der Ablauf grundsätzlich in 5 verschiedene Status unterteilt. Jeder einzelne Status besteht aus einem definierten Ziel und dementsprechend Abbruch-, bzw. Abschlusskriterien. Die Implementierung ist in Form einer "META-State-Machine" vorgenommen, die den (inneren) Status der Mission kennt und bei Änderung diesen an die einzelenen Teilsysteme propagiert. Die im folgenden beschriebenen Status geben die konzeptionellen Bedingungen und Aktionen innerhalb dieses Status wieder, es werden jedoch keine konkreten Abläufe, bzw. Implementierungen dieser Aktionen erläutert. Eine genaue Beschreibung der Abläufe wird in späteren Kapiteln nachgeholt. Die einzelnen von der State-Machine verwalteten Status sind:

1. Initial Der Initial-Zustand wird automatisch von allen (Teil-)Systemen zu Beginn der Mission eingenommen ohne von der State-Machine propagiert werden zu müssen. Der Initial-Zustand stellt grundsätzliche einige Vorbedingungen sicher, damit die eigentliche Mission gestarted werden kann. Damit die Kalibirerung (s. u.) der NXT's durch den NAO möglichst geringe Fehler produziert, wird zunächst der NAO aufgestellt (falls er nicht bereits steht) und anschließend mit Hilfe von zwei NXT's auf eine Position innerhalb der Karte kalibriert. Anhand dieser Daten werden auch die Positionen der NXT's bestimmt - sollte es noch weitere NXT's geben, werden diese im Abschluss ebenfalls kalibriert. Für den Übergang in den nächsten Status muss der NAO stehen und alle NXT's und der NAO müssen kalibriert sein.

2. Autonomic Exploration Die Autonomic Exploration ist die erste Phase in der das unbekannte Gebiet erkundet wird. Zur Erkundung verwenden die NXT's verschiedene Explorationsalgorithmen (s. dazu die Kapitel zum NXT) mit dem Ziel, innerhalb einer vorgegebenen Zeit einen möglichst großen Bereich zu erkunden. Die zeit die für diese Phase veranschlagt ist beträgt 5:00 Minuten. Dieser Wert ist allerdings sehr von der gestellten Aufgabe abhängig - je nach Größe des zu erkundenden Gebietes sollte der Wert entsprechend angepasst werden, damit nach Ablauf der Zeit ein adequater Bereich erkundet wurde.

3. Guided Exploration In dieser Phase wird zielgerichtet versucht, nicht erkundete Gebiete von den NXT's abfahren zu lassen. Da nicht bekannt ist, wie groß das gesamte zu erkundende Gebiet ist oder welche Ausmaße es hat, muss man Areale, die noch abgefahren werden sollen, nach gewissen Kriterien aussuchen (s. hierzu Geführte Erkundung). Die Punkte die dann letztendlich noch abgefahren werden sollen, werden direkt vom MCC an die entsprechenden NXT's geschickt. Maßgeblich für den Übergang in die nächste Phase ist, dass das Ziel gefunden wurde. Mögliche Adaptionen sind bei Kenntnis des Gebietsumfangs die Erkundung bis ein bestimmter Schwellwert an erkundetem Gebiet relativ zum Gesamtgebiet überschritten wird und das Vorhandensein eines ausreichend großen Weges zum Ziel.

4. Path Verification Nach der zweiten Erkundungsphase wird der vom MCC berechnete Pfad zum Ziel (s. hierzu Pfad zum Ziel) durch einen NXT verifiziert. Es soll dabei sichergestellt werden, dass der berechnete Weg ausreichende Ausmaße hat, um vom NAO abgelaufen zu werden. Sollte der Weg als ungenügend erkannt werden, wird zur vorigen Phase zurück gesprungen. In dieser kann zielgerichtet versucht werden entweder den berechneten Pfad zu ändern, einen Neuen zu finden oder ein größeres Gebiet zu erkunden, um neue Wege zu finden.

5. NAO Walk In der letzten Phase wird der NAO von einem NXT zum Ziel geführt. Der NXT wird dabei vom NAO als Fixpunkt genutzt und bewältigt die Strecke abschnittsweise (s. hierzu NAO-Walk).

6.2 Architekturmodell

Bevor eine grobe Architektur entworfen werden kann, muss man sich klar machen, welche Funktionen das zu implementierende Stück Software leisten soll. Aus der Anforderungserhebung geht hervor, dass eine Karte existieren muss, in die die erhaltenen Erkundungsinformationen des NXT eingetragen werden können und die in vereinfachter Form an die NXT's geschickt werden kann. Zusätzlich ist es hilfreich, wenn auch nicht zwingend gefordert, dass während des Missionsablaufs die aktuelle gesamte Karte visualisiert wird, um den Missionsfortschritt und das Verhalten der Roboter transparent zu machen. Aus diesen Vorüberlegungen ist eine Implementierung der Model-View-Controler Architektur naheliegend. Im Modell werden NXT, NAO und die Karte abstrakt repräsentiert; Es gibt verschiedene Sichten auf die enthaltenen Daten, abhängig davon für wen die Information bestimmt ist.

6.2.1 Map Model

Im Map Model wird eine vereinfachte Darstellung der Karte und die Zielposition gespeichert. Bei der Karte wird dabei lediglich modelliert ob ein gewisser Bereich frei ist (also nicht durch ein Hindernis belegt) und wie warscheinlich es ist, dass er frei ist. Die Karte besteht aus einem Grid von gleichgroßen Kästchen die folgendermaßen geändert werden: In regelmäßigen Abständen erhält das MCC vom NXT eine Information über seine aktuelle Position sowie seinen Ausrichtungswinkel, relativ zu seiner Startposition. Die Informationen werden in sofern in der Karte eingetragen, als dass die durch den NXT belegten Kästchen zum Zeitpunkt der Übermittlung seiner Position, um 1 erhöht werden (initial: 0). Bei der Visualisierung der Karte bestimmt die Zahl auf den einzelnen Kästchen die Farbgebung und repräsentiert die Warscheinlichkeit, dass das Kästchen nicht durch ein Hinderniss belegt ist. Die Strategie der Erkundung besteht also nicht darin Hindernisse zu umfahren, sondern sich auf als frei vermuteten Flächen zu bewegen. Die Größe der Karte ist unabhängig von der Maßgabe in der Anforderungserhebung dynamisch, d.h. sie ist vollkommen losgelöst von der Größe des tatsächlichen Areals (unter anderem auch, weil nicht bekannt ist an welcher Position innerhalb des Gebiets die Roboter initial platziert werden). Bei Bedarf wird die karte automatisch um eine quadratische, so genannte MapSection erweitert.

6.2.2 NAO/NXT Model

Die Modelle der beiden Robotertypen (im Speziellen gibt es für jeden einzelnen Roboter eine eigene Instanz) halten zum einen die aktuelle Position innerhalb der Karte, sowie im Falle des NXT-Modells noch Informationen über die letzte Kalibirierung, sowie eine Spur der gefahrenen Strecke. Diese wird verwendet um nach einer Kalibrierung die Daten der Karte gegbenenfalls zu korrigieren (s. dazu Auswertung der Kalibirierung).

6.2.3 Controler / View

Die Aufgabe des Controlers ist es, Änderungen der Daten an das Model zu propagieren, damit es zu jedem Zeitpunkt aktuell ist. Der View verwendet die Daten des Modells, um den Anforderungen entsprechende Darstellungen zu erzeugen.

6.3 Verfahren zur Problemlösung

Die Aufgabe des MCC besteht nicht nur darin eine geregelte Kommunikation zwischen den Robotergruppen und eine Visualisierung des Missionsablaufs zu ermöglichen, sondern auch gewisse Problemstellungen währen der Mission zu lösen. Die einzelnen Problemstellungen werden im Weiteren detailliert erläutert.

6.3.1 Kommunikation

6.3.2 Auswertung der Kalibrierung

Bei der Arbeit mit Robotern gehört die Erkennung, Verminderung oder sogar Behebung von Fehlern zu den grundlegenden Aufgaben bei der Lösung von Problemstellungen, die mit der Feststellung der Position des Roboters verbunden sind. Da es eine wesentliche Teilaufgabe dieses Problems ist, eine simple,

aber doch möglichst genaue Karte der Umgebung zu erstellen, ist die Bestimmung der Position, bzw. Abweichungen während der Bewegung, von essentieller Wichtigkeit. Als Ausgangspunkt kann festgehalten werden, dass jeder der Roboter mit jeder Bewegung einen gewissen Fehler, im Bezug auf seine tatsächliche Position und die Position an der er sich selbst vermutet, erzeugt. Es kann weder davon ausgegangen werden, dass der Fehler unerheblich ist, noch dass er sich über einen gewissen Zeitraum oder gewisse Distanzen im Mittel selbst auslöscht. Um diesen Fehler zu verringern, werden die einzelnen NXT's zu gewissen Zeitpunkten durch den NAO kalibriert. Die Kalibrierungen finden nach der Phase Autonome Erkundung und Geführte Erkundung statt. Der NXT fährt dazu in den Sichtbereich des NAO's und der NAO berechnet die aktuelle Position des NXT's (s. dazu NAO: Kalibrierungsphase). Anhand der Position die der NXT für seine aktuelle hält und der vom NAO berechneten Position, kann eine relative Abweichung berechnet werden. Zum einen ist dies wichtig, damit ausgehend von dieser Position der NXT wieder bei einem Fehler von annähernd 0 startet (natürlich ist auch die Berechnung des NAO's in der Regel fehlerbehaftet), des Weiteren wird diese Abweichung verwendet um die gesamte, seit der letzten Kalibrierung oder dem Start abgefahrene Strecke, zu korrigieren. Der Algorithmus unterteilt dazu die seit der letzten Kalibrierung gefahrene Strecke in äquidistante Abschnitte und verschiebt die einzelnen Abschnitte in Richtung des bei der Kalibrierung ermittelten Wertes. Hierbei wird die Strecke in sofern gewichtet, als das Abschnitte nahe dem Startpunkt nur sehr wenig korrigiert werden und Abschnitte nahe dem Endpunkt sehr stark korrigiert werden. Diese Gewichtung erfolgt gleichmäßig über die gesamte Strecke, wobei am Startpunkt keine Verschiebung statt findet und der Endpunkt vollständig zu dem bei der Kalibrierung ermittelten Wert geschoben wird.

6.3.3 Geführte Erkundung

Die größte Schwierigkeit bei der geführten Erkundung ist, festzustellen, welche Bereiche des Gebiets für den weiteren Verlauf der Mission relevant sind, insbesondere da nicht bekannt ist wo die Grenzen des Gebietes liegen und wo das Ziel ist - falls es bisher noch nicht gefunden wurde. Davon ausgehend, dass die NXT's sich während der autonomen Erkundung zumindest ungefähr im Bereich des Ziels befinden (diese Annahme ist ausgehend von der Anforderungserhebung im Bezug auf die Ausmaße des Gebiets und die Geschwindigkeit der NXT's gerechtfertigt) wird bei der geführten Erkundung versucht das bereits gefahrene Gebiet so zu erweitern, dass eine möglichst zusammenhängende erkundete Fläche entsteht. Das Prinzip veranschaulicht !!!untenstehende Grafik!!!.

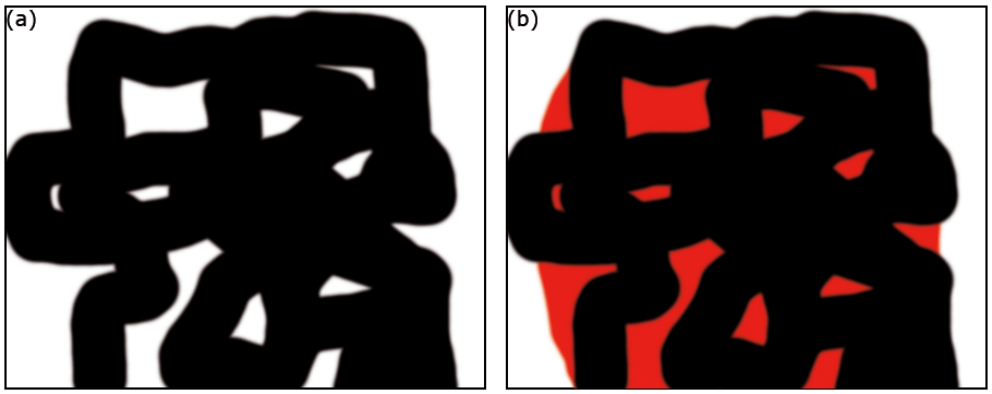


Bild 6.1: (a) Karte nach der autonomen Erkundung (b) Der rote Bereich markiert das Gebiet, dass in der geführten Erkundung hinzukommen soll

Der Algorithmus verwendet die Daten vom Map-Modell und berechnet den Mittelpunkt aller bisher befahrenen Punkte. Von diesem Punkt ausgehend wird im Rotationsprinzip jeder Punkt der noch nicht befahren wurde ermittelt, wobei solange Punkte gesucht werden bis ein gewisser Schwellwert erreicht wird. Dieser Schwellwert kann abhängig von den Ausgangsbedingungen angepasst werden. Anschließend gibt es eine Menge von Punkten die Grundlage für die geführte Erkundung sind. Im nächsten Schritt wird die Menge aller Punkte in so viele Gebiete unterteilt wie es NXT's gibt. Ausgehend von der aktuellen Position der NXT's werden diese Gebiete zugeordnet und die NXT's fahren einzelne Punkte ab, um einen möglichst großen Teil der Ihnen zugeordneten Gebiete zu erkunden. Dabei kann nicht gefordert werden, dass die NXT's jeweils das ganze ihnen zugeordnete Gebiet erkunden, da nicht bekannt ist ob sich in den

Bereichen Hindernisse befinden. Die Maßgabe für das erfolgreiche Beenden der Phase ist daher, dass das Ziel so wie ein Weg dorthin gefunden wurden.

6.3.4 Pfad zum Ziel

Überblick

Im folgenden wird der Pathfinding Algorithmus nähr beschrieben bei welchem aus einer erkundenten Karte und einem Start und Zielpunkt ein optimaler Pfad berechnet wird. Bedingungen hierfür sind jedoch eine erkundete Topologie. Übergeben wird diese als binährer 2-Dimensionaler Array, sowie einem Startpunkt des Naos und dem gefundenen Endpunkt. Der Algorithmus teilt sich in 3 Phasen: 1. Die Breitensuche, die dafür sorgt ein gültigen Pfad vom Start, zum Endpunkt zu finden. 2. Die Repositionierung des Pfades um ein möglichst großen Abstand zu den Hindernissen zu erreichen. 3 Die Pfadoptimierung, die eine Minimierung der Punkte zum Ziel hat. Das Resultat ist ein optimierter Pfad vom Start, zum Zielpunkt. Repräsentiert wird dieser durch eine Liste von Punkten.

1. Breitensuche

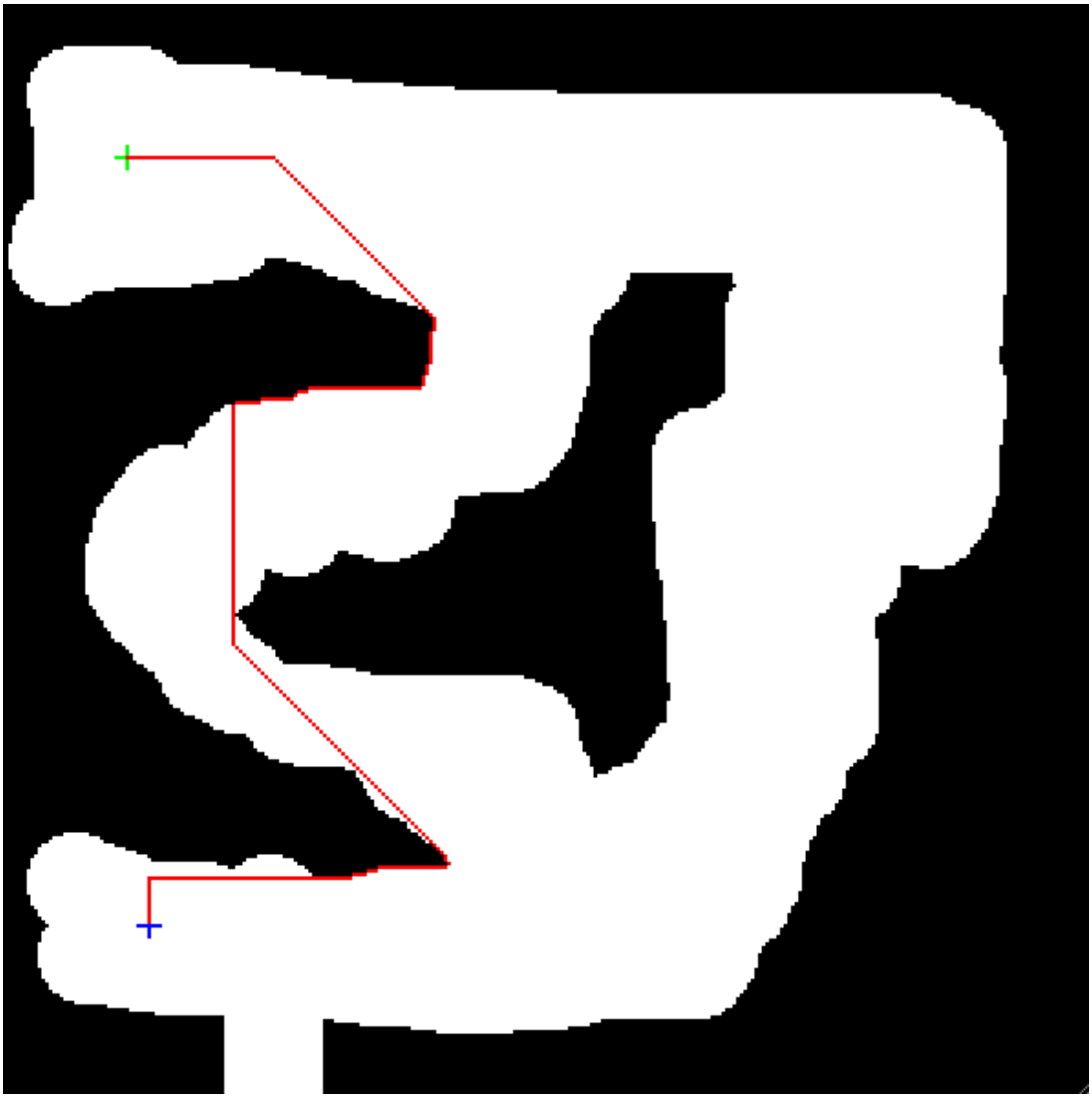
Bei der Representation der Karte handelt es sich um ein 2-Deminsionallen Binären Array, wobei 1 für ein Hindernis stehen und 0 für einen Freifläche. Die Breitensuche geht nun folgendermaßen vor: Sie weist iterativ jedem Punkt die Entfernung zum Startpunkt zu. Dies geschieht indem jeder Punkt am Horizont, also der noch nicht betrachtet wurde und an einen bereits betrachteten Punkt grenzt, den Abstand des bisherigen Punktes + 1 annimmt. Dies geschieht so lange der Endpunkt noch nicht gefunden wurde. Ist ein Endpunkt gefunden Konstruiert man den Pfad vom Endpunkt zum Startpunkt aus, in dem jeweils immer der kleinste Folgepunkt dem Pfad hinzugefügt wird, bis man bei dem Startpunkt angekommen ist. Das Resultat ist ein Pfad an Punkten.

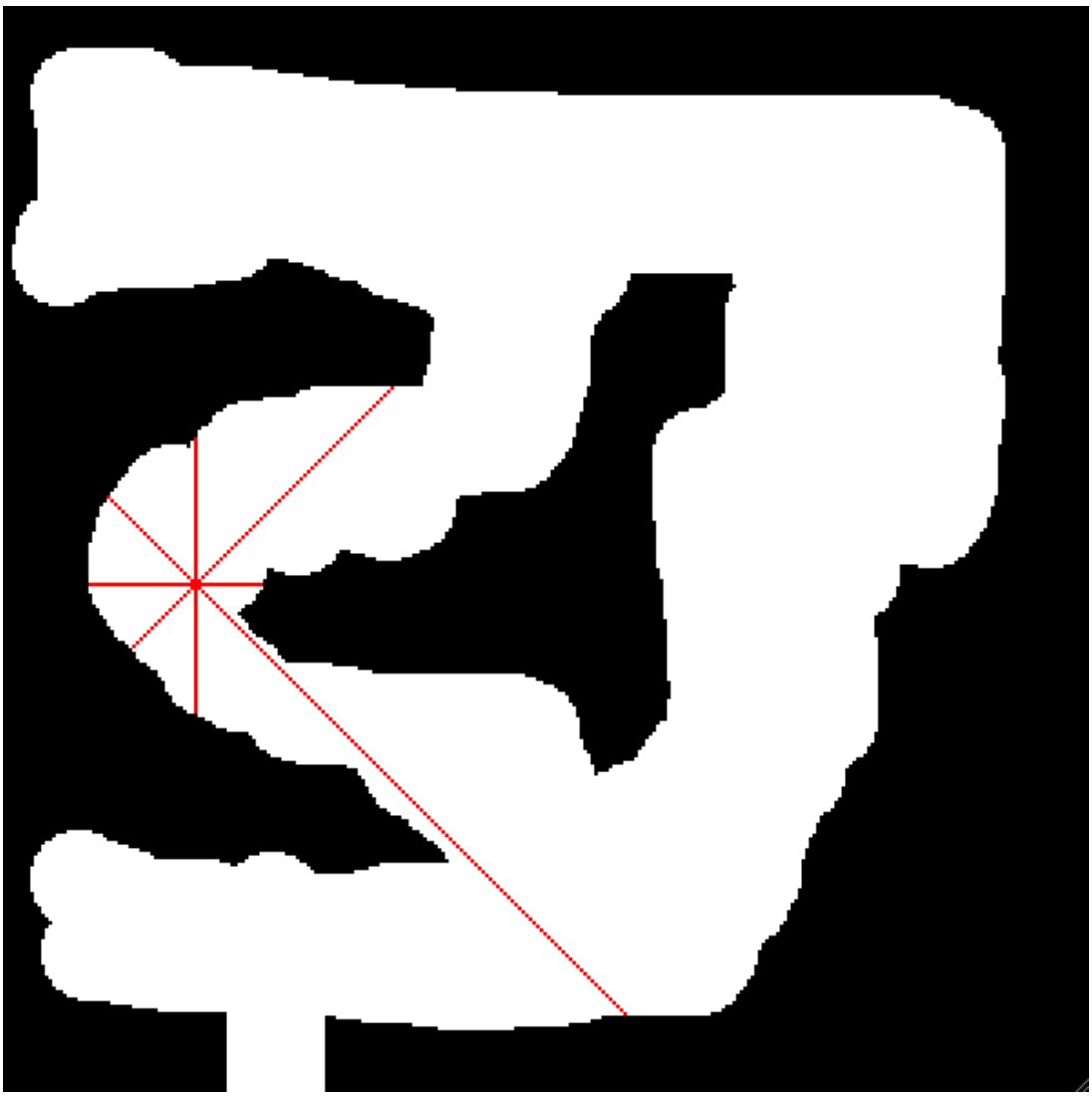
2. Repositioniertung

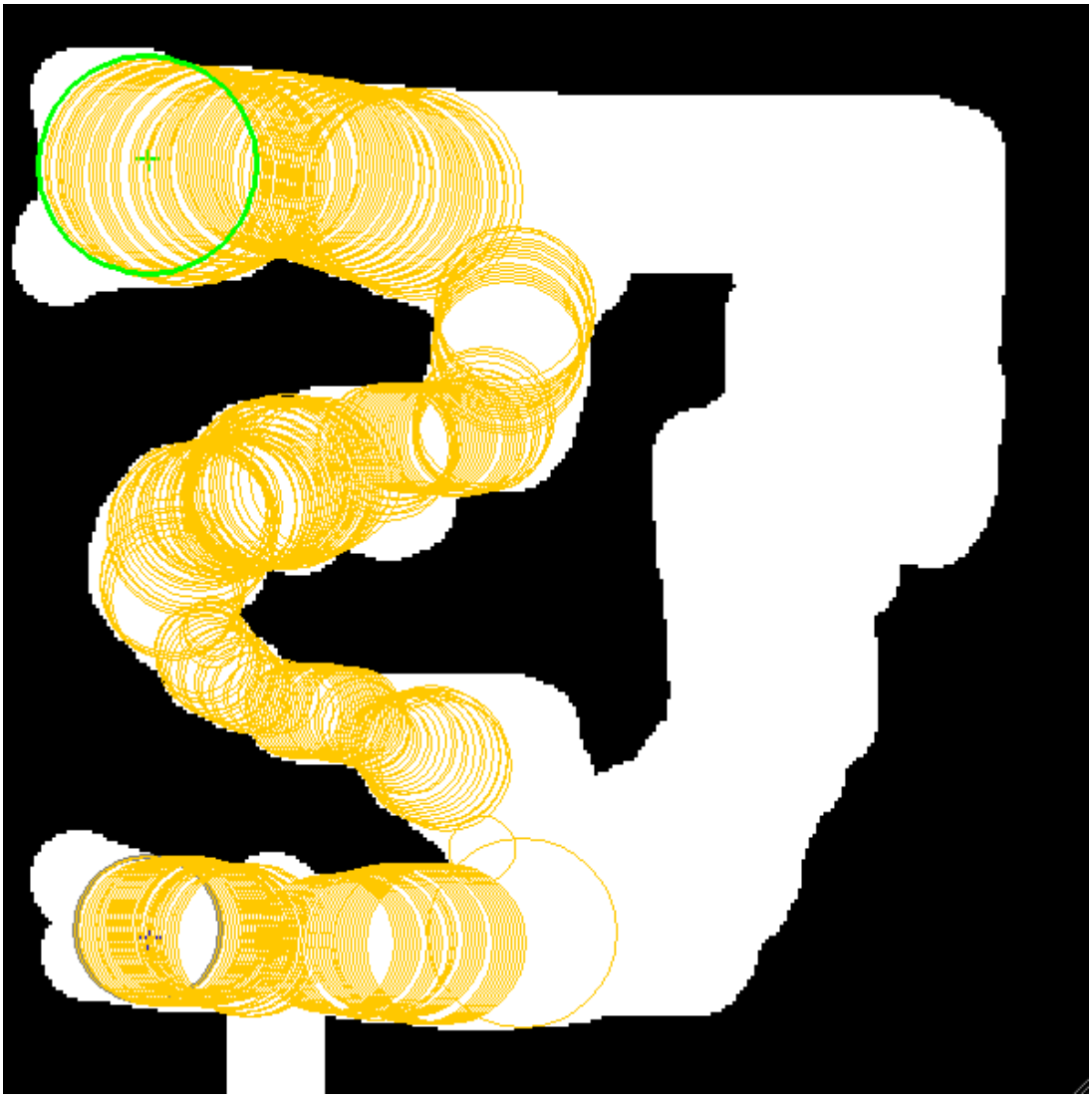
Die Breitensuche sollte nun einen Pfad zurückliefern. Dieser Pfad ist jedoch auf die minimale Distanz optimiert. Einen Roboter entlang dieses Pfades zu schicken ist nicht möglich, da der Pfad oft an möglichen Hindernissen langführt und die Breite der Roboter nicht berücksichtigt. Da die Position der Hindernisse auf der Karte auch einem Fehler unterliegen ist es sicherer den Roboter in der “Mitte” eines “Ganges” zu schicken. Die Repositionierung sträbt nun an aus dem Pfad der Breitensuche einen solchen optimalen Pfad an, der möglichst weit weg von möglichen hindernissen ist. Dazu wird durch jeden Punkt des Pfades 4 Linien geführt: Die Horizontale, Vertikale und beide Diagonalen, die jewels dort enden, wo diese an ein mögliches Hindernis stoßen. Um eine Abschätzung des Optimalen Punktes zu bekommen, wird nun der Mittelpunkt der kürzisten Linie genommen und aus ihr wird ein Kreis mit der Diagonale der Linie konstruiert. Das Ergebnis ist eine Menge M von Kreisen auf der Karte.

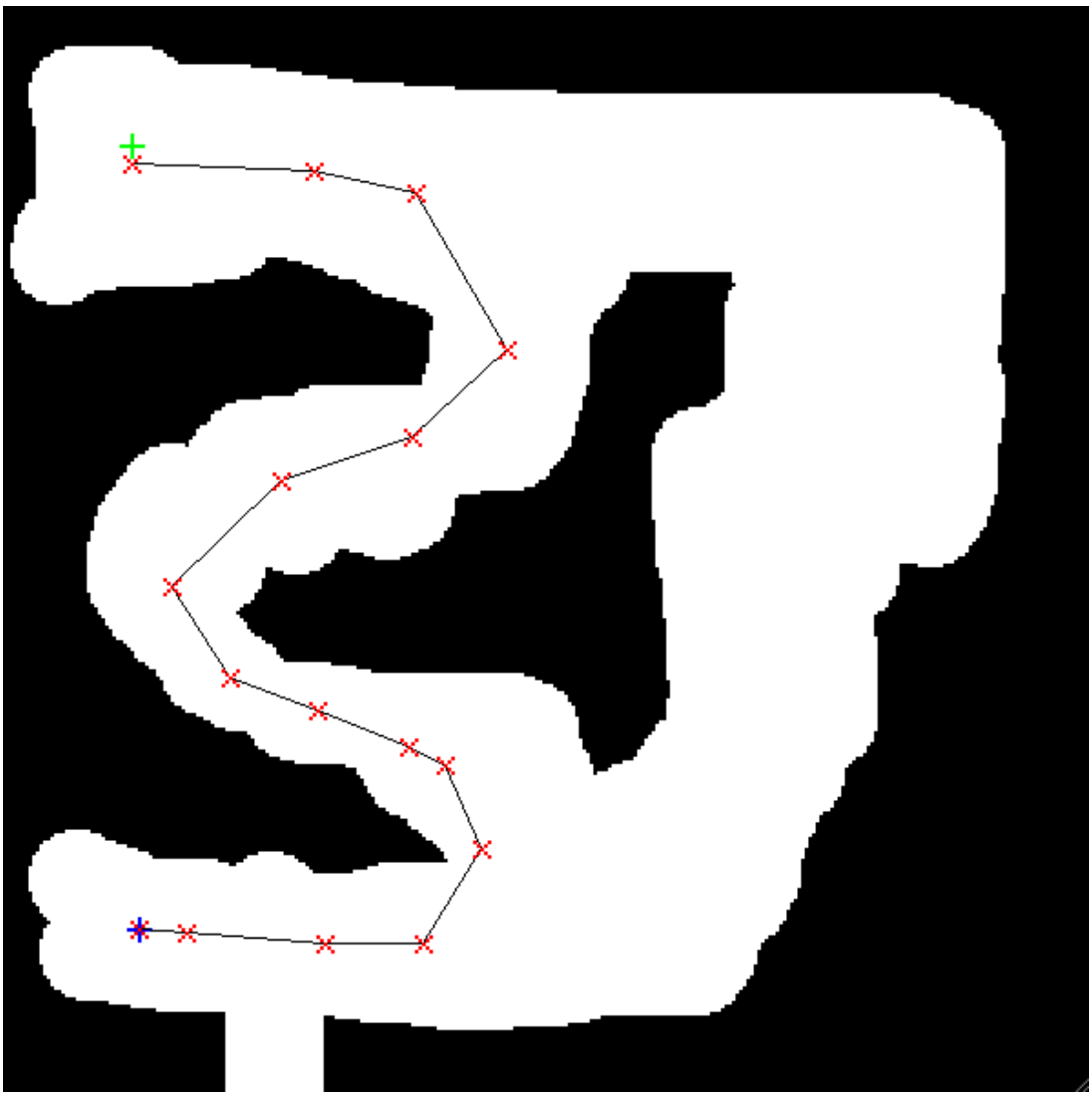
3. Optimierung

In der Optimierungsphase werden alle Kreise aus M, die sich überschneiden, miteinander verbunden. Das Ergebnis ist ein Graph. Auf dem resultierendem Graphen wird nun noch einmal eine Breitensuche vorgenommen, wobei die Länge der Verbindung mit einberechnet wird. Der resultierende Pfad aus dieser Breitensuche ist der gesuchte Pfad und wird zurückgegeben.









Kapitel 7

NXT

7.1 Entwurf

7.1.1 Software

Beim Entwurf der Software für unseren Teil der Aufgabe hatten wir zwei Dinge zu beachten, die eingeschränkte Rechenleistung[1] des LEGO© Mindstorms© NXT Brick (im folgenden nur noch Brick genannt) und die durch LEGO© begrenzte Anzahl von Robotern auf maximal 4.

7.1.1.1 nxc – Not eXactly C

nxc ist die für LEGO© NXT native Programmiersprache mit einem Compiler, welche für diversen Plattformen erhältlich ist. Obwohl die Syntax von nxc der Programmiersprache C ähnlich ist, ist sie in ihrem Umfang erheblich eingeschränkt. Aus dem Fehlen des Pointerkonzept resultiert unter anderem der Verlust auf die Speicherverwaltung direkt einwirken zu können.

7.1.1.2 nxt-python-framework

Das nxt-python-framework[2] agiert als Interface, welches die von LEGO© in dem „Bluetooth Development Kit“ veröffentlichten direkten Kommandos, nutzt um mit der Hardware zu interagieren.

Wie wird dies erreicht?
Mit LEGO© NXT ist es möglich, dass sich bei maximal vier NXTs einer zum Master erklärt. Der Master kann nun durch speziell kodierte Befehle die anderen drei NXTs fernsteuern. Dieses Verhalt macht sich das nxt-python-framework zu nutze und täuscht maximal 3 NXTs vor, dass es ein NXT-Master sei. Wenn dies geschehen ist können die NXTs von PC-Seite ferngesteuert werden.

Vorteil: Durch die Nutzung von nxt-python integriert sich die Komponente NXT-Erkunder nahtlos in das übrige System.

Nachteil: Der synchrone Start bzw. Stopp von zwei Motoren ist nur schwerlich realisierbar, da zwei Befehle benötigt würden, die nacheinander verschickt und auf NXT-Seite nacheinander ausgewertet werden würden.

Wegen dem immensen Vorteil der einfachen Integration in das Restsystem und dem Nachteil der asynchronen Ansteuerung von Motoren entstand die Idee die beiden Programmiersprachen (nxc und python) zu kombinieren.

7.1.1.3 hybrider Ansatz

Die Kombination von nxc und nxt-python wurde wie folgt realisiert. Es wurde in einfaches Kommunikationsprotokoll (siehe Abbildung 7.5 auf Seite 26) konzipiert durch welches der Aufruf von in nxc implementierten Funktionen durch nxt-python ermöglicht wird.

[1] 8-Bit ARM mit 48 MHz Takt, 64KB RAM
[2] http://code.google.com/p/nxt-python/

7.1.2 Idee 1 → Modell 1

7.1.2.1 Idee

Unsere erste Idee bestand im Prinzip aus zwei unabhängigen Ideen. Zum Einen wollten wir ein Fahrgestell konzipieren, das auch bei unwegsamen Gelände eine kontrollierte Bewegung des Explorer ermöglichen würde und zum Anderen wollten wir einen Sensor der schon viele Informationen über die Umgebung sammelt ohne, dass der Explorer jeden Quadratzentimeter abfahren muss.

7.1.2.2 Konstruktion

Die Konstruktion bestand aus einem kettengetriebenen Fahrzeug, welches mit Hilfe eines Radars seine Umgebung wahrnahm (siehe Abbildung 7.1 auf Seite 21). Die Ketten waren dabei fest gespannt um mögliches schlüpfen der Kette über die Achse zu vermeiden und so eine Ungenauigkeit bei der Fahrt zu vermeiden. Des Weiteren bestanden sie aus Gummi und hatten eine große Auflagefläche zum Boden und somit eine möglichst hohe Reibung zum Boden. Der Radar bestand aus einem Motor der über einige Zahnräder und einer Schnecke einen Ultraschallsensor bewegte.
Verbaute Sensoren und Motoren:

- zwei Motoren für den Antrieb
- ein Motor für den Radar
- ein Kompass-Sensor zur Ermittlung der Ausrichtung des Fahrzeuges
- ein Lichtstärke-Sensor zur Zielfindung

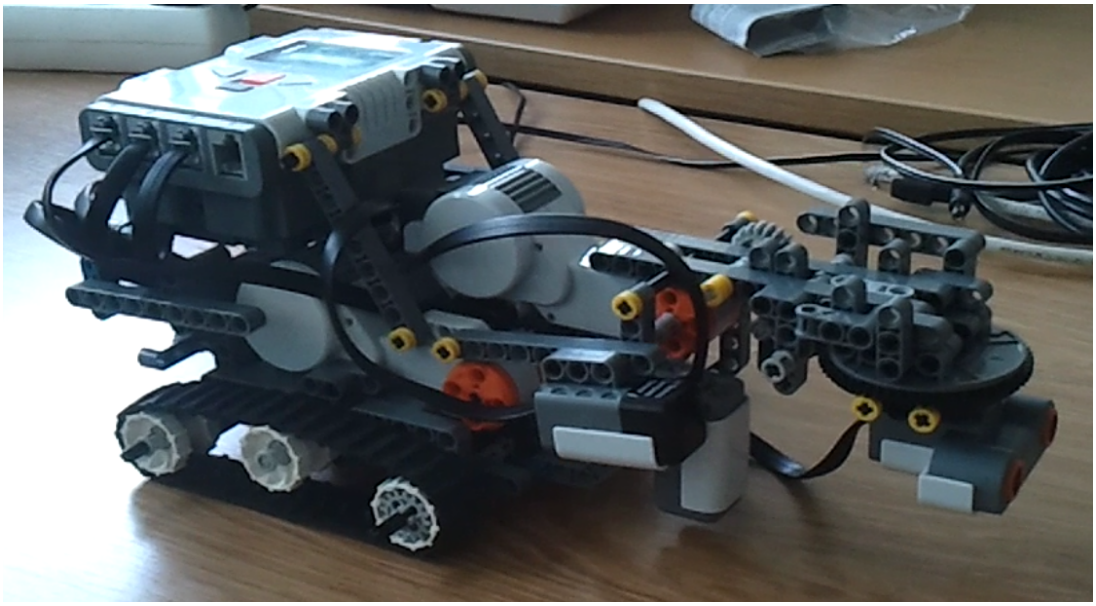


Bild 7.1: Modell 1

7.1.2.3 Test

Getestet haben wir sowohl das Fahrverhalten des Kettenfahrzeuges als auch die Möglichkeit mit dem Radar die Umgebung wahrzunehmen. Hierbei wurde besonders Wert darauf gelegt die Abweichung zum Ist-Wert zu ermitteln.
Beim Fahrzeug war es wichtig herauszufinden ob es geradeaus fahren kann und ja mit welcher Abweichung auf verschieden Distanzen (20cm, 50cm, 1m) zu rechnen war. Des Weiteren musste ermittelt werden ob das Fahrzeug in der Lage war sich auf der Stelle zu drehen und dies möglichst genau nach der Vorgabe eines vorher angegeben Winkels. Hierfür wurden mehrere Test mit verschiedensten Winkeln durchgeführt bei denen das Fahrzeug sich so oft drehen musste bis es wieder auf seine Ausgangsposition angelangt ist z.B. vier mal eine Drehung um 90° im Uhrzeigersinn. Der Radar wurde auf seine Genauigkeit getestet, als auch auf sein Verhalten bei verschiedenen Materialien und Winkel zu den verschiedenen Objekten.

7.1.2.4 Pros & Cons

Pros:

- geringe Abweichung bei der Fahrt durch die hohe Reibung der Gummiketten
- hohe Geländetauglichkeit durch Kettenantrieb
- kennt das Gebiet vor sich und kann vorausschauend fahren

Cons:

- hohe Abweichung beim drehen
- sehr hohe Abweichung des Ultraschallsensors wenn nicht im 90° zum Hindernis
- hohe Ungenauigkeit beim drehen des Radarkopfes durch das Getriebe

7.1.2.5 Fazit

Die Idee ist alles in allem nicht schlecht aber die Umsetzung mittels LEGO© ist nicht praktikabel. Die hohen Ungenauigkeiten und die komplett Aussetzer des Ultraschallsensors lassen uns keine andere Wahl als ein neues Fahrzeug zu entwerfen. Hierbei muss sowohl der Antrieb als auch die Sensorkonstruktion überdacht werden. An einen Einsatz dieses Modells ist nicht zu denken.

7.1.3 Idee 2 → Modell 2

7.1.3.1 Idee

Da wir bei unserer ersten Idee feststellen mussten das ein kettengetriebenes Fahrzeug zu hohe Ungenauigkeiten verursachte, musste hier eine Alternative gefunden werden, welche aber keine Einschränkungen bei der Bewegungsfreiheit des Fahrzeuges macht d.h. möglichst genaues (vorwärts/rückwärts) Fahren und auf der Stelle wenden können.
Auch eine Alternative für den Radar musste her. Hierbei wurde in Kooperation mit dem MCC-Team vereinbart das nicht Hindernisse gefunden werden, sondern davon ausgegangen wird das die gefahren Strecke des Explores frei ist, sozusagen wurde das Bild der Karte invertiert. Dies ermöglichte uns nur auf Hindernisse reagieren zu müssen und nicht wie vorher Informationen über den Bereiche des Einsatzgebietes zu sammeln.

7.1.3.2 Konstruktion

Unsere Konstruktion 2 (siehe Abbildung 7.2 auf Seite 23) erhielt nun ein 2-Achsen Antrieb, welcher es uns ermöglichte durch gleichzeitiges ansteuern der Motoren gerade Strecken zu fahren, als auch durch entgegengesetztes ansteuern sich auf der Stelle zu drehen. Als Zusatz wurde noch ein Omni-Wheel verbaut, welches dem Gefährt mehr Stabilität verleihen sollte. Um auf Hindernisse reagieren zu können, wurden an der Vorderseite des Fahrzeuges drei Touchsensoren befestigt. Diese sollten auslösen sobald das Fahrzeug vor ein Hindernis fuhr.
Verbaute Sensoren und Motoren:

- zwei Motoren für den Antrieb
- drei Touch-Sensoren um Hindernisse zu finden
- ein Lichtstärke-Sensor zur Zielfindung

7.1.3.3 Test

Auch beim zweiten Model wurden die oben schon beschrieben Tests für den Antrieb durchgeführt. Die Sensoren wurden in ihrer Anordnung getestet um eine möglichst optimale Anordnung zu finden.

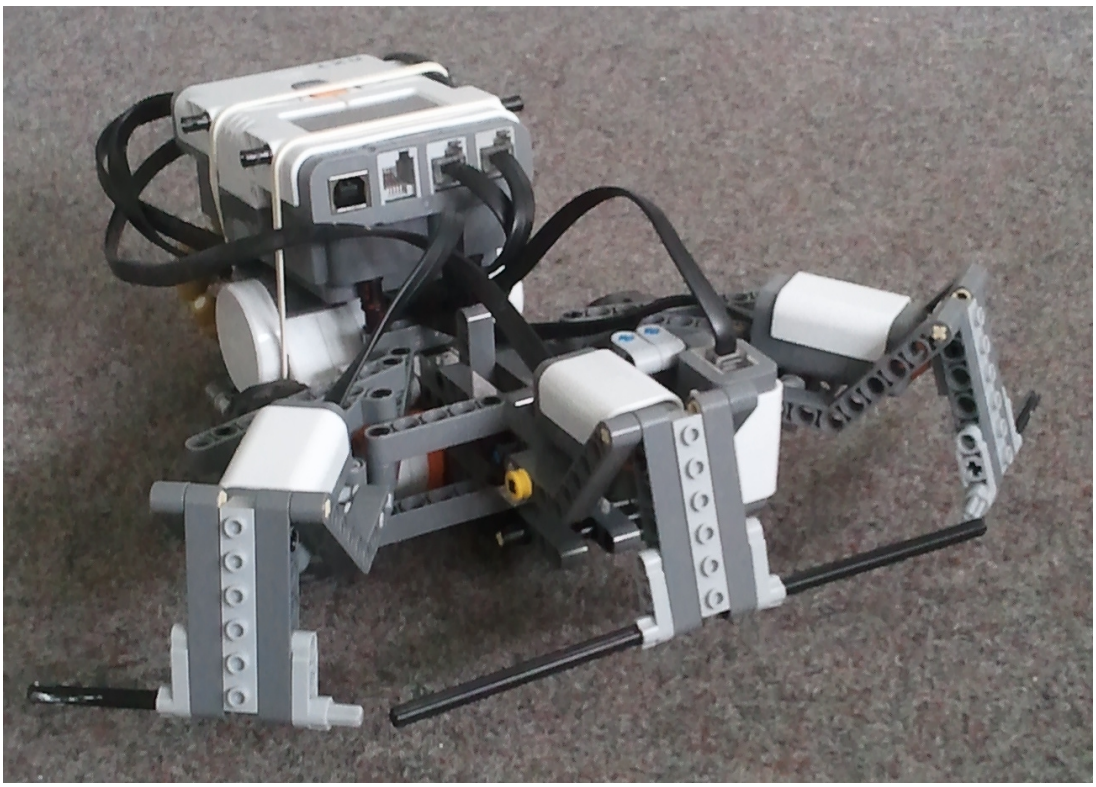


Bild 7.2: Modell 2

7.1.3.4 Pros & Cons

Pros:

- geringe Abweichung beim fahren
- geringe Abweichung beim drehen
- hohe Aussagekraft bzgl. Sensorevents da nur Touch-Sensoren verbaut wurden

Cons:

- keine Aussagen über das Gebiet vor dem Fahrzeug möglich
- Fahrzeug kann nur noch reagieren und kaum intelligent handeln
- Verhaken der Touch-Sensorkonstruktion

7.1.3.5 Fazit

Bei der zweiten Konstruktion überzeugt das Antriebsmodel durch seine geringen Abweichungen und seine Agilität. Die Sensoranordnung hingegen lässt noch einige Wünsche offen. Die fehlende Voraussicht ist dabei das größte Manko. An einen Einsatz dieses Model ist ebenfalls nicht zu denken. Eine Verbesserung des Sensorkonstrukts ist nötig.

7.1.4 Idee 3 → Modell 3

7.1.4.1 Idee

Das in Idee 2 entwickelte Antriebsmodel hat uns überzeugt. Im dritten Anlauf wird sollte nur noch die Sensoranordnung überdacht werden. Dem Bereich vor dem Fahrzeug sollte dabei mehr Beachtung geschenkt werden, um bessere und intelligentere Entscheidungen treffen zu können.

7.1.4.2 Konstruktion

Bei der dritten Konstruktion (siehe Abbildung 7.3 auf Seite 24) wurde das Antriebsmodel der zweiten Konstruktion übernommen. Bei den Sensoren wurde der mittlere Touch-Sensor durch ein Ultraschall-Sensor ersetzt. Dieser ermöglichte es die freie Strecke vor dem Fahrzeug zu ermitteln.
Verbaute Sensoren und Motoren:

- zwei Motoren für den Antrieb
- zwei Touch-Sensoren um Hindernisse zu finden
- ein Ultraschall-Sensor um den Bereich vor dem Fahrzeug zu überblicken.
- ein Lichtstärke-Sensor zur Zielfindung

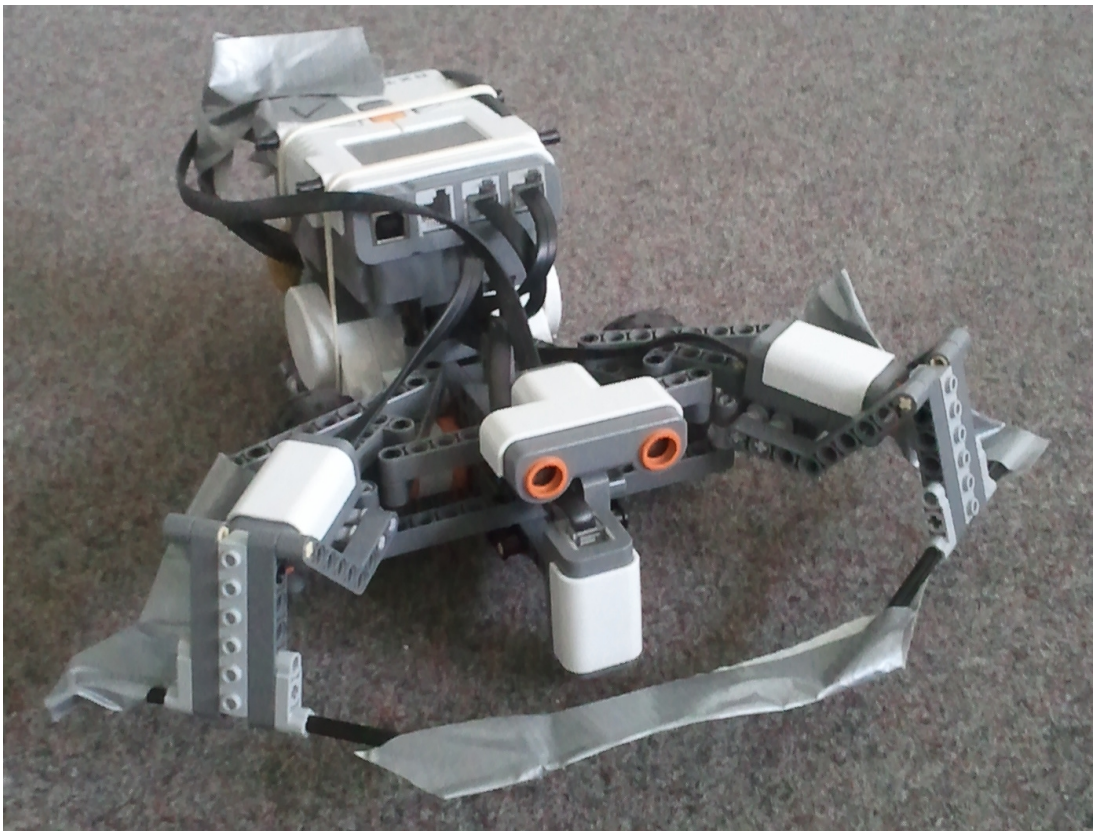


Bild 7.3: Modell 3

7.1.4.3 Test

Auch beim dritten Model wurden alle Antriebstests durchgeführt. Die neue Sensoranordnung wurde mit mehreren Testaufbauten auf ihre Einsatztauglichkeit geprüft. Hierbei wurden mögliche Anordnungen von Hindernissen konstruiert und die Sensorevents ausgewertet.

7.1.4.4 Pros & Cons

Pros:

- geringe Abweichung beim fahren
- geringe Abweichung beim drehen
- freie Strecke vorm Fahrzeug bekannt

Cons:

- Verhaken der Touch-Sensorkonstruktion

7.1.4.5 Fazit

Das dritte Model überzeugt durch seinen Antriebsmodel, sowie durch die verbesserte Sensoranordnung gegenüber des zweiten Models. Aber auch dieses Model ist mit Vorsicht zu benutzen. Die Möglichkeiten des Verhaken der Fahrzeuge ist ein großes Problem das es noch zu beseitigen gibt. An einen Einsatz ist nur bedingt zu denken.

7.1.5 Fazit und Entscheidung

Das erste Model ist für raues Gelände bestens geeignet. Durch seine hohen Abweichungen beim Fahren und des nicht zuverlässigen Ultraschall-Sensors im Radar aber kein Kandidat für die Lösung unseres Problems.
Das zweite Model überzeugt durch seine Genauigkeit beim Fahren und auch die Aussagekraft der Sensoranordnung. Allerdings fehlt uns hier das gewisse etwas um ein möglichst elegante Lösung für die autonome Erkundung eines Gebietes.
Von allen Model schneidet das dritte am besten ab. Es erbt die guten Fahrteigenschaften des zweiten Models und biete uns dazu noch die Möglichkeit durch seine überarbeitete Sensoranordnung möglichst intelligent das Problem zu lösen.

7.2 Kommunikation

7.2.1 Bluetooth

Bluetooth ist ein Funkstandard speziell für die Nahbereichskommunikation. Er wurde in den 1990er-Jahren von der Bluetooth Special Interest Group (SIG) entwickelt und in IEEE 802.15.1 festgeschrieben. Grundsätzlich sind verbindunglose und verbindungsorientierte Übertragungen möglich.

Bei der Konzeptionierung von LEGO© Mindstorms© NXT hat LEGO© die Verbindungorientierung für ihre Geräte festgelegt.

7.2.2 Kommunikationsprotokoll PC ↔ NXT

Bei einem der Treffen im Rahmen des Semesterprojektes wurde durch den begleitenden Professor angeregt, dass durch das Team NXT sicherzustellen sei, dass alle Steuerkommandos und Antworten (über Bluetooth) auch von der Gegenstelle erhalten werden müssen. Als Denkanstoß verwies er auf den 3-way-handshake des TCP. Dieser Aspekt wurde von uns mit dem Protokoll aus Abbildung 7.4 implementiert, sodass auf jede Nachricht vom Typ „m“ eine Antwort vom Typ „r“ folgte und der Sende diese Typ „r“ Nachricht mit einer abschließenden Typ „a“ Nachricht quittierte. Dieses Protokoll hatte eine Datenflut zur Folge, die kaum zu beherrschen war, da bei überschreiten von Fristen Nachrichten wiederholt gesandt werden mussten.

Da bei LEGO© NXT Bluetooth verbindungsorientiert verwendet wird, war die oben beschriebene Herangehensweise nicht nötig, da bei Verbindungsorientiertheit die Zustellung von Nachrichten garantiert wird. Aus diesem Grund wurde das Protokoll auf das in Abbildung 7.5 reduziert.

Definitions- und Wertebereich der im jüngsten Protokoll (Abbildung 7.5) verwendeten Platzhalter:

Kommunikation PC → NXT:

F	**W**	**Beschreibung**
0	beliebig	Stopp, der NXT in Hardware bricht alle seine Aktionen ab und wartet auf weitere Kommandos
1	0 – MAX_INT	Vorwärtsfahren: bei W = 0 bis Steuerkommando 0 oder Auslösen eines Sensors, bei W > 0 vorwärts fahren für W Grad in Motorumdrehungen
2	1 – MAX_INT	rückwärts fahren für W Grad in Motorumdrehungen
3	1 – MAX_INT	Fahrzeugachse um W Grad nach links drehen
4	1 – MAX_INT	Fahrzeugachse um W Grad nach rechts drehen
5	beliebig	Messung mit dem Ultraschallsensor ausführen

Kommunikation PC ← NXT:

T	W	Beschreibung
1	0 – MAX_INT	ständige Standortmeldung: für W cm vorwärts gefahren (ohne Kollision)
2	1 – MAX_INT	Kollision: W cm vorwärts gefahren, Sensor W_2 hat ausgelöst
3	1 – MAX_INT	Fahrziel erreicht: für W cm vorwärts gefahren (ohne Kollision)
4	beliebig	Drehung/Rückwärtsfahren beendet
5	0 – 255	Ergebnis der Messung mit dem Ultraschallsensor
9	beliebig	Bodensensor hat Ziel gefunden

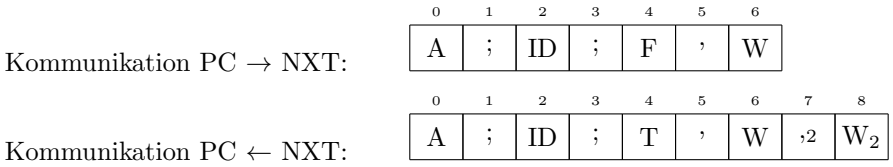


Bild 7.4: Kommunikationsprotokoll 3-way-handshake

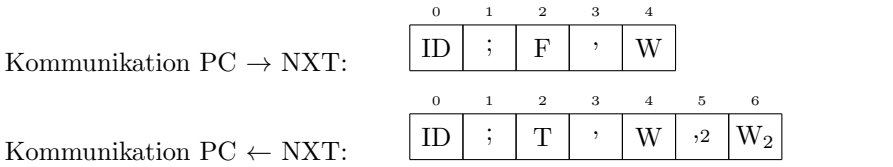


Bild 7.5: Kommunikationsprotokoll

7.2.3 Kommunikation mit dem MCC

Für die Kommunikation mit dem MCC kam das Python Framework Twisted[3] zum Einsatz. Twisted ist ein sogenanntes „event-driven“ framework, das heißt der Programmierer stellt für Aktionen Callback-Funktionen bereit. Twisted abstrahiert von der darunterliegenden Netzwerkarchitektur und dem verfügbaren Netzwerkprotokollstack (wenn auch nicht vollständig transparent), dies vereinfacht die Programmierung eines Verteilten Systems erheblich.

7.3 Logik

Für die logische Programmierung des „Explorers“ bestand vorwiegend das Problem, dass die Hardware (der Brick) Zeit benötigt um die Aktionen auszuführen, also blockiert, jedoch die Softwarekomponente asynchrones Messaging nutzt. Um diese Hürde zu überwinden wurde bei der Konzeptionierung des Systems darauf geachtet, dass auf jedes Steuerkommando, welches eine Handlung der Hardware hervorruft, nach Abschluss der Handlung eine Antwort des Brick gesendet werden muss. Dass versetzte uns in die Lage mit einer synchronisierten boole'schen Variablen (blockiert = True) die Software solange zu blockieren, bis die Antwort vom Brick eingegangen ist und damit die boole'sche Variable wieder auf False gesetzt wird.

[3] http://twistedmatrix.com

7.3.1 Explorationsalgorithmen

In der Welt der autonomen Rasenmäh- und Staubsaugroboter haben sich vier Algorithmen durchgesetzt[4]:

1. Touch and Go[5]
2. circle
3. radar
4. Wandverfolgung

1 – 3 werden im Folgenden näher besprochen. 4 konnte aufgrund der begrenzten Anzahl an Sensoren nicht implementiert werden und bleibt deshalb außen vor.

7.3.1.1 Exploration – simple

Der erste und auch gleichzeitig einfachste Algorithmus. Der Roboter fährt solange geradeaus bis er auf ein Hindernis trifft. Nach dem Auslösen eines Sensors wechselt der Roboter beliebig seine Fahrtrichtung und fährt wieder geradeaus bis zum nächsten Ereignis. Der Explorer wechselt die Richtung nicht vollständig beliebig, er wählt die Drehrichtung in Abhängigkeit von dem auslösenden Sensor, soll heißen wenn der linke Sensor angeschlagen wurde, dreht sich der Explorer um einen beliebigen Winkel zwischen 30° und 160° nach rechts.

7.3.1.2 Exploration – circle

Wie in Abbildung 7.6 zu sehen ist macht der Explorer eine Bewegungsabfolge in Form einer eckigen Nautilusschnecke. Durch diese Bewegungsfolge wird der Bereich in dem sich der Explorer befindet schnell erkundet.

In Abbildung 7.7 wird an Hand eines Zustandsautomaten gezeigt, wie der Explorationsalgorithmus umgesetzt ist. Es gibt keinen ausgezeichneten Endzustand, was damit begründet ist, dass der Algorithmus von einem externen Zähler abgebrochen wird. Der Abbruch kann in jedem der Zustände geschehen. Man kann erkennen, dass zusätzlich zur reinen Bewegung weitere Zustände und Transitionen eingefügt wurden um Messungen mit dem Ultraschallsensor durchzuführen. Die Messungen dienen als Grundlage zur Berechnung eines Korrekturfaktors für alle Bewegungen.

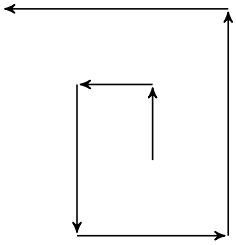


Bild 7.6: Bewegungsmuster Exploration – circle

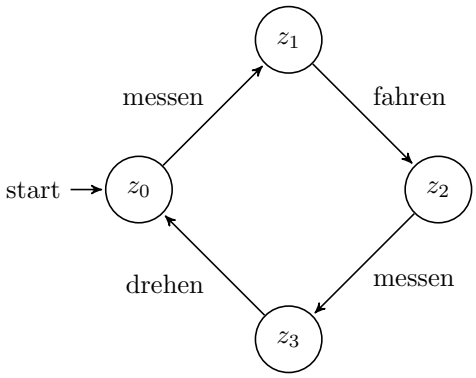


Bild 7.7: state-machine Exploration – circle

[4]Quelle: Roboter mit Mikrocontrollern, Heinz Schmid, Franzis Verlag, 2011
[5]hier simple genannt

7.3.1.3 Exploration – radar

Wie in Abbildung 7.8 zu sehen ist, macht der Explorer eine Bewegungsabfolge in Form einer eckigen Wellenausbreitung. Durch diese Bewegungsfolge wird der Bereich vor dem Explorer schnell erkundet und der Explorer verlässt langsam seinen bisherigen Bereich.

Wie im Abschnitt Exploration – circle wird hier auch ein Zustandsautomat (Abbildung 7.9) zur Darstellung des Algorithmus verwendet. Er unterliegt den gleichen Kriterien wie oben.

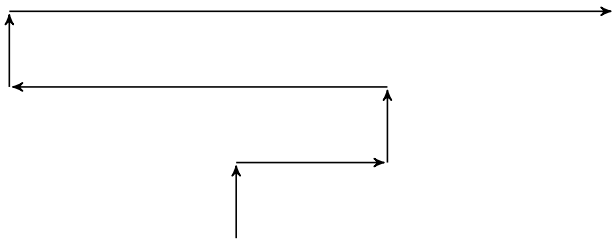


Bild 7.8: Bewegungsmuster Exploration – radar

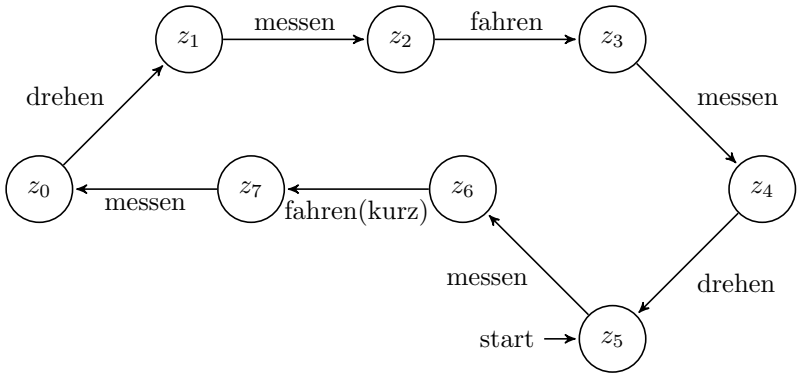


Bild 7.9: state-machine Exploration – radar

7.3.2 GoToPoint

Für die GoToPoint – Funktionalität wurden die zwei Funktionen aus Listing 7.1 und Listing 7.2 benötigt. Mit der Funktion berechnePunkt() kann aus der eigenen Ausrichtung, der gefahrenen Entfernung und dem ehemaligen Standort der neu Standort berechnet werden. Die Funktion berechneVektor() aus Listing 7.2 berechnet zu zwei gegebenen Punkten den verbindenden Vektor, dazu wird erst ein relatives Koordinatensystem geschaffen, dann wird über den Satz von Pythagoras die Entfernung, d.h. der Betrag des Vektor berechnet und danach Winkel berechnet.

Listing 7.1: berechnePunkt()

```
1 def berechnePunkt(ausrichtung, entfernung, standort = {'x':0.0, 'y'
    :0.0}):
2     return {'x': standort['x'] + entfernung * GRAD2CM *
3                  math.cos(ausrichtung * (math.pi / 180.0)),
4             'y': standort['y'] + entfernung * GRAD2CM *
5                  math.sin(ausrichtung * (math.pi / 180.0))}
```

Listing 7.2: berechneVektor()

```
1  def berechneVektor(standort = {'x':0.0, 'y':0.0}, ziel = {'x': 0.0, '
       y': 0.0}):
2      relativ_ziel = {'x': abs(ziel['x'] - standort['x']),
3                      'y': abs(ziel['y'] - standort['y'])}
4      dbg_print("St0: (%d,%d), Z: (%d,%d), rZ: (%d,%d)"%(standort['x'],
5                                                          standort['y'],
6                                                          ziel['x'],
7                                                          ziel['y'],
8                                                          relativ_ziel['
                                                               x'],
9                                                          relativ_ziel['
                                                               y']), 1, 0)
10     entfernung = math.sqrt(relativ_ziel['x'] ** 2 + relativ_ziel['y']
           ** 2)
11     if relativ_ziel['x'] == 0:
12         winkel = 90
13     elif relativ_ziel['x'] < 0:
14         winkel = math.atan(float(relativ_ziel['y']) / float(
               relativ_ziel['x'])) *
15                (180.0 / math.pi) + 180
16     else:
17         winkel = math.atan(float(relativ_ziel['y']) / float(
               relativ_ziel['x'])) *
18                (180.0 / math.pi) + 360
19     return {'winkel': winkel % 360,
20             'entfernung': entfernung,
21             'rel_x': relativ_ziel['x'],
22             'rel_y': relativ_ziel['y']}
```

III Fazit