

Seminar: „Unterstützung von Landminendekktion durch
Bildauswertungsverfahren und Robotereinsatz“, WiSe 2003/2004

Dozenten: D.Lammers, S. Wachenfeld



Bearbeitet von: Thomas Bartoschek und Tonio Fincke

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
1. Einleitung	4
1.1. Rettung verschütteter Opfer	5
1.2. Einsturzarten	7
1.3. Fazit	8
2. Rescue-Roboter	9
2.1. Herausforderungen an einen Rescue-Roboter	9
2.2. Lösungsansätze	11
2.3. Sensoren	12
3. Robocup Rescue League	16
3.1. Regeln	16
3.2. Teams	20
3.2.1 Team KAVOSH	20
3.2.2. IUB RoboCup Team 2002	21
3.2.3. Alternative Mechanismen	23
4. Praktischer Einsatz: WTC 11. September 2001	24
5. Ausblick	26
6. RoboCup Rescue Simulation League	27
6. 1. Visualisierung	27
6.1.1. Die Simulation	27
6.1.2. Die Agenten	29
6. 2. Teams	31
6. 3. Ausgewählte Probleme und Algorithmen	32
6.3.1. A*-Algorithmus	32
6.3.2. Partitionierung	33
6.3.3. Group Forming	34
Literaturverzeichnis	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eingestürztes Haus nach dem Erdbeben in Kobe.....	4
Abbildung 2: Das Murrah Federal Building in Oklahoma City nach dem Anschlag.....	5
Abbildung 3: Überlebensraten verschütteter Opfer	7
Abbildung 4: Drei Arten von Gebäudeeinstürzen: a. <i>pancake</i> , b. <i>lean-to</i> , c. <i>v- shape</i>	7
Abbildung 5: Verschiedene Antriebsarten bei Robotern	11
Abbildung 6: Bilder einer IR-Kamera: a) leicht verschüttet b) in Hohlraum c) eingeschlossen	13
Abbildung 7: CO ₂ -Sensor-Test.....	13
Abbildung 8: SpO ₂ -Sensor-Test.....	14
Abbildung 9: Roboter mit SpO ₂ -Sensor, CO ₂ -Sensor und IR-Kamera.....	15
Abbildung 10: Layout des Spielfeldes	17
Abbildung 11: YELLOW ARENA.....	17
Abbildung 12: ORANGE ARENA und RED ARENA	18
Abbildung 13: Schematische 3D-Darstellung der HOT ZONE	18
Abbildung 14: Opfermannequin mit angezeigten Lebenszeichen	19
Abbildung 15: Der Roboter des Teams KAVOSH.....	21
Abbildung 16: Der Roboter des IUB aus dem Jahr 2002	22
Abbildung 17: IUB-Roboter aus dem Jahr 2003.....	22
Abbildung 18: Serpentine Mechanism Robot	23
Abbildung 19: iRobot Packbot.....	25
Abbildung 20: Nachträglich ausgewertete Bilddaten.....	25
Abbildung 21: Übersicht der den Agenten zur Verfügung stehenden Methoden	29
Abbildung 22: Übersicht der Kommunikationsmöglichkeiten der Agenten	30
Abbildung 23: Mögliche Partitionierung einer Stadt	33
Abbildung 24: Ablauf des Group Forming – Prozesses	34

1. Einleitung

Die Idee Roboter in Katastrophenfällen für die Rettung einzusetzen hat ihre Auslöser in zwei unabhängig voneinander stattgefundenen Ereignissen in Japan und den USA¹.

Das Erdbeben von Kobe am 17.01.1995, dessen Epizentrum in der Nähe der im Süden der Hauptinsel Japans Honshu gelegenen Millionenstadt lag, war mit einer Stärke von 7,2 auf der Richterskala die seit 1923 stärkste gemessene seismische Aktivität. Innerhalb von 20 Sekunden kamen ungefähr 5.500 Menschen ums Leben, über 37.000 wurden verletzt. Außerdem zog das Erdbeben eine Beschädigung oder Zerstörung von weit über 50.000 Gebäuden nach sich. Viele der in diesen Gebäuden verschütteten Menschen konnten nicht schnell genug gefunden bzw. geborgen werden.



Abbildung 1: Eingestürztes Haus nach dem Erdbeben in Kobe

Der Anschlag auf ein Bürogebäude der Bundesverwaltung in Oklahoma City am 19.04.1995 erschütterte um neun Uhr morgens das gesamte Stadtzentrum. Eine Bombe detonierte in der Tiefgarage unter dem mit über 500 Menschen besetzten Gebäude und brachte es zum Einsturz. Als die Suche nach Überlebenden in den Trümmern am 5. Mai eingestellt wurde, standen über 168 Menschen auf der Liste der Toten, darunter 19 Kinder. Weitere 500 Personen wurden verletzt.

¹ MURPHY, 2001: On the Second Anniversary of the Use of Rescue Robots at the 9/11/01 World Trade Center Attack



Abbildung 2: Das Murrah Federal Building in Oklahoma City nach dem Anschlag

Nach den beiden Katastrophen begann unabhängig voneinander in beiden Ländern die Forschung auf diesem neuen Gebiet der *Rescue Robots*. Kleine, wendige, robuste und intelligente Roboter könnten schneller und besser als Menschen oder Hunde zu verschütteten Opfern gelangen, ihre Position an Rettungsteams weitergeben, die Verschütteten mit Wasser und Medikamenten versorgen und eine Kommunikation aufbauen.

1.1. Rettung verschütteter Opfer

Um verstehen zu können, wie der Einsatz von Robotern bei der Rettung von verschütteten Opfern ablaufen könnte, müssen wir erst einmal betrachten, wie die Arbeit eines „gewöhnlichen“ Rettungsteams in einem solchen Katastrophen-Szenario aussieht.

Im Fall eines eingestürzten Gebäudes sind meistens Opfer in den Trümmern eingeschlossen und müssen gesucht und geborgen werden. Wenn sie gefunden wurden, können sie in den meisten Fällen ihre Lage und den Zustand ihrer Umgebung aufgrund von Stress oder allgemeiner Desorientierung nicht genau beschreiben. Das kann dazu führen, dass Rettungsteams bei der Bergung durch ungenaue Informationen weitere Trümmer zum Einsturz bringen und die Opfer damit zunehmend gefährden.

Die Rettung verschütteter Opfer aus eingestürzten Gebäuden kann man in fünf Phasen einteilen.²

Als erstes müssen Rettungsteams wie Feuerwehr, Krankenwagen oder spezielle Rettungsteams eintreffen, sich koordinieren also eine vernünftige Zusammenarbeit organisieren und die Lage erkunden.

In der zweiten Phase werden die oberflächennah gefundenen Opfer geborgen und versorgt. Das können Opfer sein, die sich nicht in dem Gebäude befunden haben, aber von Trümmerteilen getroffen wurden und verletzt wurden. Meistens werden diese Opfer bereits von Zivilisten entdeckt, bevor die Rettungsteams eintreffen. Im Durchschnitt wird etwa die Hälfte der geborgenen Opfer eines solchen Unglücks oberflächennah geborgen.

In der dritten Phase werden leicht verschüttete Opfer lokalisiert und geborgen. Leicht verschüttete Opfer können meistens von einem bis zwei Rettungskräften geborgen werden, weil sie von leichten Trümmerteilen, wie Möbeln o.ä. bedeckt sind. Durchschnittlich 30% der geborgenen Opfer werden leicht verschüttet vorgefunden. Hier werden zum ersten Mal Hunde eingesetzt. Außerdem können akustische oder Infrarot-Sensoren verwendet werden.

Die vierte Phase, die das Suchen nach Hohlräumen beinhaltet, verlangt nach sehr gut ausgebildeten Rettungskräften, die in diesem Fall mit Bauingenieuren zusammenarbeiten müssen. Im Durchschnitt befinden sich etwa 15% der Opfer in solchen Hohlräumen. Diese Opfer sind zudem meistens bewegungsunfähig. Ca. 5% der Opfer sind von Trümmerteilen „begraben“. „Begraben“ bedeutet hier, dass sie von tragenden Wänden oder Gebäudeteilen bedeckt sind. Das Entfernen einer solchen tragenden Wand bedarf höchster Vorsicht und Sorgfalt, um nicht weitere Einstürze zu verursachen und damit die Opfer sowie die Rettungskräfte zu gefährden. Hilfsmittel zur Lokalisierung „begrabener“ Opfer sind Wärmebildkameras, Richtmikrophone und spezielle, kleine Glasfaser-Kameras, die durch Lücken in der Bausubstanz gebracht werden und die Hohlräume auskundschaften können.

Die fünfte Phase beinhaltet das Räumen und Säubern des betroffenen Gebietes. Räumen bedeutet in dem Fall, dass Finden lebendiger Opfer ausgeschlossen werden kann und man mit schwerem Gerät (Bagger) die Trümmer räumen kann. Da aber auch nach vielen Tagen eine geringe Chance

² Vgl. MURPHY, CASPER, MICIRE, 2001, S 340. Potential Tasks and Research Issues for Mobile Robots in RoboCup Rescue

besteht Opfer lebendig vorzufinden, müssen die Rettungskräfte auch hier vorsichtig sein.

30 Minuten	91% überleben
1 Tag	81% überleben
2 Tage	37% überleben
3 Tage	34% überleben
4 Tage	19% überleben
5 Tage	7% überleben

Abbildung 3: Überlebensraten verschütteter Opfer³

1.2. Einsturzarten

Aus dem Einsturz eines Gebäudes gehen verschiedene Arten von Hohlräumen hervor, die unterschiedlich schwer zu erreichen sind. Bei einem *pancake*-Einsturz fallen die einzelnen Etagen eines mehrstöckigen Hauses zusammen, weil die tragenden Wände auf beiden Seiten nachgeben. Die Etagen verursachen durch ihr steigendes Gewicht eine Kettenreaktion stapeln sich mit kleinen Hohlräumen übereinander (s. Abbildung 3a). Diese Hohlräume können manchmal groß genug sein, um Menschen am Leben zu erhalten, sind aber äußerst schwer zugänglich. Auf diese Art und Weise ist auch das World Trade Center in New York nach dem Anschlag am 09.11.2001 in sich gestürzt.

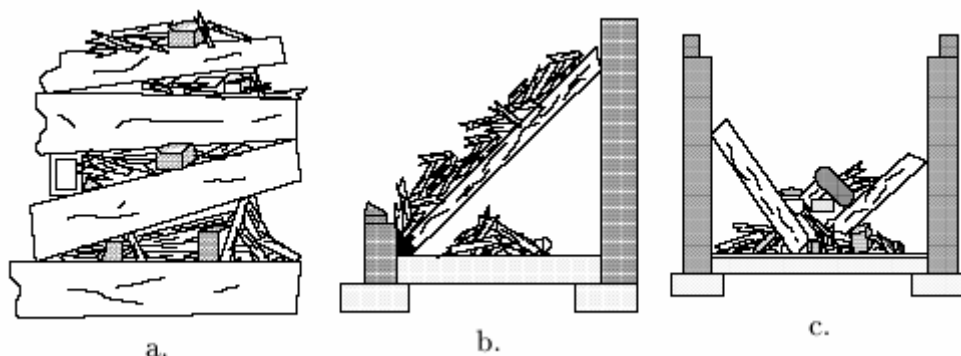


Abbildung 4: Drei Arten von Gebäudeeinstürzen: a. *pancake*, b. *lean-to*, c. *v-shape*

Ein *lean-to*-Einsturz ist die Folge eines Nachgebens nur einer tragenden Wand. In diesem Fall stürzt die Decke einer Etage nur auf einer Seite ein, bleibt aber

³ Daten aus dem Erdbeben von Armenien im Jahr 1988.

als Ganzes bestehen und bildet einen großen Hohlraum auf der anderen Seite (s. Abbildung 3b). Es ist meistens viel Platz vorhanden und die Verschütteten haben große Chancen gerettet zu werden. Bei einem *v-shape*-Einsturz ist das Gewicht in der Mitte einer Etage zu hoch und der Boden, bzw. die Decke bricht in der Mitte durch. Es bilden sich mittelgroße Hohlräume auf den äußeren Seiten des Gebäudes.⁴

1.3. Fazit

Zusammengefasst kann man sagen, dass Rettungskräfte höchstens ein bis zwei Tage Zeit haben, um mit großem Erfolg verschüttete Opfer zu bergen. Sie müssen somit sehr schnell und mit höchster Sorgfalt rund um die Uhr arbeiten. Dabei muss das Risiko für die Rettungskräfte selber, aber auch für die noch verschütteten Opfer so gering wie möglich gehalten werden. Aus den möglichen Einsturzarten geht hervor, dass die Strukturen in einem solchen Gebäude zu diffus und die Hohlräume selbst für Hunde manchmal zu klein sind, um Opfer zu finden und zu ihnen zu gelangen. Ein Einsatz von Robotern, die Opfer lokalisieren können und dabei die Rettungskräfte und die Opfer selbst nicht gefährden wäre sinnvoll.

⁴ Vgl. MURPHY, CASPER, MICIRE, 2001, S 343. Potential Tasks and Research Issues for Mobile Robots in RoboCup Rescue

2. Rescue-Roboter

2.1. Herausforderungen an einen Rescue-Roboter

Wir gehen davon aus, dass der Einsatz von Rescue-Robotern sich nur darauf beschränkt Opfer zu finden, die dann vom Rettungsteam geborgen werden. Die Bergung von Opfern durch Roboter geht über die heutige und die Technologie der nahen Zukunft hinaus. Außerdem sei an dieser Stelle bemerkt, dass die Roboter in ständigem Kontakt (Funk) mit einem *Operator* stehen, der sie steuert und überwacht. Sie sind teilweise autonom programmiert, um bei einer Unterbrechung des Funkkontaktes notfalls den Rückweg an die Oberfläche zu finden. Vollständig autonome Rescue-Roboter, die alle an sie gestellten Herausforderung bewältigen können, sind bei dem aktuellen Stand der Technik schwer realisierbar.

Mechanische Herausforderung

Ein Rescue-Roboter muss sich problemlos in unwegsamem Gelände wie eingestürzten Gebäuden fortbewegen können. Er muss kleinere und größere Hindernisse wie Trümmerteile und Möbel bewältigen können. Er muss sich nach einem Sturz von jeder Seite aus wieder aufrichten können und er muss robust sein, um Gefahren wie weitere einstürzende Teile, Feuer oder Wasser trotzen zu können. Außerdem muss er als Ganzes so klein wie möglich sein, um kleine Hohlräume erreichen zu können.

Sicherheit

Um die Sicherheit der Opfer und der Rettungsteams zu gewährleisten, muss ein Rescue-Roboter jegliche Kollisionen verhindern. Dadurch wird weiteren Beschädigungen des Gebäudes und einem Einklemmen des Roboters vorgebeugt. Außerdem muss er Gefahren für den Menschen erkennen, bevor Rettungskräfte, das Gebäude betreten. Beim Erdbeben von Mexico City im Jahr 1985 kamen 65 Rettungskräfte ums Leben, weil Grundwasser die unterirdischen Räume flutete, die sie nach Verschlütteten durchsuchten. Ähnliche Gefahren könnten leckende Gasleitungen sein.

Opfererkennung

Menschliche Opfer können je nach Grad der Verschüttung anhand diverser Eigenschaften erkannt werden.

- Körperwärme
- CO₂-Ausstoss
- Stimme und sonstige akustische Signale
- Puls/Blutsauerstoffgehalt
- Bewegung
- Menschliche Gestalt
- Farbkontraste durch Hautfarben oder Kleidung

Lokalisierung und Kartierung

Die Rescue-Roboter sollten ihre eigene Position im Raum und Ausrichtung selbst bestimmen können, um dem Rettungsteam den richtigen Weg zu den Opfern zeigen zu können. Nach der Lokalisierung von Opfern sollte eine Route oder eine Karte erstellt werden, die im besten Fall außer dem Weg auch noch die auf der Strecke vorliegenden Hindernisse aufzeigt.

Weitere Herausforderungen stellen sich mit einer zuverlässigen drahtlosen Kommunikation der Operatoren mit dem Roboter, dem Mittelweg zwischen einer ausreichenden Energiequelle einem nicht zu hohen Gewicht und dem Preis des Roboters, der natürlich so gering wie möglich ausfallen sollte.

2.2. Lösungsansätze

Für eine problemlose Fortbewegung des Roboters auf Trümmern, Bauschutt oder anderem unwegsamem Gelände ist ein starker Motor und das richtige Getriebe nötig. Es gibt unterschiedliche Lösungsansätze mit Raupen- und Radantrieben, die bei unterschiedlicher Beschaffenheit des Untergrundes Besser sind. Der Roboter sollte fähig sein hohe Steigungen und bestenfalls sogar Treppen bewältigen zu können.

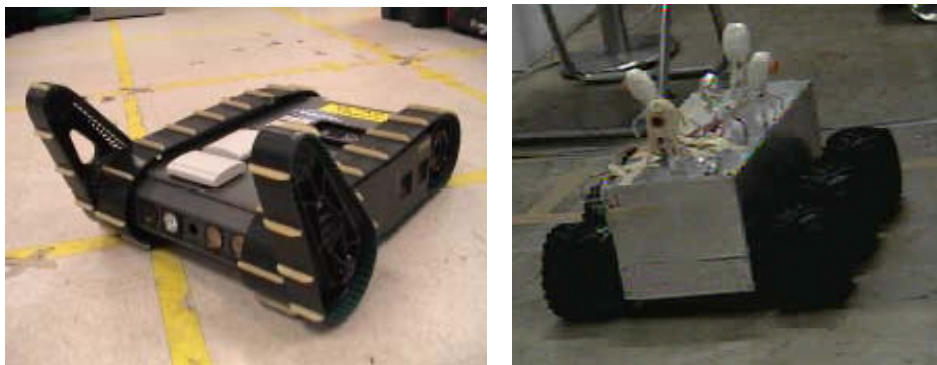


Abbildung 5: Verschiedene Antriebsarten bei Robotern

Um bei den härtesten Bedingungen, die eine solche Katastrophe mit sich bringt, einsetzbar zu sein, sollten die Roboter so weit wie möglich beständig gegen Feuer und Wasser sein. Die Steuerungscomputer und andere empfindliche Bauteile sollten in eine wasserdichte Umgebung gebaut werden, alle Bauteile sollte hohe Temperaturen, z.B. durch Feuer verursacht, zumindest für kurze Zeit aushalten können.

Um den Roboter nach einem Sturz, wenn er in einen Hohlraum o.ä. gefallen ist, wieder einsatzfähig zu machen, sollte eine Kippvorrichtung angebracht werden. Diese kann pneumatisch oder über ein Getriebe bewegt werden und den Roboter in seine Ausgangsposition bringen.

Damit Kollisionen vermieden werden können, braucht der Roboter eine Kamera, über die der Operator Hindernisse erkennen kann und ihnen ausweichen kann, bzw. der Roboter selber über Bilderkennungsalgorithmen die Hindernisse erkennt und ihnen autonom ausweicht. Eine weitere Hilfe bei dieser Aufgabe stellen auch Sonare dar, falls durch Rauchentwicklung oder Verschmutzung des Objektivs die Sicht der Kamera beeinträchtigt ist. Im besten Fall ist die Kamera beweglich angebracht und erlaubt es im weiten

Winkel ein großes Areal zu überblicken. Mehrere Kameras sind hier die Alternative.

Für die Opfererkennung anhand der o.g. Merkmale sind spezielle Sensoren von Nöten, die entsprechend den menschlichen Sinnen sehen, hören, riechen und fühlen und darüber hinaus auch bei schlechten Bedingungen den Menschen erkennen können. Im nächsten Kapitel werden die Sensoren genauer vorgestellt.

Um alle diese Sensoren (Kamera und Sonar sind hier mit einbezogen) einsetzen zu können und dabei den Computer als Hilfsmittel nutzt, werden entsprechende Algorithmen der Bilderkennung, Klangauswertung, usw. benötigt. Neben dem Operator, der die Bilder der Kamera überwacht und vielleicht auch die ausgegebenen Werte der Sensoren kontrolliert, sollte der Roboter, bzw. die ihn steuernden Programme, auch in der Lage sein, menschliche Formen und Kontraste aus Bildern herauszufiltern, vorhandene Gefahrstoffe zu melden und über Mikrofone Stimmen oder Rufe von sonstigem Krach unterscheiden zu können, um dem Operator behilflich zu sein und bestenfalls auch autonom funktionieren zu können. In dieser Arbeit soll aber nicht genauer auf diese Algorithmen eingegangen werden.

Würde man alle diese Lösungsansätze für die beschriebenen Herausforderungen mit einem Roboter realisieren wollen, wäre dieser beim heutigen Stand der Technik höchstwahrscheinlich sehr groß, schwer und teuer sein. Darum ist es nötig sich auf die wichtigsten Komponenten zu beschränken und damit einen flexiblen Roboter bereitzustellen, oder verschiedene Roboter für jeweilige Einsatzgebiete zu verwenden.

2.3. Sensoren

Die Sensoren von Rescue-Robotern müssen sehr präzise sein und mit einer guten Aussicht auf Erfolg arbeiten. Darum sind qualitativ hochwertige Geräte vorteilhaft, obwohl sie oft mit einem hohen Anschaffungspreis verbunden sind.

Wie schon erwähnt braucht ein Rescue-Roboter eine Kamera, mit der die Umgebung erfasst wird und die Bilder an den Operator und bild- bzw. videoberarbeitende Programme übermittelt werden.

Ein Infrarotsensor, also eine Wärmebildkamera, zeigt geringste Temperaturunterschiede auf, die durch die Körperwärme eines Opfers oder sogar durch seine Atmung entstehen können.

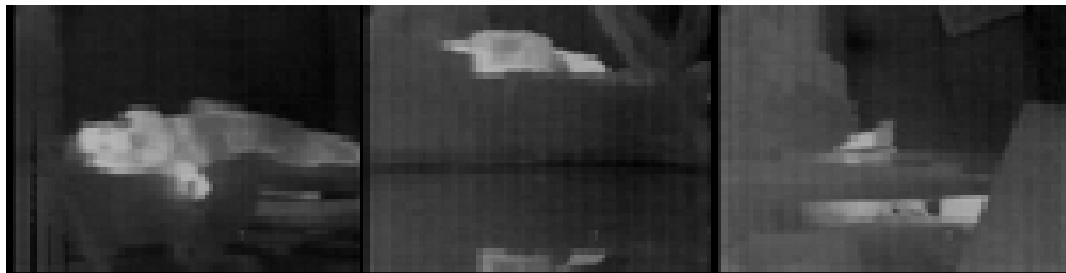


Abbildung 6: Bilder einer IR-Kamera: a) leicht verschüttet b) in Hohlraum c) eingeschlossen

Ein CO₂-Sensor erkennt den CO₂-Ausstoss, der bei der Atmung entsteht.

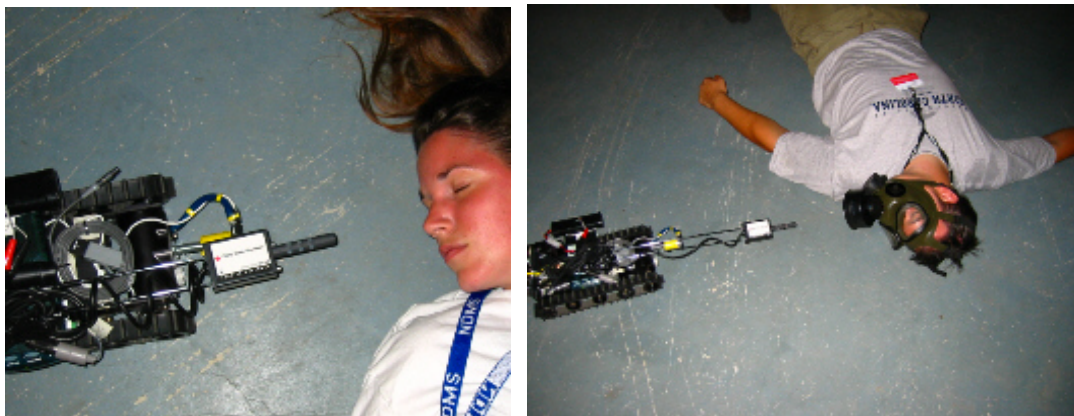


Abbildung 7: CO₂-Sensor-Test

Die oft auch in Alarmanlagen verwendeten Bewegungssensoren können jegliche Bewegung erkennen, was aber beim Einsatz in eingestürzten Gebäuden auch von Nachteil wäre, da dieser Sensor nicht unterscheiden kann, ob sich nun ein Opfer bewegt, oder weitere Gebäudeteile einbrechen.

Akustische Sensoren, wie z.B. Richtmikrofone, zeichnen alles auf und senden die Töne an den Operator oder Klangerkennende Programme, die gegebenenfalls menschliche Stimmen herausfiltern können.

Der SpO₂-Sensor ist ein Gerät zur Messung des Blutsauerstoffgehaltes, und damit auch des Pulses, das sich dazu eignet den diesbezüglich aktuellen Zustand eines Opfers bestimmen zu können.

Nach Untersuchungen des *Center for Robot-Assisted Search and Rescue (CRASAR)* der Universität von Florida ist die Kombination aus Infrarotkamera, CO₂-Sensor und SpO₂-Sensor neben einer herkömmlichen Kamera die am meisten Erfolg versprechende Variante⁵. Außerdem sind diese Sensoren sehr kostengünstig und verhältnismäßig klein und können gelten dadurch als gut einsetzbar. Aus diesem Grund wird der hierbei sehr interessante SpO₂-Sensor etwas ausführlicher vorgestellt.



Abbildung 8: SpO₂-Sensor-Test

Der SpO₂-Sensor

Der SpO₂-Sensor basiert auf einem Pulsoximeter, das in der Medizin zur Messung des Blutsauerstoffgehaltes und Pulses verwendet wird. Hierbei wird der SpO₂-Wert (Hämoglobinwert) bestimmt, indem Rot- und Infrarotlicht in das Gewebe gesendet wird und die Veränderungen der Lichtabsorption während des Pulszyklus gemessen werden. Da sich die Hämoglobine in ihrer Fähigkeit unterscheiden Rot- und Infrarotlicht zu absorbieren und die Menge arteriellen Blutes im Gewebe (und daher auch die Lichtabsorption durch dieses Blut) sich während des Pulses verändert kann der Blutsauerstoffgehalt und der Puls genau gemessen werden. Rot- und Infrarotlicht ausstrahlende Niederspannungs-Leuchtdioden (LEDs) im Sensor des Pulsoximeters dienen als Lichtquellen, eine Photodiode als Photodetektor. Der Sensor muss für einige Sekunden ein Stück freie Haut berühren, um seine Messung vorzunehmen.

⁵ Vgl. <http://crasar.csee.usf.edu/Press/> Veröffentlichung aus dem Jahr 2002

Versorgung gefundener Opfer

Falls Opfer in Hohlräumen von eingestürzten Gebäuden gefunden werden, deren Bergung sehr langwierig und kompliziert ist, können Rescue-Roboter zur Versorgung dieser mit lebenserhaltenden Mitteln beitragen. Der Roboter kann einen flexiblen Schlauch zu dem Opfer bringen, durch den Wasser, Luft oder Medikamente befördert werden.⁶

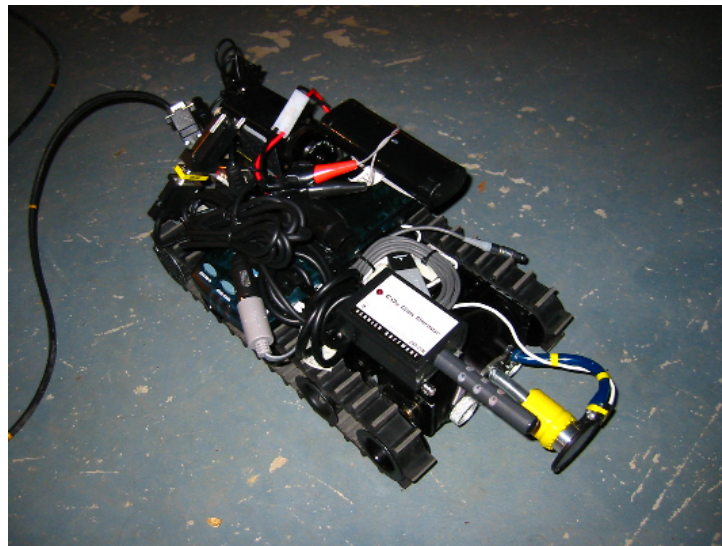


Abbildung 9: Roboter mit SpO2-Sensor, CO2-Sensor und IR-Kamera

⁶ Vgl. <http://crasar.csee.usf.edu/Press/> Veröffentlichung aus dem Jahr 2002

3. Robocup Rescue League

Mit internationalen Wettbewerben, auf denen Forscher sich und ihre Ergebnisse messen können und dabei von der Konkurrenz und Auszeichnungen angetrieben werden, wird die Entwicklung stark vorangetrieben. So auch in der Technologie der Rescue-Roboter. Solche Wettberbe, bei denen die Roboter(-teams) gegeneinander antreten müssen, bieten einen Austausch von Wissen, neuen Technologien, Ideen und Design und sind gleichzeitig Testbett für reale Einsätze. Die hierbei prägende Veranstaltung ist die Robocup Rescue League. Im Jahr 2000 fand der erste Urban Search and Rescue Contest in Austin, Texas statt, der von der American Association of Artificial Intelligence (AAAI) organisiert wurde. Dieser Wettbewerb wurde 2001 an den RoboCup, bekannt durch die Weltmeisterschaften im Roboterfußball, angegliedert und es entstand die Robocup Rescue League, in der Teams aus vielen Ländern ihre Roboter in simulierten Katastrophenbedingungen gegeneinander antreten ließen. Nach 2001 in Seattle, Washington und 2002 in Fukuoka, Japan fand der Wettbewerb 2003 zum ersten Mal in Europa, in Padua, Italien statt. 2004 ist Lissabon Austragungsort.

3.1. Regeln

Der RoboCup Rescue wird nach folgenden Regeln ausgetragen⁷.

Spielfeld

Das Spielfeld ist aufgeteilt in COLD ZONE, WARM ZONE und HOT ZONE. In der COLD ZONE arbeiten die Teams an ihren Robotern, nehmen letzte Konfigurationen vor und bereiten sich auf den Wettkampf vor. In der WARM ZONE ist der Platz an dem die Operatoren mit ihren Workstations mit dem Rücken zum Parkur sitzen und wo die Roboter starten.

⁷ Vgl. <http://www.isd.mel.nist.gov/AmericanOpen2003/rules.htm>, 2003 Abgerufen am 05.01.2004

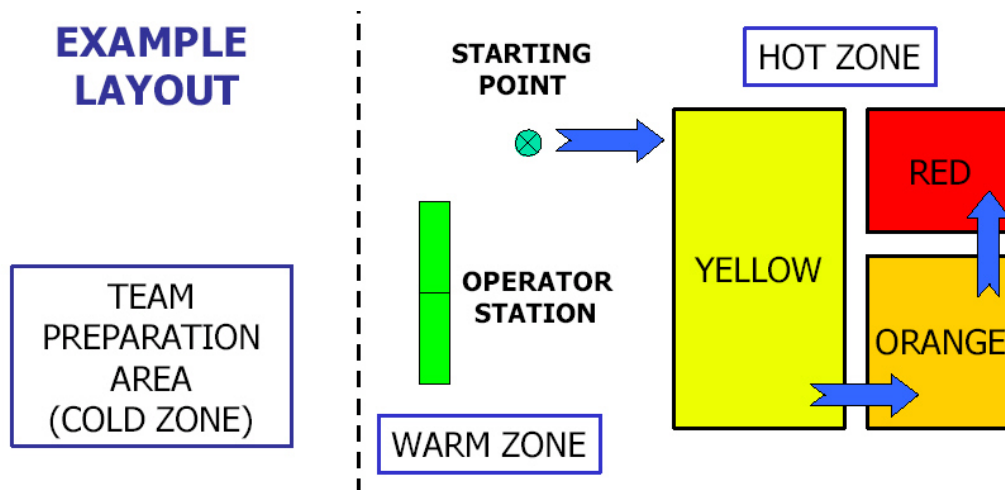


Abbildung 10: Layout des Spielfeldes

Die HOT ZONE ist soz. die „Kampfarena“, in der die Roboter agieren und nach Opfern suchen. Die HOT ZONE ist in drei Teilbereiche unterteilt. Die YELLOW ARENA, ein eingeschossiges Labyrinth mit wenigen Hindernissen und ohne Möbel.



Abbildung 11: YELLOW ARENA

Die ORANGE ARENA, wo es darum geht eine Treppe oder Rampe zu bewältigen. Sie ist zweigeschossig und diverse Haushalts- und Büroeinrichtungsgegenstände liegen als Hindernisse herum. Schließlich die RED ARENA, die ein total verwüstetes und zerstörtes Haus darstellen soll. Keine Struktur ist mehr zu erkennen und Trümmer liegen herum



Abbildung 12: ORANGE ARENA und RED ARENA

Es dürfen sich zu keiner Zeit Operatoren oder Teammitglieder in einer der Arenas befinden. Die Roboter müssen die Arenas in der vorgegebenen Reihenfolge durchfahren und nach Opfern durchsuchen.

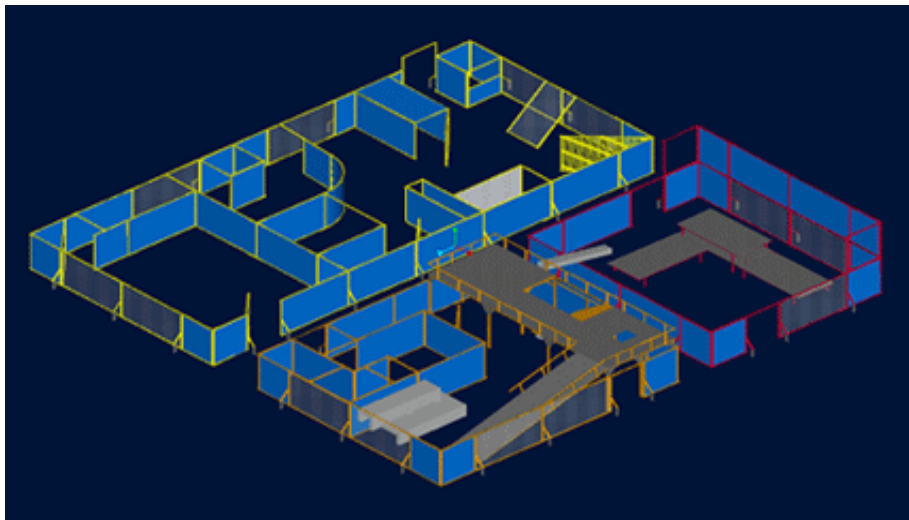


Abbildung 13: Schematische 3D-Darstellung der HOT ZONE

Opfer

Die Opfer werden durch Mannequins repräsentiert, die menschliche Eigenschaften haben und „Lebenszeichen“ von sich geben. Die Puppen sind so präpariert, dass sie akustisch (Stimme, Klopfen - über einen Lautsprecher erzeugt), optisch (menschliche Form und Kleidung, sich bewegende Körperglieder), thermal (Körperwärme durch Heizelemente) und chemisch (CO₂-Emmission aus dem Mundraum) auf sich aufmerksam machen.

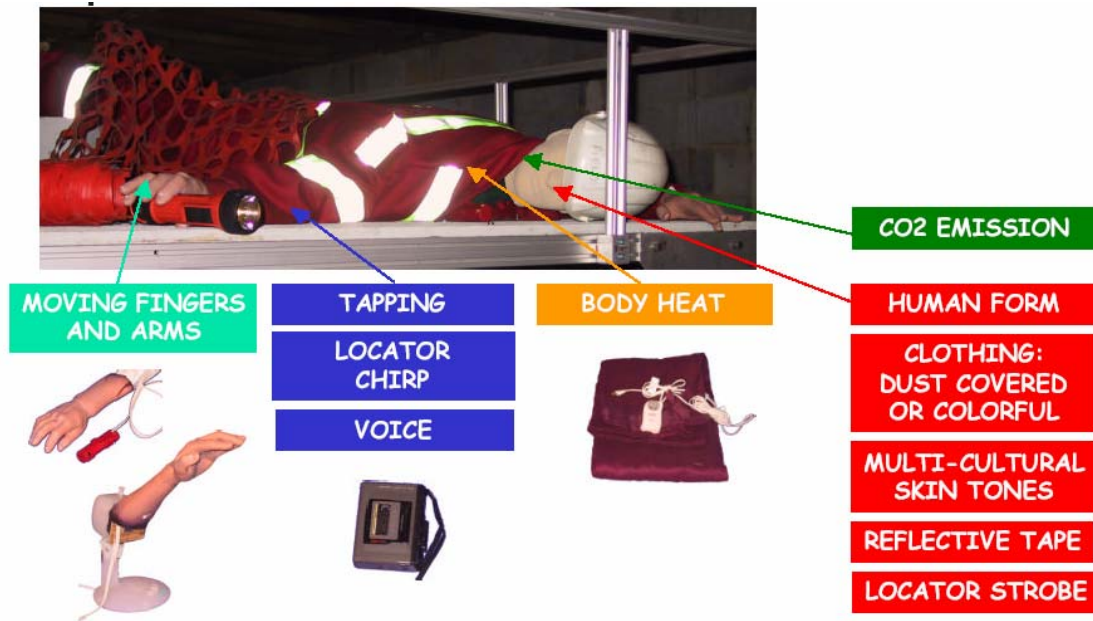


Abbildung 14: Opfermannequin mit angezeigten Lebenszeichen

Sie können unterschiedlich platziert sein: oberflächennah, leicht bedeckt, in Hohlräumen oder komplett von Schutt begraben. Außerdem wird das Auftreten der „Lebenszeichen“ unterschiedlichen Bewusstseinszuständen angepasst: die Opfer können bei vollem Bewusstsein sein, teilweise bei Bewusstsein oder bewusstlos sein.

Kommunikation

Die Kommunikation zwischen Operatoren und Robotern muss permanent bestehen. Da Funk als Kommunikationsmittel verwendet wird, gibt es einen vorgeschriebenen Frequenzplan für alle Teams, durch den Interferenzen der Sender vermieden werden können.

Schiedsrichter

Die Organisatoren und Schiedsrichter erstellen während des Wettkampfs eine Karte, in der alle Opfer verzeichnet sind und die Teams festgehalten werden, die die jeweiligen Opfer gefunden haben. Jeder Roboter hat seinen eigenen

offiziellen Schiedsrichter, durch den alle Aktionen beobachtet werden. Der Schiedsrichter startet auch den Wettkampf

Ablauf des Wettkampfs und Bewertung

Es starten höchstens vier Roboter vom Startpunkt in die HOT ZONE. Zielvorgabe ist es den Schiedsrichtern innerhalb von 10 Minuten nach Abschluss des Wettkampfs eine Karte zu liefern, die die vom jeweiligen Team lokalisierten Opfer aufzeigt. Diese Karte wird ihrer Korrektheit und Qualität nach bewertet. Solche Karten können von einer Computergenerierten 2D-Karte mit genauer Lokalisierung der Opfer bis zu einem ungefähren Richtungsweiser vom Startpunkt aus reichen. Genauso kann die Lokalisierung der Opfer ziemlich ungenau sein. Außer diesen Vorgaben wird das Erkennen von unterschiedlichen Lebenszeichen der Opfermannequins unter Einsatz der vorhandenen Sensoren bewertet. Abzüge gibt es für Kollisionen mit der Arena oder mit den Opfern. Auf die genaue Punktverteilung soll hier nicht weiter eingegangen werden.

3.2. Teams

In diesem Kapitel sollen kurz zwei Teams und ihre Roboter und eine alternative Roboterkonstruktion vorgestellt werden.

3.2.1 Team KAVOSH

Das Team Kavosh aus dem Iran war der Sieger des RoboCups Rescue 2002 und dritter im Jahr 2003. Es ist das erfolgreichste unter einigen Teams aus dem Iran. Das Land investiert viel in die Forschung auf dem Gebiet der Rescue-Roboter, da es in einem von vielen Erdbeben geplagtes Gebiet ist, wie man kürzlich auch am Beispiel der durch ein Erdbeben völlig zerstörten Stadt Bam gesehen hat. Einige Universitäten, darunter die Technologische Sharif

Universität von Teheran sind in diese Forschungs- und Entwicklungsprojekte involviert.



Abbildung 15: Der Roboter des Teams KAVOSH

Der Siegroboter des Teams aus dem Jahr 2002 war mit einem Raupenantrieb ausgestattet. Er hatte drei Kameras, von denen eine an einem Teleskoparm angebracht war, der für eine bessere Übersicht ausgefahren werden konnte (s. Abbildung). Eine IR-Kamera und hochwertige akustische Sensoren gehörten außerdem zur Ausstattung.

Die Steuerung wurde über drei Softwaremodule durchgeführt: Eines für die Positionierung des Roboters (host-Computer), eines für die Kommunikation (host-Computer und Roboter) und ein User Interface, das auf dem host-Computer lief.

3.2.2. IUB RoboCup Team 2002

Das Team der Internationalen Universität Bremen hat sich aus einer Veranstaltung für Robotik herauskristallisiert und 2002 und 2003 am RoboCup teilgenommen. 2002 belegte das Team den vierten Platz, sie konnten sich 2003 sogar auf den zweiten Platz steigern.

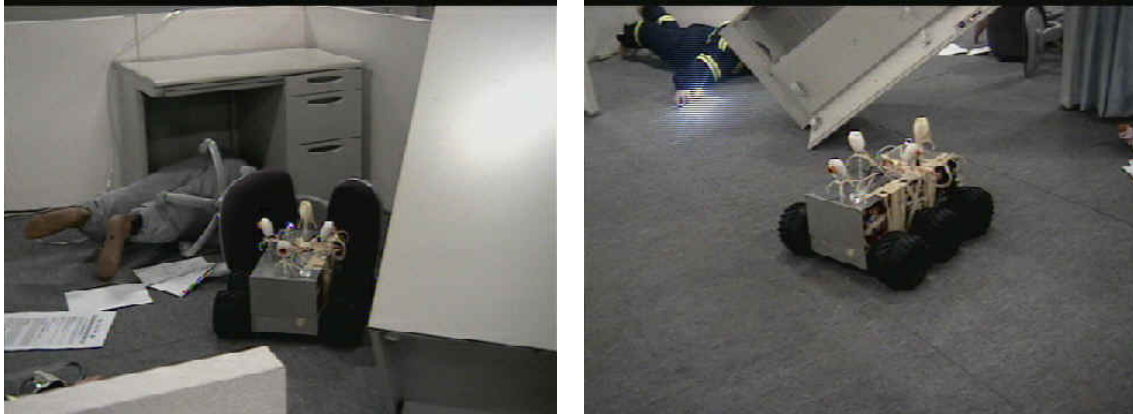


Abbildung 16: Der Roboter des IUB aus dem Jahr 2002

Der Roboter aus dem Jahr 2002 basierte auf dem CubeSystem, einem Roboter-Kit, das an die Herausforderungen an einen Rescue-Roboters angepasst wurde. Das Kit und die verwendeten Materialien waren verhältnismäßig günstig und somit konnten mehrere Roboter für Tests gebaut werden. Der Roboter verfügt über sechs Räder und vier fest installierte in alle Richtungen blickende Kameras. Die Kommunikation wurde über eine gängige Wireless-LAN-Schnittstelle hergestellt. Die Steuerungssoftware des Roboters verfügte über Algorithmen zur autonomen Funktionsweise, falls der Funkkontakt unterbrochen worden wäre.⁸

IUB RoboCup Team

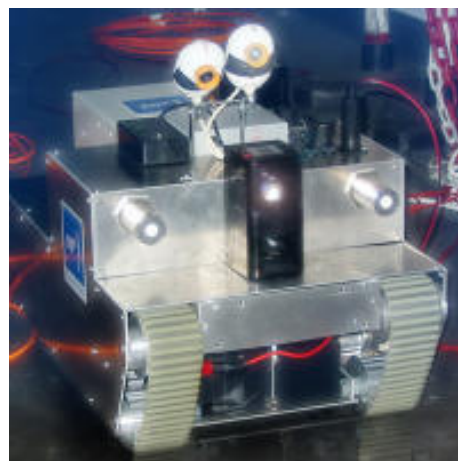


Abbildung 17: IUB-Roboter aus dem Jahr 2003

⁸ Vgl. www.iu-bremen.de/RoboCup

Im Jahr 2003 hat das Team einen völlig neuen Roboter entwickelt, der im Wettbewerb die besten Ergebnisse in dem Bereich der Kartierung erzielte. Die Neuerungen waren ein Kompass-Sensor, zur genauen Ausrichtung und Positionierung, ein Laser-Scanner und ein MotionAnalyser, die die Bewegung des Roboters millimetergenau untersuchten und somit seine gefahrenen Wege in einer Karte festhalten konnten. Die ausgegebene Karte war von hoher Präzision, die Lage von gefundenen Opfern und Hindernissen und der Pfad des Roboters wurden sehr genau angegeben. Da aber nicht alle Opfer gefunden werden konnten reichte es nur zum zweiten Platz.

3.2.3. *Alternative Mechanismen*

Alternative Mechanismen in der Robotik erlauben es auch anders an die Konstruktion von Rescue-Robotern heranzugehen. Die Serpentine Mechanisms (schlangenähnliche Mechanismen) haben eine größere Bewegungsfreiheit als konventionelle Roboter. Sie folgen ihren Vorbildern aus der Natur und können durch die hohen Grade der Bewegung Stellen in zerstörten Gebäuden erreichen, die für Menschen, aber auch „fahrende“ Roboter unerreichbar wären.



Abbildung 18: Serpentine Mechanism Robot

Die Umgebung wird dabei durch die Übertragung jeder Bewegung auf die einzelnen Glieder des „Schlangenroboters“ nie berührt.⁹ Im „Kopf“ des Roboters kann eine Kamera und andere Sensoren angebracht werden, die ihn in Katastrophenfällen einsatzfähig machen. Um die gesamte Stabilität zu wahren ist die Reichweite eines solchen Roboters bisher recht beschränkt, was sich auch beim RoboCup 2003 in Padua herausgestellt hat. Das Team Sinobi aus Tokio ist als erstes mit einem solchen Roboter angetreten. Leider mit sehr wenig Erfolg. Der Roboter schaffte es nur einen Meter in die ORANGE ARENA und wurde mit den wenigsten Punkten letzter. Aber diese Entwicklung steckt noch in ihren Kinderschuhen, so dass dort weitere Fortschritte erwartet werden.

4. Praktischer Einsatz: WTC 11. September 2001

Nach dem Anschlag auf das World Trade Center in New York, am 09. September 2001 wurden zum ersten Mal Rescue-Roboter in realer Umgebung eingesetzt. Der Einsatz war zur Unterstützung der Rettungskräfte gedacht und sollte auf keinen Fall die Rettungskräfte bei ihrer Arbeit behindern. Der Einsatz der Roboter brachte kaum Erfolg mit sich, aber hat erste Ansätze für Problemlösungen geliefert und bot gute Aussichten für zukünftige Arbeit mit den Robotern.¹⁰

Es wurden verschiedene Arten von Robotern eingesetzt. Einer von ihnen soll hier genauer vorgestellt werden:

⁹ Vgl. Robotics Institute der Carnegie Mellon University
http://www.ri.cmu.edu/projects/project_407.html

¹⁰ Vgl. CASPER, 2002, Human Robot Interactions During The Robot Assisted Urban Search And Rescue Response At The World Trade Center

iRobot Packbot

- 85cm, 18kg
- 2-4m/s
- Nachtsichtkamera
- Hochauflösende Kamera
- IR-Kamera
- 2 Batteriepacks
- Wasserfest bis 3m
- selbstaufrechtbar
- onBoardComputer:
 - PIII 700 MHz, 256MB RAM
- OS: Linux
- Wireless Ethernet Schnittstelle
- Operator am Laptop



Abbildung 19: iRobot Packbot

Während des Einsatzes hat keiner der Roboter Opfer finden können. Lediglich einige Wochen nach dem Anschlag wurden bei Auswertungen der Bilddaten Spuren von Opfern festgestellt. Es wurde eine aus Trümmern herauschauende Hand und eine von Staub bedeckte Armbanduhr, höchstwahrscheinlich noch an einem Handgelenk auf Videos entdeckt (s. Abbildung).



Abbildung 20: Nachträglich ausgewertete Bilddaten

5. Ausblick

Der langfristige Ausblick der RoboCup Rescue League für das Jahr 2050 sieht folgendermaßen aus: Teams von Rescue-Robotern können selbstständig eingestürzte Gebäude durchqueren, ohne Kollisionen zu verursachen und damit weitere Schäden anzurichten. Sie können Opfer in den Trümmern finden und ihren Zustand genau beschreiben. Exakte Karten mit der Lokalisierung der Opfer und Beschreibung der Umgebung wird erstellt. Die Opfer können mit Luft, Wasser, Nahrung und Medikamenten versorgt werden und jegliche Gefahrstoffe können identifiziert werden.¹¹

Teile dieser Ziele sind sogar schon in kürzester Zeit greifbar, wie man an dem neusten Roboter der Internationalen Universität Bremen sieht, der jetzt schon hervorragende Karten liefert.

Einen kurz- und mittelfristigeren Ausblick bietet das CRASAR der Universität von Florida: Innerhalb der nächsten drei Jahre sollen die Rescue-Roboter jeweils von einem Operator tragbar und bedienbar sein. Außerdem sollen die Roboter in Rettungsteams der Feuerwehr und andere Rescue Task Forces eingebunden werden. In den nächsten fünf Jahren soll eine minimale Kompetenz eines Rescue-Roboters spezifiziert werden. In dieser Spezifikation soll eine Minimalkonfiguration der wichtigsten Sensoren und andere Kompetenzen eines Rescue-Roboters festgehalten werden. Dazu soll sich das Aufgabenspektrum der Roboter vergrößern (z.B. Versorgung der Opfer). In 10 Jahren soll es dann üblich sein Rescue-Roboter bei Katastrophenfällen einzusetzen, die schwerere Bedingungen mit sich bringen als der Anschlag auf des World Trade Center.

Rescue-Roboter sollen somit Einzug in die gängigen Prozesse der Bergung von Opfern aus eingestürzten Gebäuden halten.

Ein weiteres wichtiges Gebiet des Einsatzes von Computern in Katastrophenfällen ist die Simulation von Katastrophen mit MultiAgentenSystemen, die in den nächsten Kapiteln vorgestellt wird.

¹¹ Vgl. <http://www.isd.mel.nist.gov/AmericanOpen2003/>, 2003

6. RoboCup Rescue Simulation League

Im Zuge des im Fussball ausgetragenen RoboCups wurde die RoboCup Rescue Simulation League entwickelt. Sie versteht sich als eine internationale Initiative zur Förderung der Forschung in den Bereichen künstliche Intelligenz und Autonome Mobile Roboter, in dem die Entwicklungen verschiedener Teams in realitätsnahen Szenarien verglichen werden.¹² Durch den Wettbewerb soll es möglich sein, Informationen über den Ablauf von Katastrophen zu bekommen und effiziente Vorschläge zu ihrer Bekämpfung und Eindämmung zu erstellen, um im Ernstfall Entscheidungshilfen bereitstellen zu können.

Die League bedient sich des in den früheren Referaten bereits behandelten Multiagentensystems. Der Vorteil dieses Systems ist, dass er generalisierbare Erkenntnisse über Teamarbeit sowie Kommunikations- und Koordinations-techniken liefert.

6. 1. Visualisierung

6.1.1. Die Simulation

Zur Durchführung des Wettbewerbs wird zunächst ein Gebiet benötigt, in dem die Simulation ablaufen soll. Dieses Gebiet wird aus den Daten einer beliebigen Stadt gewonnen. Aus den Informationen über die Anordnung der Straßen und Zustand und die Lage von Gebäuden können so Erkenntnisse über Entflammbarkeit und Einsturzgefährdung von Häusern gewonnen werden, ebenso wie über die Gefahr der Blockierung von Straßen.¹³

Die Sammlung von Objekten der Typen Mensch, Straße oder Gebäude bildet die Katastrophe oder Disaster Space. Sie wird über ein Netzwerk erstellt und simuliert. Dabei besitzt jedes Objekt eine eigene ID und ist zu benachbarten Objekten verlinkt. Straßen besitzen der Einfachheit halber nur die Zustände

¹² <http://ais.gmd.de/de/pm/030411a.html>

¹³ <http://www.informatik.uni-freiburg.de/~rescue/flyerRescue.doc>

komplett passierbar und komplett nicht passierbar, allerdings werden Staus simuliert, bei denen die Einsatzfahrzeuge Vorfahrt haben vor den zivil genutzten Fahrzeugen.

Der Disaster Space wird vom RoboCup Rescue Simulation System (RCRSS) simuliert. Das RCRSS besteht aus mehreren unabhängigen Modulen, die in einem Netzwerk verteilt sind. Das sogenannte Kernel-Modul steuert den in modellierter Echtzeit erfolgenden Ablauf (1 Minute in der realen Welt wird in einer Sekunde simuliert). Dazu holt es sich zunächst die Ausgangsdaten aus einem GIS und gibt diese an den Viewer zur Visualisierung und verschiedene Subsimulatoren weiter, welche für die Steuerung verschiedener Katastrophen zuständig sind. Dann werden den Agenten ihre räumliche Platzierung, ihre Rolle in der Simulation und Informationen über die nähere Umgebung mitgeteilt. Die eigentliche Simulation erfolgt über folgenden immergleichen Kreislauf:

1. Das Kernelmodul schickt die aktualisierten visuellen Informationen an die Agenten. Dieser Schritt entfällt beim ersten Durchgang
2. Die Agenten geben ihre in Abhängigkeit von den verfügbaren Informationen gewählte Aktion an das Kernelmodul weiter. Dieser Schritt entfällt ebenfalls beim ersten Durchgang.
3. Das Kernelmodul leitet die Aktionen der Agenten an die Subsimulatoren weiter.
4. Die Subsimulatoren berechnen den durch die Aktion der Agenten geänderten Katastrophenzustand und geben ihn an das Kernelmodul weiter
5. Das Kernelmodul gibt die veränderten Zustände an den Viewer weiter.
6. Der interne Zeitmesser wird vorgestellt.

Dabei werden in der ersten Runde, in der die Agenten noch nicht agieren, Katastrophen wie das Ausbrechen von Feuer oder das Einstürzen von Gebäuden gestartet. In der zweiten Runde werden dann die Subsimulatoren gestartet, die die Folgen der Katastrophen darstellen, wie die Blockierung von Straßen oder die Generierung von Opfern.

6.1.2. Die Agenten

Es gibt zwei Gruppen von Agenten: Die zivilen und die Rettungsagenten. Die Rettungsagenten untergliedern sich in die beweglichen Platoon Agents und die unbeweglichen Center Agents. Dabei gibt es drei verschiedene Typen von Platoon Agents: Die Ambulanzteams, deren Aufgabe es ist, Opfer zu bergen und ins Krankenhaus zu bringen, die Feuerwehrteams, die Feuer löschen und das Einstürzen von Häusern verhindern, und die Polizeiagenten, die Straßenblockaden räumen. Jeder dieser drei Gruppen ist ein Center Agent zugeordnet. Die Center Agents koordinieren die Abläufe der Agenten ihres Typs. Sie können dazu Aufgaben an die Agenten weitergeben und deren Entscheidungen revidieren. Zudem können sie Informationen entgegennehmen und wieder abgeben. Den Agenten ist es möglich, miteinander zu kooperieren und Informationen auszutauschen. Dabei werden wichtige erfasste Informationen an den Center Agent abgegeben und nötigenfalls Hilfe angefordert. Des Weiteren klären die Agenten die Zuständigkeit untereinander. Zu Beginn sind die Agenten noch ziellos und beginnen damit, Informationen zu sammeln. Aufgrund dieser Informationen entscheiden sich die Agenten dann für eine oder mehrere Aktionen. Wenn ein Agent mehrere Aufgaben gleichzeitig bewältigen soll, versieht er sie mit Prioritäten.

Die Agenten verfügen über verschiedene Methoden, die hier dargestellt sind:

Type	Capabilities
Civilian	Sense, Hear, Say, Move
Ambulance Team	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Rescue, Load, Unload
Fire Brigade	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Extinguish
Police Force	Sense, Hear, Say, Tell, Move, Clear
Ambulance Center	Sense, Hear, Say, Tell
Fire Station	Sense, Hear, Say, Tell
Police Office	Sense, Hear, Say, Tell

Abbildung 21: Übersicht der den Agenten zur Verfügung stehenden Methoden

Dabei ist:

- Sense: Visuelle Information
- Hear: Akustische Information über einen Radius von 30 Metern
- Say: Sprechen mit menschlicher Stimme
- Move: Bewegen
- Rescue: Bergen verschütteter Opfer / zeitlich abhängig vom Grad der Verschüttung
- Load: Einladen von geborgenen Verletzten
- Unload: Ausladen der Verletzten am Krankenhaus
- Extinguish: Feuerlöschen / zeitlich abhängig von der Größe des Feuers
- Clear: Beseitigen von Straßenblockaden
- Tell: Telekommunikation nach folgendem Schema:

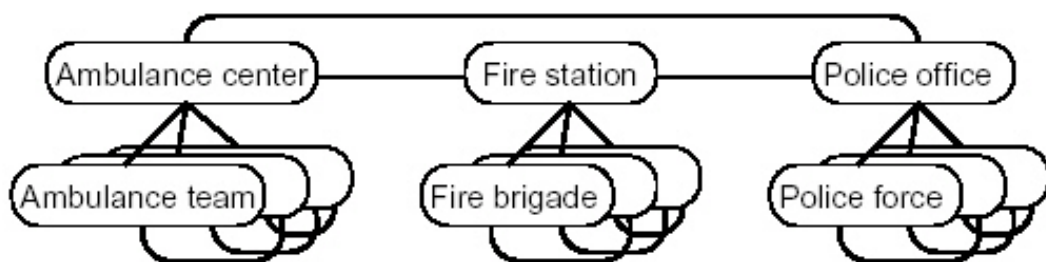


Abbildung 22: Übersicht der Kommunikationsmöglichkeiten der Agenten¹⁴

Zusätzlich obliegt es jedem am Cup teilnehmenden Team, seine Agenten mit Fähigkeiten auszustatten. Eine Hilfe für die Erstellung und Gestaltung einsatzfähiger Agenten ist das Agent Development Kit (ADK), das Methoden enthält für autonomes Vorgehen, Kommunikation, Nachrichtenkompression- und übertragung, kooperativer Modellierung und Pfadplanung.

Bausteine des ADK's sind

- der Plan Executor, mit dem Pläne gespeichert, ausgewählt und neu erstellt werden können,
- der Information Integrator, der die erhaltenen Informationen auswertet

¹⁴ Vgl. ne.cs.uec.ac.jp/~morimoto/rescue/manual/

- der Coordination Manager, der auf Basis der ausgewerteten Informationen einen Plan anfordert¹⁵

6. 2. Teams

Am Beispiel des Teams ResQ Freiburg soll gezeigt werden, wie ein Team seine Agenten gestaltet. ResQ Freiburg ging aus einer Lehrveranstaltung im SS 2002 an der Uni Freiburg hervor und wurde 2003 Sieger der RoboCup Rescue Simulation. Das Roboterfußballteam der Freiburger ist mehrfacher Weltmeister.

Zunächst sollen zwei Methoden gezeigt werden, mit denen Nachrichten effizienter gehandhabt werden. Bei der ersten Methode speichert jeder Agent die zuletzt empfangenen Nachrichten mit einem Timestamp in einem Object Pool, der mit statischen Objekten initialisiert wurde. Hat er die Nachrichten selbst ermittelt, gibt er sie zudem an seinen Center Agent weiter. Bei der zweiten Methode verteilen die Center Agents die Nachrichten, indem sie gesammelt, nach relevanten Informationen gefiltert, zu einer einzigen Nachricht zusammengefasst und dann weitergegeben werden.

Bei ResQ Freiburg können die Agenten selbsttätig, auf Befehl oder in Gruppen handeln. Die einzelnen Aktionen werden vor ihrer Durchführung auf Anwendbarkeit und nach ihrer Durchführung auf Erfolg geprüft. Bei den Feuerwehragenten können Gruppen entweder durch Zuweisungen vom Center Agent oder durch einen unabhängigen Koordinierungsprozess gebildet werden. Zudem spezialisieren sich einzelne Agenten, zum Beispiel auf Flächenbrände. Die Ambulanzagenten haben zwar eine besondere Rücksicht gegenüber Schwerverletzten, aber geben Opfern mit geringerer Überlebenschance eine niedrigere Priorität. Die Polizeiagenten schließlich erstellen eine Straßenhierarchie, nach welcher die blockierten Straßen abgearbeitet werden. Anhaltspunkte für die Erstellung einer solchen Hierarchie sind die Häufigkeit

¹⁵ Vgl. www.dis.uniroma1.it/~locascio/publications/RoboCup-Iros03.pdf

des Vorkommens einer Straße in Shortest-Path-Berechnungen oder ihre Nähe zu wichtigen Anlaufpunkten.¹⁶

6. 3. Ausgewählte Probleme und Algorithmen

Bei der Simulation treten viele verschiedenartige Probleme auf. Die sich schnell ändernde Umwelt und die begrenzten Kommunikationsmöglichkeiten der Agenten bewirken, dass die Informationen schnell veraltet sind. Bei einem engen zeitlichen Spielraum und eingeschränkter Übersicht müssen zur selben Zeit komplexe Probleme gelöst werden. Wir nennen nun ein paar Lösungsvorschläge.

6.3.1. A*-Algorithmus

Der A*-Algorithmus ist ein Shortest-Path-Algorithmus mit dem Vorteil, ungewöhnlich schnell zu sein, und dem Nachteil, nicht zwangsläufig die kürzeste Strecke zu berechnen.

Der A*-Algorithmus benötigt einen zu Beginn Startknoten, einen Endknoten, eine Liste mit den zu untersuchenden Knoten und eine Liste mit den untersuchten Knoten. Jeder Knoten besitzt einen Kostenwert, der sich aus der Entfernung vom Startknoten und der Entfernung vom Endknoten zusammensetzt. Diese Entfernung kann natürlich nur geschätzt werden. Die Art der Schätzung kann je nach Anwendungsfall variieren, in unserem Fall, wo wir über die geometrische Lage der Knoten bescheid wissen, reicht der euklidische Abstand.

Zu Beginn wird der Startknoten in die Liste der zu untersuchenden Knoten eingefügt. Dann werden alle seine Nachfolger in diese Liste eingetragen. Wurden alle gefunden, wird der Startknoten in die Liste der untersuchten Knoten verschoben. Anschließend wird der Nachfolger mit dem niedrigsten Kostenwert untersucht.

¹⁶ Vgl. www.informatik.uni-freiburg.de/~rescue/resq.pdf

Ist ein Nachfolgerknoten bereits in einer der beiden Listen enthalten, wird der Kostenwert, den er mit dem Weg über den aktuellen Knoten hat, mit dem dessen verglichen, der in der Liste gespeichert ist. Ist der neue Kostenwert geringer, wird der Knoten mit dem neuen Kostenwert aktualisiert und nötigenfalls in die Liste der zu untersuchenden Knoten verschoben.

Die Suche bricht ab, wenn die Liste der zu untersuchenden Knoten leer ist oder der Endknoten erreicht ist.¹⁷

6.3.2. Partitionierung

Bei der Partitionierung wird eine Stadt in mehrere Teile aufgeteilt und von den in den einzelnen Partitionen vorhandenen Agenten erkundet. Wichtige, also häufig benutzte Straßen, werden gesucht, erkannt, ausgewiesen und, wenn notwendig, von Polizeieinheiten geräumt. Die Information über einzelne Partitionen wird innerhalb der Partition fest gespeichert. Muss nun ein Agent von einer Partition in eine andere wechseln, nennt ihm der Center Agent die zu durchquerenden Partitionen. Betritt der Agent dann eine neue Partition, erkundigt er sich nach einer möglichen Route und dem Verzeichnis der wichtigen Straßen, falls die Route wider Erwarten nicht passierbar ist.



Abbildung 23: Mögliche Partitionierung einer Stadt

¹⁷ Vgl. <http://www.geocities.com/jheyesjones/oldastar.html>

Vorteile der Partitionierung sind ein geringerer Verbrauch von Speicher und Zeit, die erleichterte Zusammenarbeit und das Vorhandensein speziellerer und aktuellerer Daten.¹⁸

6.3.3. Group Forming

Der Group Forming - Prozess wird hauptsächlich bei Feuerwehragenten verwendet, kann jedoch auch von anderen Agenten genutzt werden. Hat sich ein Agent eine Aufgabe gesetzt, überprüft er, ob er diese alleine erfüllen kann. Kann er dies nicht, sendet er eine Anfrage an alle Agenten seines Typs aus, ob diese ihn unterstützen können. Die Agenten, die die Anfrage erhalten, senden, wenn sie nicht beschäftigt sind, eine positive Antwort an den rufenden Agenten. Der rufende Agent sucht unter den bereitwilligen Agenten so viele aus, wie er benötigt. An diese sendet er den Auftrag zum Group Forming und wird zum Leader Agent.¹⁹

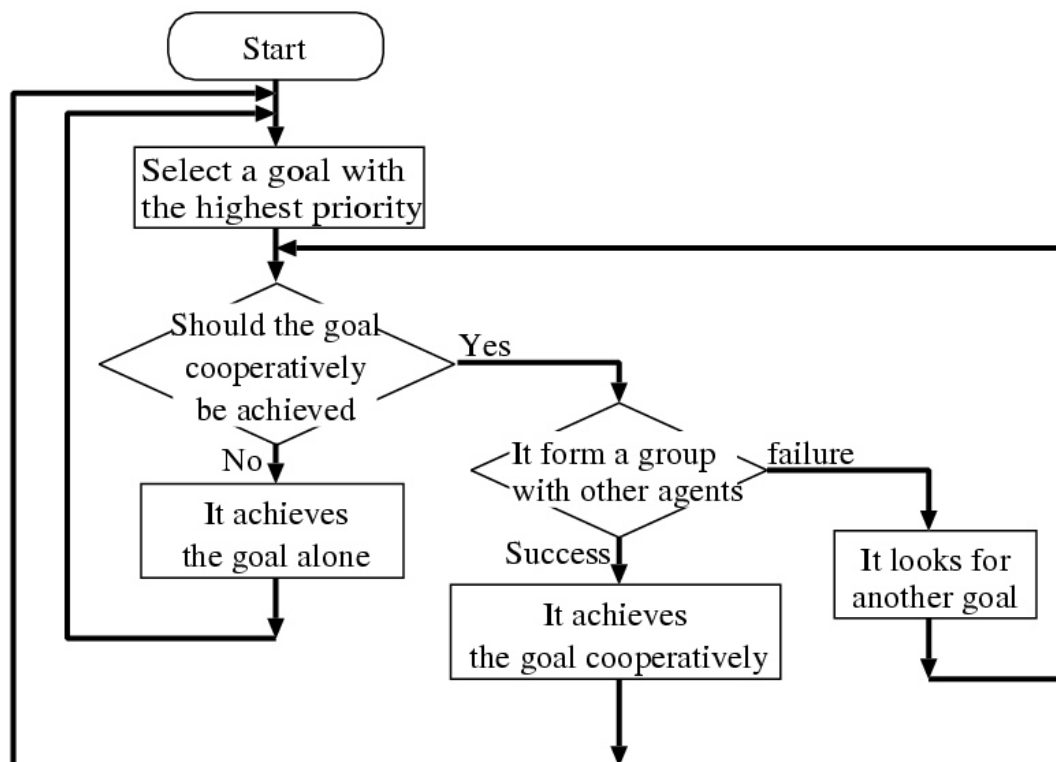


Abbildung 24: Ablauf des Group Forming – Prozesses

¹⁸ Vgl. MAHMOUDY, MIRARAB, HAKIMPOUR, AKHAVAN, 2003: Eternity's Team Description Robocup Rescue Simulation

¹⁹ Vgl. HONJI, FURUTA, ASAI, ITO, 2003: A Group Forming and Clustering Report for Rescue Agents

Literaturverzeichnis

- CASPER, 2002, Human Robot Interactions During The Robot Assisted Urban Search And Rescue Response At The World Trade Center
- HONJI, FURUTA, ASAI, ITO, 2003: A Group Forming and Clustering Report for Rescue Agents
- MAHMOUDY, MIRARAB, HAKIMIPOUR, AKHAVAN, 2003: Eternity's Team Description Robocup Rescue Simulation
- MURPHY, CASPER, MICIRE, 2001, S 343. Potential Tasks and Research Issues for Mobile Robots in RoboCup Rescue
- MURPHY, 2001: On the Second Anniversary of the Use of Rescue Robots at the 9/11/01 World Trade Center Attack

Internetquellen

- <http://www.geocities.com/jheyesjones/oldastar.html> (A*-Algorithmus)
- <http://www.dis.uniroma1.it/~locascio/publications/RoboCup-Iros03.pdf>
<http://www.informatik.uni-freiburg.de/~rescue/resq.pdf> (Team ResQ-Freiburg)
- <http://ne.cs.uec.ac.jp/~morimoto/rescue/manual/>
- <http://www.isd.mel.nist.gov/AmericanOpen2003/>, 2003 (offizielle Homepage des RoboCup Rescue 2003)
- <http://ais.gmd.de/de/pm/030411a.html>
- <http://www.informatik.uni-freiburg.de/~rescue/flyerRescue.doc> (Team ResQ-Freiburg)
- <http://www.informatik.uni-freiburg.de/~rescue/resq.pdf> (Team ResQ-Freiburg)
- http://www.ri.cmu.edu/projects/project_407.html (Robotics Institute der Carnegie Mellon University)
- www.iu-bremen.de/RoboCup (Team IUB RoboCup Rescue)
- <http://www.isd.mel.nist.gov/AmericanOpen2003/rules.htm> (Regeln des RoboCup Rescue)
- <http://crasar.csee.usf.edu/Press/> (CRASAR-Veröffentlichung aus dem Jahr 2002)