

KfK 4640
September 1989

Robotik in USA

Ein Reisebericht

T. Martin (Hrsg.)
Projekträgerschaft Fertigungstechnik

Kernforschungszentrum Karlsruhe

1912

1913

1914

1915

1916

1917

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Projektträgerschaft Fertigungstechnik

KfK 4640

Robotik in USA
- ein Reisebericht -

T. Martin (Hrsg.)

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

urn:nbn:de:hbz:5:1-63862-p0011-9 | https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5:1-63862-p0011-9 | https://www.ub.uni-karlsruhe.de/urn:nbn:de:hbz:5:1-63862-p0011-9

Zusammenfassung

Im Juni 1989 bereiste eine Gruppe von deutschen Wissenschaftlern Institutionen der Vereinigten Staaten, die sich mit Robotikforschung befassen, um sich einen umfassenden Überblick über den Stand in USA zu verschaffen. Der Bericht schildert die in zehn führenden Forschungsinstitutionen besichtigten Forschungsprojekte und die geführten Diskussionen.

Im Vordergrund stehen fortgeschrittene Handhabungssysteme - teilweise autonome mobile Systeme -, die den Menschen die Arbeit unter schwierigen Bedingungen oder an gefährlichen Arbeitsplätzen erleichtern oder abnehmen sollen. Die Amerikaner betreiben auf diesem Gebiet eine recht umfangreiche Forschung im vorwettbewerblichen Bereich, die überwiegend von der öffentlichen Hand (Militär und Raumfahrt) gefördert wird.

Robotics in USA, a travel report

Abstract

In June 1989, a group of German scientists visited institutions in the USA dealing with advanced robotics research, to gain a deeper insight in the American status of this technology. Research projects found and discussions led in ten leading research institutions are reported.

Advanced robot or handling systems to ease or avoid human exposure to activities in harsh, demanding or dangerous conditions are mainly dealt with. The Americans show quite extensive activities in this area in the precompetitive stage, mostly publicly funded by military or space agencies.

Vorwort

Vom 5. bis 16. Juni 1989 bereiste eine Gruppe von 24 Wissenschaftlern Institutionen der Vereinigten Staaten¹⁾, die sich mit Robotikforschung befassen, um sich einen umfassenden Überblick über den Stand dieser Forschungsrichtung in USA zu verschaffen.

Diese Studienreise stand im Rahmen internationaler Zusammenarbeit bei der Entwicklung fortgeschrittener Robotertechnik (im Sinne von Robotik, ein Begriff, der sowohl Industrieroboter-, als auch Handhabungstechnik umfaßt). Diese Zusammenarbeit unter dem Namen Advanced Robotics Project war von den Industrieländern auf dem Wirtschaftsgipfel in Versailles im Jahre 1982 beschlossen worden. Ihr Gegenstand sind fortgeschrittene Handhabungssysteme, die den Menschen die Arbeit unter schwierigen Bedingungen oder an gefährlichen Arbeitsplätzen erleichtern oder abnehmen (nicht dagegen Industrieroboter in der Produktion).

Dieser Bericht enthält die von den Reiseteilnehmern beschriebenen Beobachtungen und Eindrücke in den besuchten Institutionen. Er erhebt nicht den Anspruch, den Stand amerikanischer Robotikforschung vollständig zu beschreiben. Es gibt noch zahlreiche weitere Institute und Firmen, die ebenfalls Robotik betreiben und die wir nicht besuchen konnten. Jedoch glauben wir, eine repräsentative Auswahl besucht zu haben.

1) Namen und Adressen der Teilnehmer sind im Anhang zu finden, die Namen der besuchten zehn Institutionen sind aus dem Inhaltsverzeichnis ersichtlich.

Der Herausgeber hat die Studienreise in seiner Funktion als deutscher Koordinator des Advanced Robotics Project, die er im Auftrag des BMFT wahrnimmt, geplant und geleitet. Allen Teilnehmern und Autoren der Teilberichte sei an dieser Stelle für die schöne Zusammenarbeit gedankt.

Sehr herzlich danke ich unserem amerikanischen Partner bei der National Science Foundation, Washington, Norman Caplan, für seine Hilfe beim Durchführen der Reise.

Tomas Martin

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
● Zusammenfassung der Studienreise (C. Blume/M. Lawo)	5
Teilberichte über den Besuch folgender Institutionen:	
● M.I.T., Artificial Intelligence Laboratory (P. Adolphs/W. Paetsch)	9
● National Science Foundation (H. Breitwieser)	23
● National Institute for Standards and Technology (A. Hillenmeier)	29
● C.M.U., Robotics Institute (G. Struck)	43
● Martin Marietta Information & Communications Systems (G. Drunk)	57
● Naval Ocean Systems Center (G.F. Schultheiß)	69
● NASA Jet Propulsion Laboratory (K.-H. Münch)	83
● Stanford University, Robotics Laboratory (R. Dillmann)	103
● SRI International Inc. (D. Spee)	117
● UC Berkeley, Electronics Research Laboratory (K.-H. Wurst)	129
Anhang	143

Zusammenfassung der Studienreise

von C. Blume und M. Lawo, KfK

Die verschiedenen Stationen (Universitätsinstitute, Forschungsinstitute, Firmen) ermöglichten einen ausgezeichneten Überblick über die wichtigsten Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Robotik in den USA. Dadurch wird uns eine Einschätzung der amerikanischen Forschungsaktivitäten und -leistungen möglich.

Die derzeitigen Schwerpunkte bzw. Zielrichtungen, die sich als Gesamteindruck nach der Reise darstellen, lassen sich durch folgende Stichworte charakterisieren :

- Autonome und mobile Systeme unterschiedlichster Art
- Kombination von Teleoperation und Automatikbetrieb
- Programmierung und Planung auf der Aufgaben-Ebene
- Modellgestützte Systeme mit on-line-Anpassung
- Überwachung der Durchführung mittels Sensoren
(gilt für Sichtsysteme und Teleoperation)
- Kraftsteuerung bzw. der Einbezug der Kraft bei Regelung
- Neuronale Netze (noch ganz am Anfang)

Die vorwiegende Hardware-Struktur, auf der die Implementierungen erfolgten, besteht aus Workstations (z.B. SUN, für Software-Entwicklung und als Leitrechner), Ethernet-Verbindung, VME- oder auch MULTIBUS-Systeme (übergeordnete Steuerung) und den speziellen Steuerrechnern für eine oder mehrere Achsen.

Insgesamt werden neue, unkonventionelle und teilweise sehr pragmatisch ausgerichtete Lösungen für Probleme in der Robotik angestrebt. Dabei wird ein weites Feld unterschiedlichster Entwicklungen zugelassen, die allerdings stark ausgerichtet sind auf Weltraum- und Unterwasseranwendungen sowie den militärischen Bereich. Der Arbeitsstil ist projektorientiert und konzentriert sich auf das Lösen aktueller Probleme. Daraus resultiert eine zupackende Mentalität, die sich u.a. darin äußert, daß sich jeder bei Schwierigkeiten auch um "nebensächliche" Probleme kümmert, die nicht zum Forschungsthema gehören. Es zählt vor allem der "Effekt", das Erreichen des Resultats.

Es fiel auf, daß die besuchten Forschungseinrichtungen in der Regel eine umfangreiche und moderne Rechnerausstattung besaßen, die einen hohen Stand der Vernetzung aufwies. Die ganze Einrichtung und die Software-Werkzeuge waren vor allem an den Universitäten an Arbeiten zur Künstlichen Intelligenz orientiert.

In Bezug auf die Mechanik und Maschinenausstattung sowie den Grad der Entwicklung in den Ingenieurwissenschaften wirkten die Labors nicht so modern und vielfältig wie bundesrepublikanische Forschung in der Robotik. Es wird nicht so sehr bis zur industriellen Praxis fertig implementiert und auf gerätetechnische Vollständigkeit Wert gelegt. Vielmehr werden Hardwareentwicklungen nur insoweit betrieben, wie sie nach Meinung des Forschers zum Nachweis der Tauglichkeit eines neuen Ansatzes notwendig erscheinen. Im Vordergrund stehen neue Ideen und Wege für alte und neue Problemstellungen.

In diesem Zusammenhang fiel auch auf, daß wenig Arbeit an Standardisierungsvorhaben in der Robotik geleistet wird. Wesentlich ist was sich in der Praxis (genauer: wirtschaftlich) durchsetzt. Wenn überhaupt wird die Lösung eines Marktführers im Nachhinein zur Norm erhoben. Die sich in Europa abzeichnende Vorgehensweise der entwicklungsbegleitenden Normung wurde erst zur Kenntnis genommen.

Auffällig war die von der Bundesrepublik sehr unterschiedliche Form der Förderung. Die Universitäten erhalten eine Grundförderung von nur ca. 30%, der "Rest" muß über Projekte eingebracht werden. Manche Institute wie das SRI müssen sich sogar vollständig durch Aufträge finanzieren. Die Mittel kommen zum größten Teil aus Forschungsprogrammen des Militärs und der Raumfahrt. Dieses wirkt sich in der Anwendung und in den Forschungsthemen aus. Zu einem Thema werden von den Geldgebern an verschiedene Forschungseinrichtungen parallel Förderungen vergeben. Aufgrund eines wissenschaftlichen Wettbewerbs müssen sich die Lösungen durchsetzen. Es wird erwartet, daß nach einer gewissen Zeit Arbeiten vorgewiesen werden, die den Ruf der Forschungseinrichtung fördern und in der Fachwelt Anerkennung finden. So verzichtet die National Science Foundation auf eine Projektkontrolle in Form von Zwischen- oder Abschlußberichten, es reichen Veröffentlichungen in der Fachliteratur.

Forschung und Entwicklung sind in der Regel nicht in einer Hand. Der Anwendungsbezug wirkt teilweise etwas futuristisch und von der industriellen Praxis "abgehoben".

Das Verhalten der Industrie gegenüber den Universitäten ist der Förderungspraxis der großen staatlichen Geldgeber angepaßt. Sie ist bereit "freie" Spenden ohne Projektdefinition und -kontrolle zu leisten (MIT, CMU, ESRC). Der Vorteil für die Firmen liegt in dem direkten Kontakt zu den Forschern, dem vollen Zugriff auf ent-

wickelte Programme und Werkzeuge, der Information über Studenten (potentielle neue Mitarbeiter) und der Möglichkeit, eigene Mitarbeiter am Institut arbeiten und ausbilden zu lassen.

Im Vergleich mit der bundesrepublikanischen Forschung auf dem Gebiet der Robotik läßt sich sagen, daß wir in Bezug auf die industriellen Anwendung sehr gut abschneiden, daß aber neue Ideen und der informationstechnische Aspekt vielleicht noch stärker gefördert werden sollten.

Teilbericht
M.I.T., Artificial Intelligence Laboratory
von P. Adolphs und W. Paetsch

REISEBERICHT

(German Advanced Robotics Study Mission 1989)

Teilbericht über den Besuch am MIT (Boston)

Verfasser: Adolphs, P.; Paetsch, W.

TH Darmstadt

Institut für Regelungstechnik

Fachgebiet Regelsystemtheorie und Robotik

Schloßgraben 1

6100 Darmstadt

1. Name der Institution

Massachusetts Institute of Technology

Artificial Intelligence Laboratory

545 Technology Square

Cambridge, MA 02139 USA

Innerhalb des AI-Labs wurde die Robotics Group besucht.

2. Gesprächspartner

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

ARTIFICIAL
INTELLIGENCE
LABORATORY

Lukas Ruecker

Research Assistant, Robotics Group

lukas@wheaties.ai.mit.edu

545 Technology Square, Room 829, Cambridge, MA 02139 (617)253-8966

3. Entwicklungsthemen

Eine detailliertere Übersicht der Entwicklungsthemen ist in /1/,/2/ zu finden. An dieser Stelle sei lediglich eine grobe Übersicht aufgeführt. Das AI-Lab befaßt sich mit /1/ : "Robotics, vision, natural language, learning, reasoning and problem solving, deep expert systems, computeraided programming, supercomputing, basic theory".

Die besuchte Robotics Group befaßt sich hauptsächlich mit /1/: "...reliable locomotion; model-building; planning in the face of uncertainties; and refined, compliant manipulator control". Dabei will man dem Grundsatz folgen /1/, die Prinzipien zu untersuchen, die der intelligenten Verbindung von Wahrnehmung und Aktion zugrunde liegen.

4. Allgemeine Angaben

Zahl der "Studenten" (Bachelor, Master und Ph.D) am gesamten MIT : ca. 5000-6000

AI-Lab:

Personal: /1/ (Stand Juli 1988)

20 Professoren,

10 Akademischer Stab,

40 Forschungs- und Unterstützungspersonal,

107 Graduate Students (Studenten, die bereits den Bachelor Abschluß haben),

Finanzmittel:

Diese Angaben sind mit Vorsicht zu genießen, denn es sind Schätzungen unseres Gesprächspartners Lucas Rücker, der sagte, daß er keinen genauen Überblick über die fanzielle Gesamtsituation habe.

Gesamtmittel AI-Lab: ca. 10-12 Mio.\$ pro Jahr, davon stammen ca. 80-90% vom Verteidigungsministerium und der NASA. Darin sind auch sämtliche Personalmittel enthalten.

Kooperationen, Laborausstattung:

Man kooperiert mit etwa 30 Firmen und wissenschaftlichen Institutionen, darunter z.B. IBM, General Motors, General Dynamics, Siemens. Neben finanziellen Mitteln stellen diese Firmen häufig technische Geräte und Ausstattung kostenlos zur Verfügung. Das Robotics-Lab verfügt über mehrere unterschiedliche Manipulatorarme (ca. 10), worunter sich einige Eigenentwicklungen befinden. Als Rechnerbasis dienen meistens SUN und VME-Bus Systeme. Daneben verfügt man auch über einen Hochleistungsrechner, die "Connection Machine" (64000 parallel arbeitende 32-Bit-Prozessoren), von der weltweit momentan nur etwa 5-8 Stück existieren.

5. Präsentationen

Die Vorführungen der Robotics Group des AI-Labs waren in zwei Blöcke unterteilt. Zunächst wurden die einzelnen Arbeitsgebiete durch Herrn Rücker kurz anhand von Folien vorgestellt, wobei soweit möglich Videobeispiele gezeigt wurden. Daran schlossen sich Laborbesichtigungen an, bei denen die Hardware besichtigt werden konnte und zum Teil Demonstrationen gezeigt wurden. Im folgenden ist eine kurze Darstellung der präsentierten Arbeitsgebiete gegeben. Nähere Informationen darüber sind in /1/, /2/ zu finden.

5.1 Task-Level-Motor-Learning (Verantwortlich C. Atkinson)

Hier wurde ein interessantes Videobeispiel gezeigt, in welchem ein Roboterarm, ausgerüstet mit einer ca. 20cm großen quadratischen Platte, sowie einem extern angebrachten Bildverarbeitungssystem, in der Lage war, einen Tischtennisball schlagenderweise in der Luft zu halten. Dies geschah auf der Basis einer lernenden Regelung, wobei als Sensorgrößen die Daten der Bildverarbeitung und als Sollgrößen die Gelenkpositionen verwendet wurden. Die lernende Regelung war auf der "connection machine" realisiert, wobei ein "associative content adressable memory" (ACAM) implementiert war. Ab etwa fünf Lernzyklen war das System in der Lage, den Ball in der Luft zu halten.

5.2 Mobile Autonomous Robots (R. Brooks)

Vorgestellt wurden verschiedene mobile Geräte. Eines der wesentlichen Ziele hierbei ist die herkömmlichen oft stark synchron, sequentiell, hierarchisch und modellbasiert arbeitenden Systeme durch Ebenenstrukturen, die Verhalten repräsentieren aber stark asynchron und parallel arbeiten, zu ersetzen. Diese Strukturen sollen eine möglichst direkte und intelligente Verbindung zwischen Sensorsignalen und Motorik beinhalten und sich an Verhalten und nicht an Modellen orientieren. Hierbei ist man bereit, einen gewissen "trade-off" in Kauf zu nehmen, wenn es zum Beispiel gelingt mit 20% der Anstrengung 80% der Zielvorgabe zu erreichen, anstatt im Verhältnis 100% zu 100% zu arbeiten. Vorgeführt wurden im Video:

a) SQUIRT, ein ca. 5 x 5 x 5 cm großes, einmotoriges Gefährt, ausgerüstet mit Photozellen, Mikrofonen und Elektronik "on-board". Implementiert waren Verhaltensweisen, d.h. SQUIRT bewegte sich prinzipiell auf die dunkelste Stelle seiner Umgebung zu (im Beispiel unter einen Stuhl), wo er dann stehen blieb. Ertönte ein Pfeifton, bewegte sich SQUIRT für die Dauer des Tones auf den Pfeifton zu, kehrte ohne Pfeifton aber wieder unter seinen Stuhl zurück. Dabei

wurde kein Umgebungsmodell verwendet, sondern Aktionen aufgrund von Sensorsignalen durchgeführt, denen ein globales Verhalten überlagert war.

b) GHENGIS eine sechsbeinige Laufmaschine, ca. 30cm lang, 20 cm breit, 7cm hoch), die mit Wärmesensoren, Ultraschallsensoren und Gleichgewichtssensoren ausgestattet war, um zielorientiertes Verhalten zu untersuchen. Zielorientiertes Verhalten war z.B. Laufen (wobei Hindernisse soweit möglich überklettert werden z.B. ein Telefonbuch), oder sich von warmen Körpern wegbewegen. Zur Steuerung, Regelung sind hier 16 parallel arbeitende Mikroprozessoren verwendet worden. In der Ebenenstruktur sind dann z.B. drei Ebenen notwendig, um das Gerät prinzipiell lauffähig zu machen und eine Ebene, um zielorientiertes Verhalten (gehen) zu implementieren. GHENGIS wurde im Labor vorgeführt.

c) Als drittes Beispiel wurde im Video HERBERT vorgeführt, ein Büroroboter, der mit 24 parallel arbeitenden Prozessoren, sowie Laser Scanner, Ultraschall- und Infrarotsensoren ausgestattet, in der Lage ist Büchsen einzusammeln.

5.3 Stanford/JPL Hand (Salisbury)

Im Video gezeigt, sowie im Labor vorgeführt wurde die Stanford/JPL Hand, die zur Erhöhung von Beweglichkeit, Verwendbarkeit und Anpassungsfähigkeit von Robotersystemen eingesetzt wird. Schwerpunkte der Untersuchungen hierbei sind:

- kinematische Effekte zwischen Objekt und Fingerspitzen,
- Implementierung und Untersuchung von Reflexverhalten aufgrund von Sensorsignalen,
- Untersuchung und Realisation feiner Objektbewegungen,
- Zusammenwirken mit anderen Endeffektoren.

Im Labor gezeigt wurde das Detektieren und stabile Greifen eines zylinderförmigen Objektes.

5.4 Handy Robot System (T. Lozano-Perez)

Das im Video gezeigte und auch bei der Laborbesichtigung vorgeführte Handy Robot System, bestehend aus zwei PUMA-Armen, Videokameras, sowie Laser-Scannern, dient zur Untersuchung der Bewegungsplanung und Ausführung von kollisionsfreien, nachgiebigen Bewegungen und Greifoperationen auf der Ebene von "pick and place" Operationen bei denen zwei Arme zusammenarbeiten. Das System konnte Objekte in ihrer Lage lokalisieren, greifen, eine kollisionsfreie Bahn unter Berücksichtigung des anderen Armes planen und abfahren, sowie das Objekt gezielt abstellen. Die Planungsphase der kollisionsfreien Bahn ist allerdings mehrere Minuten lang (auf Sun Rechnern), was im Video und bei der Vorführung nicht zu sehen war.

5.5 MIT/UTAH Hand

Vorge stellt und lediglich im Video in Aktion gezeigt wurde die ursprünglich in Utah entwickelte Hand, die zur Untersuchung von Regelalgorithmen im Bereich antropomorpher Roboterhände verwendet wird. Im Video gezeigt wurde die sehr flexible Bewegung eines Bleistiftes durch die Hand. Schwerpunkte bei den Untersuchungen mit der MIT/Utah Hand sind:

- Teleoperation,
- Analyse und Verwendung verschiedener Sensoren,
- Sinnvolle Verwendung redundanter Freiheitsgrade.

Bislang stellte die grundsätzliche Regelung (Gelenkpositionen und Momente) dieses komplexen Apparates das Hauptproblem für algorithmische Anwendungen dar. Bei Teleoperation sind angeblich gute Nutzungsmöglichkeiten gegeben (dies wurde allerdings nichts vorgeführt).

5.6 Whole Arm Manipulator (Salisbury, Slotine)

Beim "whole arm manipulator" handelt es sich um einen am AI-Lab entwickelten, über Kabelzüge angetriebenen und deshalb sehr kompakten beweglichen Arm mit vier Freiheitsgraden, bei dem der Gesamtaufbau, speziell das letzte Glied, zur Manipulation herangezogen werden soll. Der Arm erreicht

etwa 10 m/s und kann mit 10-12g beschleunigt werden. Im Video gezeigt wurde das Verschieben eines Würfels auf einer Fläche, wobei ein (relativ) großflächiger Kontakt zwischen Arm und Objekt genutzt wurde. Untersucht werden mit diesem Arm auch adaptive Regelalgorithmen, wobei bis zu 40 Parameter geschätzt werden.

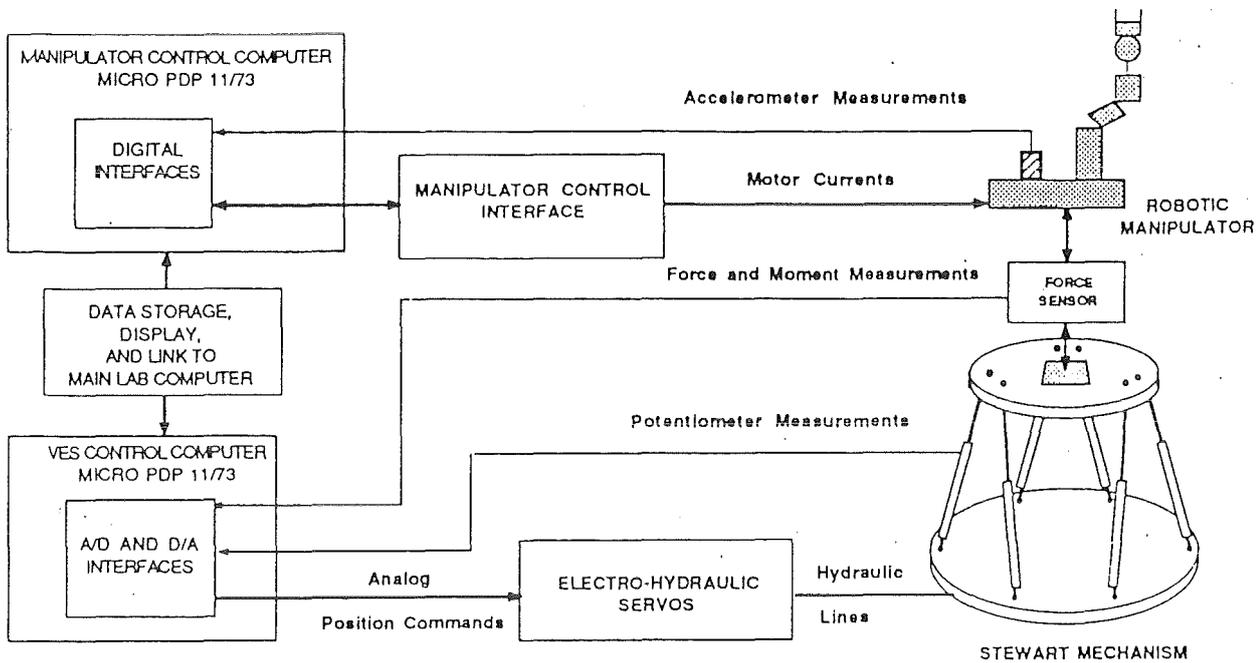
5.7 Manipulator Control

Hauptsächlich befaßt man sich hierbei mit der Regelung von flexiblen Armen, deren Problematik im wesentlichen durch die Motivation des Einsatzes in der Raumfahrt von Bedeutung ist. Ein Ziel ist z.B. den Endeffektor eines flexiblen Armes trotz der Schwingungen des Armaufbaus mit Hilfe dynamischer Kompensationen im Vorwärtszweig der Motoransteuerung ohne Sensorrückführung am Endeffektor, robust zu steuern. Ein Videobeispiel einer solchen Regelung wurde gegeben, im Labor wurde die Hardware lediglich besichtigt.

5.8 Legged Locomotion (M. Raibert)

Unter diesen Bereich fallen unter anderem Maschinen wie GHENGIS (s. 5.1), die wie bereits erwähnt auch vorgeführt wurde. Allgemein befaßt man sich in diesem Bereich mit der Untersuchung des Gehvorganges bei Robotern sowie auch bei Tieren. Dabei wird in Zusammenarbeit mit der Harvard University auch untersucht, wie das Geh- bzw. Laufverhalten von Tieren auf Roboter anzuwenden ist.

An die Laborbesichtigung der Robotics Group des AI-Labs fand abschließend eine kurze Vorführung am Departement of Mechanical Engineering statt. Dort führte Professor Harry West ein System vor, das als Testaufbau zur Untersuchung von Problemen, die auf Wirkungen von Reaktionskräften eines Systems auf seine Basis beruhen, dient. Die Struktur des Systems ist dem folgenden Bild /3/,/4/ zu entnehmen.



SCHMATIC DIAGRAM OF EXPERIMENTAL SYSTEM CONTROL

6. Ergebnisse der Diskussion

Eine Diskussion im eigentlichen Sinne fand nicht statt, sondern es wurden bei den Videovorführungen und hauptsächlich am Rande der Demonstrationen von deutscher Seite eine ganze Zahl von Detailfragen gestellt, so daß Ergebnisse einer allgemeinen Diskussion eigentlich nicht zu nennen sind.

7. Zusammenfassung

Beim Besuch der Robotics Group des AI-Labs am MIT wurde durch die relativ konzentrierten Präsentationen und Vorführungen ein breiter Überblick über die Aktivitäten der Robotics Group gegeben, deren Einzelheiten in den vorangegangenen Kapiteln erläutert wurden. Für weitere Informationen sei auf /1/, /2/ verwiesen.

Eine Wertung des Besuches ist kaum allgemeingültig vorzunehmen, da einerseits jeder Besucher das Präsentierte sicherlich aus einem für ihn typischen Blickwinkel betrachtet und andererseits eine Wertung als Maßstab den Vergleich mit anderen Universitäten und Institutionen benötigt. Insofern ist der folgende Versuch einer Wertung eine sehr subjektive Ansicht, die dem spezifischen Blickwinkel der Verfasser entspricht und von anderen Teilnehmern der Reise vielleicht nicht geteilt wird.

Der Besuch war einer der, wenn nicht der beeindruckenste der Reise. Neben der enormen Breite der Entwicklungen und der finanziellen und technischen Ausstattung, sowie der starken personellen Besetzung war besonders auffallend, daß viele Entwicklungen kaum durch die Absicht industrieller Applikation geprägt waren, und der Tatsache, daß dies bewußt geschah. Mit der Entwicklung von Hardwaredemonstrationen befaßt man sich am MIT, so der Eindruck, meistens nur so lange wie es zur Verifikation einer Idee, eines Ansatzes notwendig erscheint, ansonsten ist man sehr stark darauf aus Ideen und Wege zu entwickeln. Dabei geht ein recht starker Trend in Richtung "Artificial Intelligence". Die dortigen Arbeiten liegen auf einer Ebene, die mit Recht als "state of the art" bezeichnet werden darf. Als gutes Beispiel ist hier nach Meinung der Verfasser der Tennisball jonglierende Roboterarm zu sehen, der mit lernender Regelung auf der Basis eines Assoziativspeicheransatzes unter Einsatz der connection machine betrieben wurde. Dieses ist mit Sicherheit kein Applikationsbeispiel, aber es verdeutlicht stark eine Richtung, die man am MIT meint vorantreiben zu müssen. In diesem Sinne ist das AI-Lab des MIT in Bezug auf einige Bereiche der Grundlagenforschung - und hier besonders bei der Einführung und ersten Erprobung neuer Ansätze und Verfahren - auf dem Gebiet Robotics und AI eines der, wenn nicht das richtungsweisende Institut in den USA. In jedem Falle beeindruckte das MIT mit einer ganz enormen Leistungsstärke, deren Einordnung in ihrer Bedeutung aber jedem Besucher und Betrachter letzten Endes selbst überlassen bleibt.

Literatur:

- /1/ : Winston, H.
Artificial Intelligence Laboratory
Massachusetts Institute of Technology
July 1988
- /2/ : Literature Bibliography
Massachusetts Institute of Technologie, Dez. 1988,
Eine Kopie dieser Bibliographie wurde jedem Teil-
nehmer der Reise zugesandt.
- /3/ : Dubovsky, S. ; Paul, I. ; West, H. :
An Analytical and Experimental Program to Develop
Control Algorithms for Mobile Manipulators
Proceedings of RoManSy '88, Udine, Italy, 1988
- /4/ : West, H. ; Papadopoulos, E. ; Dubovsky, S. ; Cheah, H. :
A Method for Estimating The Mass Properties of a
Manipulator by Measuring the Reaction Moments at Its
Base; Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and
Automation, Scottsdale, Arizona, 1989.

Teilbericht
National Science Foundation
von H. Breitwieser

1. Name der besuchten Institution

National Science Foundation (NSF)
1800 G Street, N.W.
Washington, D.C. 20550
Tel. (202) 357 - 1

2. Gesprächspartner

Norman Kaplan
Director of Office of
Engineering Infrastructure Development

3. Entwicklungsthemen der Institution

Förderung der Forschung und Ausbildung in Natur- und
Ingenieurwissenschaften (basic science & engineering) in den U.S.A.

4. Allgemeine Angaben

NSF ist eine agency der US-Bundesregierung und arbeitet ausschließlich mit Steuergeldern. Gründungsjahr ist 1950. NSF betreibt selber keine Forschung sondern erstellt in Zusammenarbeit mit verschiedenen einschlägigen Organisationen strategische Forschungsförderungsprogramme mit dem Ziel, die USA weltweit wettbewerbsfähig zu erhalten/machen.

Im Rahmen der diversen Förderungsprogramme werden nichtmilitärische Forschungsvorhaben von non-Profit Organisationen, d. h. im wesentlichen Universitäten gefördert.

Neuerdings wird der Versuch unternommen, mit dem "Small Business Innovation Research" Programm SBIR /4, 5/ innovative Forschung im mittelständigen privaten Bereich (Unternehmen mit typisch 500 Angestellten) und Transfer sowie Umsetzung hochwertiger Technologie zu fördern (Etat ca. 1 % vom Gesamt-NSF-Etat).

NSF beschäftigt 1140 Mitarbeiter. 72 advisory groups und 5000 externe reviewer bearbeiten jährlich ca. 200 000 Anträge. Die Bearbeitungsdauer eines Antrags beträgt ca. 6 Monate. Die Förderungsdauer erstreckt sich in der Regel auf 3 Jahre. Mittel können für Personal, Laborausstattung, Dienstreisen usw. gewährt werden. Eine typische Größenordnung ist \$ 75 000/a. Als Ergebnisse zählen Veröffentlichungen in der professionellen Fachliteratur. Zwischen- und Abschlußreports sind nicht üblich. Der Gesamtetat 1989 beträgt 2, 050 Mrd. \$.

Die Aufteilung ist

Mathematical and Physical Sciences	25 %		
Biological, Behavioral and Social Sciences	15 %		
Computer, Information Science and Engineering	8 %	absolut	149 Mio \$,
davon			
"Information, Robotics, and Intelligent Systems"			20 Mio \$
Engineering	10 %	absolut	194 Mio \$
davon			
CAM/CIM			18 Mio \$
Mechanics, Structures, and Materials Engineering			29 Mio \$

5. Präsentationen

Robotics Aktivitäten werden innerhalb verschiedener Sparten,

- Information, Robotics and Intelligent Systems
- Electrical, Communications and Systems Engineering
- Dynamic Systems and Control Program

gefördert. Zu diesen gaben die zuständigen Direktoren Y.T. Chien, F.L. Huband und Dr. E. Marsh Übersichtsvorträge. Robotics im engeren Sinne ist der Sparte von Y.T. Chien zuzuordnen, wobei Robotics allerdings eine von 5 Untersparten darstellt. Schwerpunkte im Robotics-Bereich sind Speech Recognition, Image Understanding, Pattern Analysis, model representation, Robotic Perception, Robotic Reasoning [2]. F.L. Huband hob u. a. als neuere Förderungsobjekte Sensortechnik insbesondere μ -Sensoren und μ -Aktuatoren (als mögliches Anwendungsgebiet gilt die Medizin) hervor. Beiträge werden auf der Konferenz Transducers 89, 5th International Conf. on Solid State Sensors and Actuators & Eurosensor III, 25. - 30.06.1989, Montreux, CH präsentiert. Dr. Marsh fördert Projekte zur Roboter Modellierung, Regelungstechnik und kinematische Strukturen im Bereich Robotics [3].

6. Ergebnisse der Diskussion

Es gibt keine bilateralen Regierungsprogramme BRD/USA mit dem Ziel wissenschaftlicher Kooperation wie z. B. Japan/USA, die von NSF gefördert werden können. Dagegen können Reisemittel für die US-Seite gewährt werden, wenn eine Kooperation einer US-Universität mit einer deutschen Institution vorliegt.

NSF fördert 25 % der Universitätsforschung im Gebiet AI/Robotics (der Rest kommt im wesentlichen von DOD und NASA).

NSF fördert keine Standardisierungsarbeiten.

7. Zusammenfassung

NSF entspricht in etwa der DFG. Der Förderungsetat der DFG 1986 belief sich auf 1.029 Mrd DM. Allerdings werden auch Geistes, Sozial- und Medizin-Wissenschaften gefördert. Der Anteil für Ingenieur- und Naturwissenschaften war 1986 ca. 468 Mio (inkl. Sonderforschungsbereiche).

Man gewinnt den Eindruck, daß versucht wird, den bürokratischen Aufwand möglichst gering zu halten. Übrigens ist im Erdgeschloß 1800 G Street ein Bankinstitut untergebracht.

8. Unterlagen

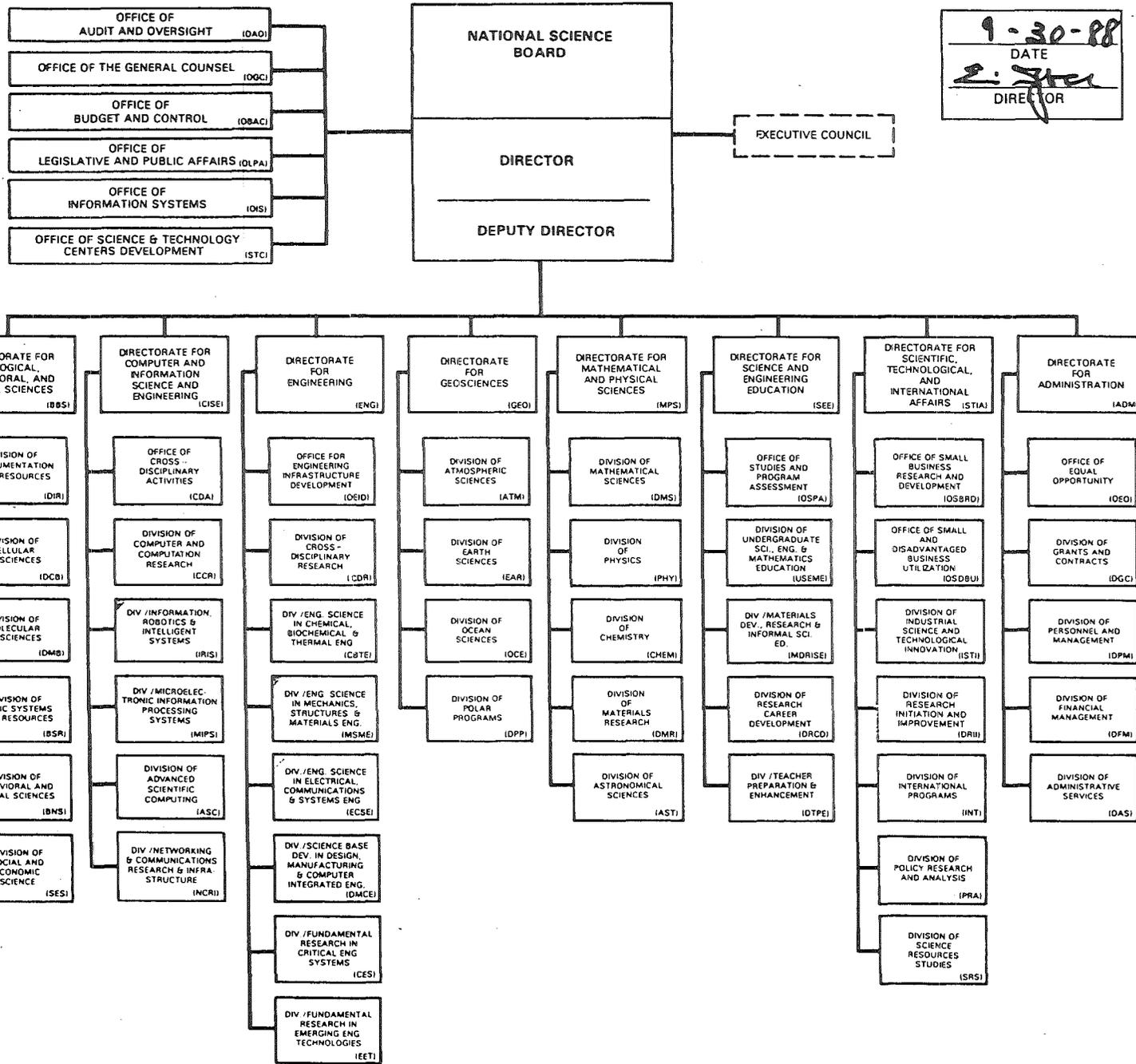
- |1| Guide to Programs, Fiscal Year 1989, NSF
- |2| Summary of Awards, Fiscal Year 1988,
Division of Information, Robotics and Intelligent Systems, NSF
- |3| Research Needs in Dynamic Systems and Control,
Vol. 4, Machine Dynamics,
A.H. Soni (Ed.), The American Society of Mechanical Engineers, April 1988
- |4| Small Business Innovation Research (SBIR),
Program Solicitation, NSF, June 1989
- |5| SBIR, NSF Small Business Innovation Research Program,
Abstracts of Phase I Awards, 1988
- |6| Ocean Engineering and Technology at the NSF,
A Joint Announcement, Directorate for Engineering and Directorate for
Geosciences, NSF 88-125
- |6| Engineering Research Equipment Grants, Directorate for Engineering, NSF
87-68
- |7| Research Initiation Awards, Directorate for Engineering and Directorate for
Computer and Information Science and Engineering, NSF 88-99
- |8| Research Opportunities for Women, NSF 87-56
- |9| Grants for Research and Education in Science and Engineering 83-57, March
1989

9. Berichte

Helmut Breitwieser, KfK Karlsruhe

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

9-30-88
DATE
E. J. Steyer
DIRECTOR



Teilbericht
National Institute for Standards and Technology
von A. Hillenmeier

Bericht über den Besuch des
National Institute of Standards and Technology
NIST
am 07.06.1989

Berichter: Dipl.-Ing. A. Hillenmeier
TH Darmstadt, Inst. für Elektromechanische Konstruktionen

1 Name der Institution

U.S. Department of Commerce
National Institute of Standards and Technology
(ehemals National Bureau of Standards)
Gaithersburg, MD 20899

2 Gesprächspartner

Dr. John A. Simpson	Director
	Center for Manufacturing Engineering
James S. Albus, Ph.D.	Chief Robot Systems Division
	Center for Manufacturing Engineering

3 Entwicklungsthemen

Die Entwicklungsthemen, der von uns besuchten Robot Systems Division lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Theorien über intelligente Maschinen

- Technologie
 - Sensor- und Kontrollsysteme
 - Welt-Modell-Bildung
 - Wissenswiedergabe
 - Mobilität und Navigation
 - Mensch-Maschine-Schnittstelle

- Applikationen
 - Manufacturing
 - Telerobotik
 - autonome Fahrzeuge

- Standardisierung
 - Interfaces
 - Architektur

Forschungsergebnisse aus diesen Bereichen sollen in Zukunft unter anderem eine automatische flexible Fertigung ermöglichen.

4 Allgemeine Angaben

Das National Engineering Laboratory (NEL) stellt einen Teil des NIST dar und befaßt sich im besonderen mit Anwendungen und Standardisierungen aus dem technischen Bereich.

Es ist in sechs Gebiete untergliedert:

- applied mathematics and computer science and engineering
- electronics and electrical engineering
- manufacturing engineering
- building technology
- fire research
- chemical engineering.

Das von uns besuchte Center for Manufacturing Engineering ist in fünf Teilbereiche aufgespalten:

- precision engineering
- robot systems
- factory automation systems
- fabrication technology
- automated production technology.

Der Schwerpunkt der Präsentation lag auf Projekten der Robot Systems Division.

Die Anzahl der Beschäftigten in der Lokation Gaithersburg, Maryland liegt bei ca. 2000, wobei 39 Ingenieure und Computerspezialisten auf den Bereich Robot Systems entfallen.

Das Finanzvolumen des Center for Manufacturing Engineering wird auf jährlich 50 Millionen US\$ beziffert.

Hauptaufgabe des NIST ist die Unterstützung der Industrie durch Bereitstellung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen z. B. aus Bereichen, die Schlüsseltechnologien darstellen. Dies geschieht durch die Lösung spezieller Probleme mit Hilfe von Industriemitarbeitern am NIST, durch die Bereitstellung hochwertiger Werkzeuge (z. B. CAD/CAM) und die Einrichtung von Trainingszentren.

Es wird versucht, die Wünsche und Forderungen von Industrieunternehmen weitgehend in die Produkte einfließen zu lassen. Das NIST arbeitet mit vielen Industrieunternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten in den USA zusammen. Die minimale Zeit, in der ein Forschungsvorhaben durchgeführt wird, beträgt drei Jahre.

Die Ausstattung der Labors muß als großzügig bezeichnet werden. Der Bereich Robot Systems verfügt über mehrere VME-Bus-Computer-Systeme (u. a. mehrere IRONICS), 2 IRONICS-Entwicklungssysteme, pSOS-Echtzeit-Betriebssystem, VxWorks-Software, UNIX-Betriebssystem, Compiler der Programmiersprachen "C", "Pascal" und "ADA", 1 VAX 11/785 System, Micro-VAX Computer, 18 SUN-Workstations einschließlich Peripherie, 1 Robotics Research Corp. Roboter, 2 Puma 760, 1 Puma 560, 1 Laserabstandsmeßsystem und 2 Silicon Graphics IRIS Workstations.

Zur Bildverarbeitung steht eine Pipelined Image Processing Engine (PIPE) der Firma Aspek, Inc. mit Interface für SUN Workstation und IBM PC zur Verfügung.

Der Wert der Laboreinrichtungen wird auf ca. 3,3 Millionen US\$ veranschlagt.

5 Präsentationen

Automated Manufacturing Research Facility (AMRF)

Grundlage dieses Forschungsprojektes ist eine hierarchische System-Kontroll-Architektur für Roboter, die vom NIST entwickelt wurde. Sie stellt ein modular aufgebautes, hierarchisch strukturiertes Netzwerk von Prozessoren dar, die über einen gemeinsamen Speicher kommunizieren.

Am NIST soll durch den Aufbau einer "Fabrik der Zukunft" mit einer Verknüpfung aller Maschinen die Anwendbarkeit solcher Ansätze verifiziert werden. Zwei Einheiten dieser Produktionslinie wurden uns vorgestellt. Es handelte sich um eine AMRF Horizontal Workstation sowie um ein Reinigungs- und Entgratungs-Zentrum (Abb. 1), bestehend aus 2 Robotern und einer Einspannvorrichtung. Die Roboter sind mit Kraftsensoren auf der Basis von Dehnungsmeßstreifen ausgestattet. Durch eine flexible Verteilung der aktuellen Aufgaben an die Roboter innerhalb der Reinigungs- und Entgratungsstation können die Wartezeiten drastisch minimiert werden.

Abb. 2 stellt die Kontrollsystem-Struktur dar.

Das Finanzvolumen, das dem Center for Manufacturing für dieses Projekt zur Verfügung gestellt wird, beträgt jährlich 12 Millionen US\$.

NASA Standard Reference Model Architecture (NASREM)

In Zusammenarbeit mit dem NASA Goddard Space Center soll im Rahmen dieses Projektes eine Kontrollstruktur für in Raumstationen eingesetzte Telemanipulatoren erarbeitet werden. Ziel ist hierbei die Montage komplexer Strukturen im Weltraum (Abb. 3). Die Forschungsergebnisse des NIST stellen die Grundlage für die NASA/NIST Standard Referene Model Architecture (NASREM) dar (vgl. Abb. 4/5).

Multiple Autonomous Undersea Vehicles (MAUV)

Seit 1986 wird von der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) ein Programm finanziert, das sich mit der Demonstration der Fähigkeiten von kommunizierenden autonomen Unterwasserfahrzeugen befaßt. In Abb. 6 ist ein MAUV Forschungs-Fahrzeug dargestellt. Das Projekt umfaßt sowohl die Entwicklung der Unterwasserfahrzeuge, Sensoren und Kommunikationseinrichtungen, als auch einer Kontroll- und Steuerungsstruktur, die ein interaktives Zusammenwirken der einzelnen Fahrzeuge ermöglicht. Dabei sind Untersuchungen in den Bereichen Weltmodellbildung, Sensorsignalverarbeitung und Planungstheorien von Bedeutung. Abb. 7 demonstriert ein mögliches Szenario.

Das Projekt wurde im Jahre 1988 mit mehr als 4 Millionen US\$ finanziert.

Darüber hinaus wird an der Entwicklung von autonomen Amphibienfahrzeugen gearbeitet. Eine Studie zu einem solchen Fahrzeug ist in Abb. 8 skizziert.

Robot Crane

Im Rahmen der Laborbesichtigung wurde eine besondere Art der Aufhängung von schweren Lasten demonstriert. Es handelt sich hierbei um eine Aufhängung an 6 Seilen. Durch die besondere Abspannung mittels der Seile ist das Objekt auch während Bewegungsvorgängen des Gesamtsystems genau fixiert. Fehler bzw. Objektbewegungen sind nur dann zu beobachten, wenn Dehnungen in den Halteseilen auftreten und sich dadurch die Geometrie der Aufhängung ändert. Angestrebt ist hierbei eine Erfassung der Dehnung in den Halteseilen und eine aktive Stabilisierung.

Anwendung sind im Bereich des Schwermaschinenbaus (z. B. Schiffbau) zu suchen.

Roboter Test Einrichtung

Seit 1988 arbeitet die Robot Systems Division an einer Meßapparatur zur Erfassung der Positioniergenauigkeiten und zur Kalibrierung von Industrierobotern. Das demonstrierte Meßverfahren arbeitete nach dem Prinzip der Lasertriangulation, wobei der Laser ortsfest montiert und die Reflexionseinheit (Tripelspiegel) in diesem Falle am Handgelenk eines Roboters angebracht war.

Die Lasertriangulationseinheit ist ein NIST Produkt und besitzt innerhalb eines Arbeitsbereiches von ca. 2.5 Metern eine Genauigkeit von 1/1000 Inch. Der maximale Arbeitsbereich beträgt 200 feet bei eingeschränkter Genauigkeit. In einem weiteren Schritt ist daran gedacht, die gewonnenen Daten in die Robotersteuerung einzuspeisen.

Technology-based Enhancement for Autonomous Machines (TEAM)

Im Auftrag des U.S. Army Human Engineering Laboratory wird im Bereich Manufacturing Engineering an der Realisation von autonomen Landfahrzeugen gearbeitet. Grundgedanke ist hierbei, daß das Fahrzeug ferngesteuert über im Fahrzeug installierte Kamerasysteme an das Ziel herangeführt wird aber selbständig nach vollendeter Mission zum Ausgangsort zurückkehrt. Das TEAM-Konzept ist in Abb. 9 illustriert.

Real Time Image Processing

Um die im TEAM-Projekt angesprochenen Aufgaben befriedigend lösen zu können, bedarf es einer leistungsfähigen Objekterkennung, die in Echtzeit arbeitet. Das vom NIST vorgestellte Verfahren benutzt hierzu das Prinzip des "Optical Flow". Das heißt dunkle Objekte werden als nah definiert, helle Objekte als weiter entfernt. Entsprechende Filter verstärken den Effekt. Die Auflösung des Systems wurde mit 3 % des Aufnahmebereiches angegeben. Bei der verwendeten Hardware handelt es sich um eine "Pipelined Image Processing Engine" (PIPE) der Firma Aspek, Inc. Sie ermöglicht eine Bildauswertung von 30 Bildern/Sek. Die Funktionsfähigkeit wurde anhand der Bahnverfolgung eines rollenden Balles demonstriert.

6 Ergebnisse der Diskussion / Zusammenfassung

Von Seiten der deutschen Delegation berichtete Herr Dipl.-Ing. Drunk über die Aktivitäten am IPA im Bereich autonomer Fahrzeuge, Herr Prof. Dr.-Ing. Dillmann über Forschungen im Bereich Robotik an der Universität Karlsruhe sowie europäische Verbundprojekte und Herr Dr. rer. nat. Blume (KFK) über Standardisierungsbemühungen in Europa.

Das besondere Interesse der Gastgeber galt der Zusammenarbeit innerhalb Europas und hierbei schwerpunktmäßig dem Bereich der Standardisierung.

Auch am National Institute for Standardisation and Technology zeigte sich die Abhängigkeit der Forschungseinrichtungen in den USA von militärischen Geldgebern. Fast alle der angesprochenen Projekte wurden und werden von militärischen Auftraggebern finanziert.

Der Technologietransfer – die Hauptaufgabe des NIST – ist nach Aussage von Herrn Dr. Simpson vom NIST zu Hochtechnologiefirmen äußerst effektiv. Die Zusammenarbeit und vor allem der Informationsfluß zu Betrieben und Industriezweigen, die keine Hochtechnologie betreiben, kann im Gegensatz dazu nicht als erfolgreich bezeichnet werden.

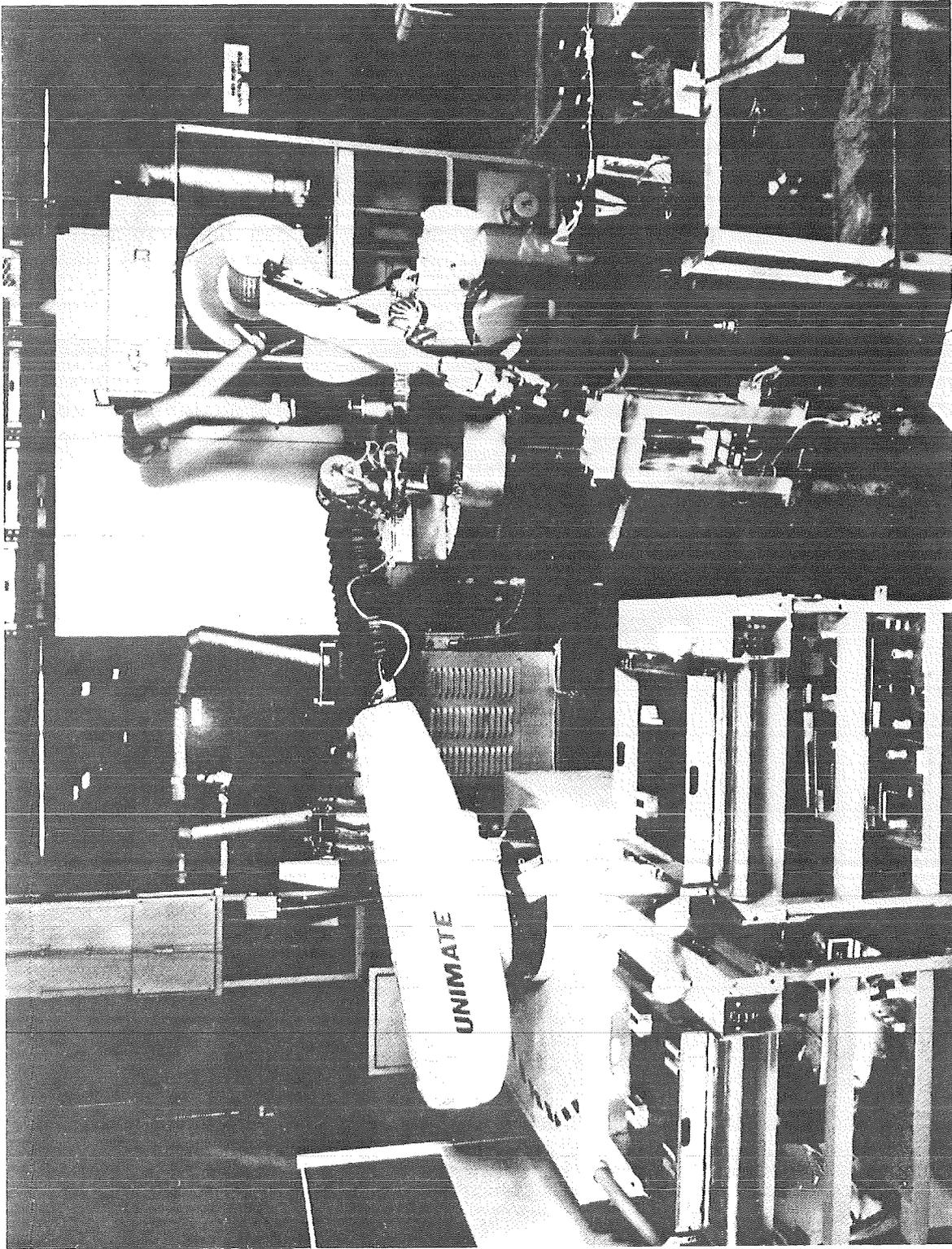


Abb. 1: Reinigungs- und Entgratungszentrum

Computational Hierarchy

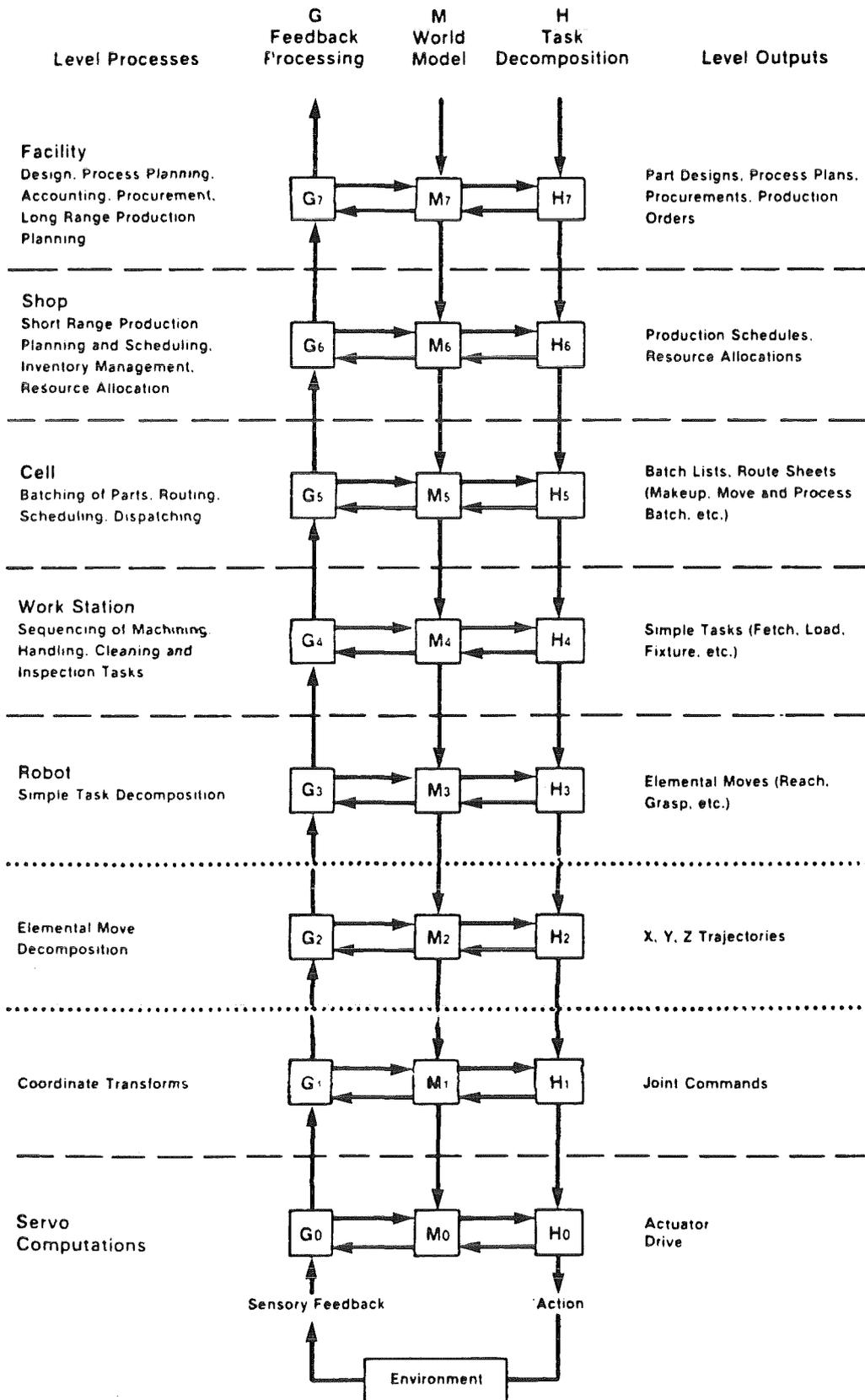


Abb. 2: Kontrollsystem-Struktur
Automated Manufacturing Research Facility (AMRF)

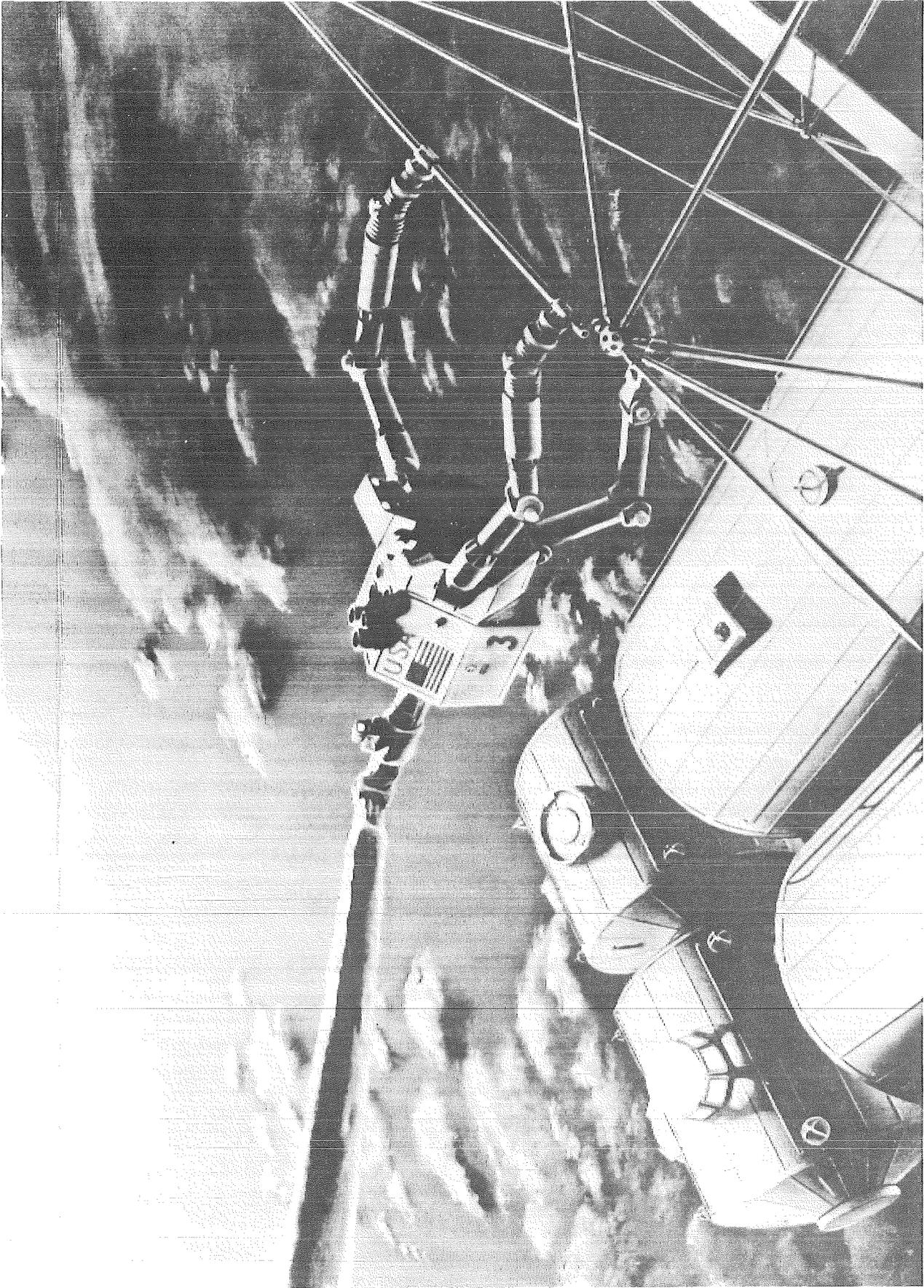


Abb. 3: Montage komplexer Strukturen im Weltraum

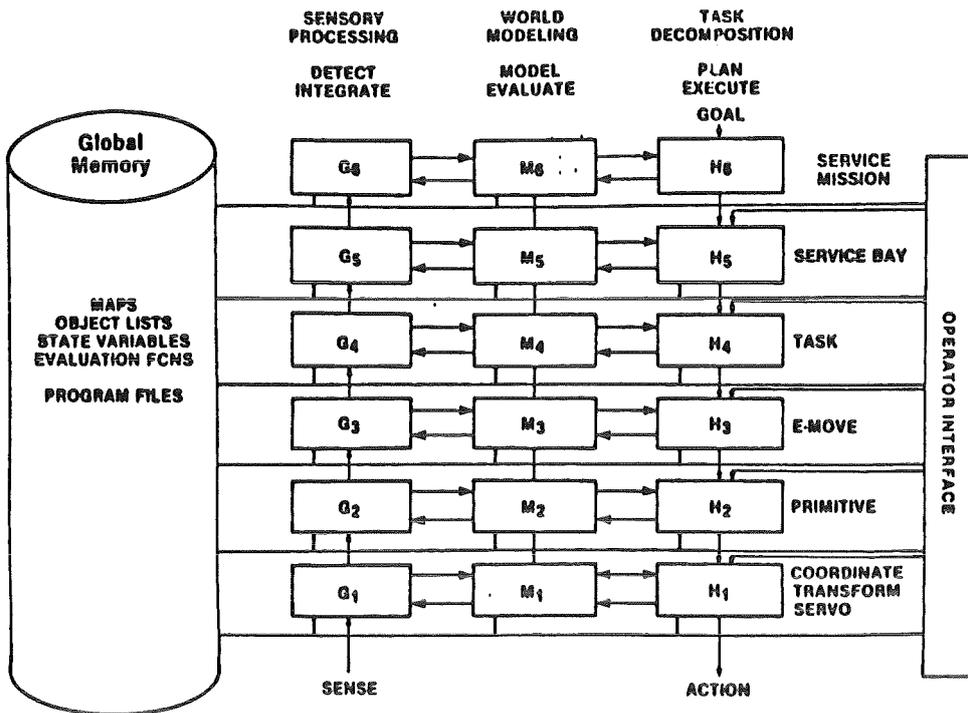


Abb. 4: NASREM Telerobot Control Architecture

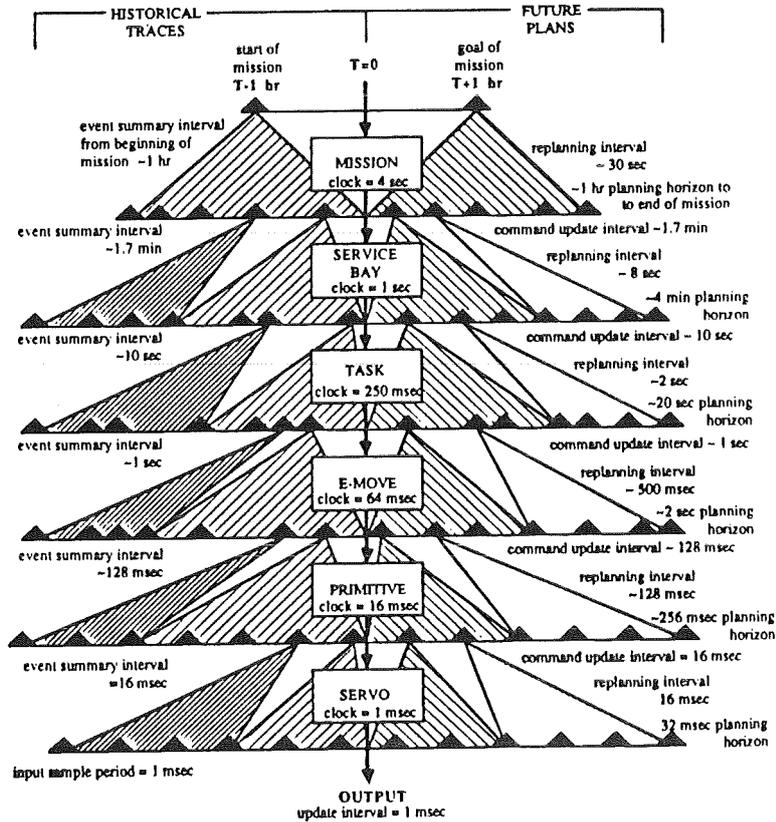


Abb. 5: NASREM Timing Diagram

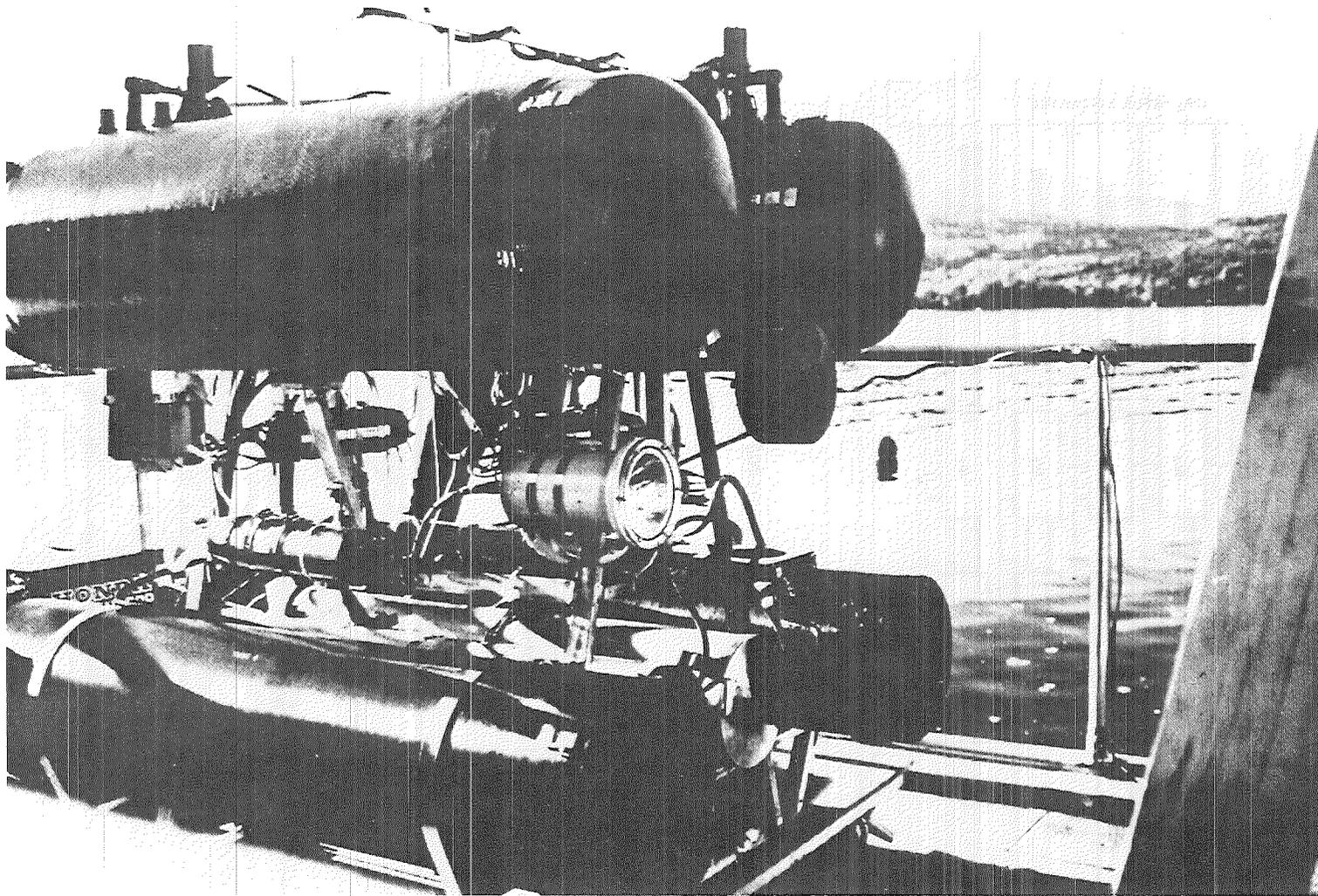


Abb. 6: Unterwasser-Forschungs-Fahrzeug
Multiple Autonomous Undersea Vehicles (MAUV)

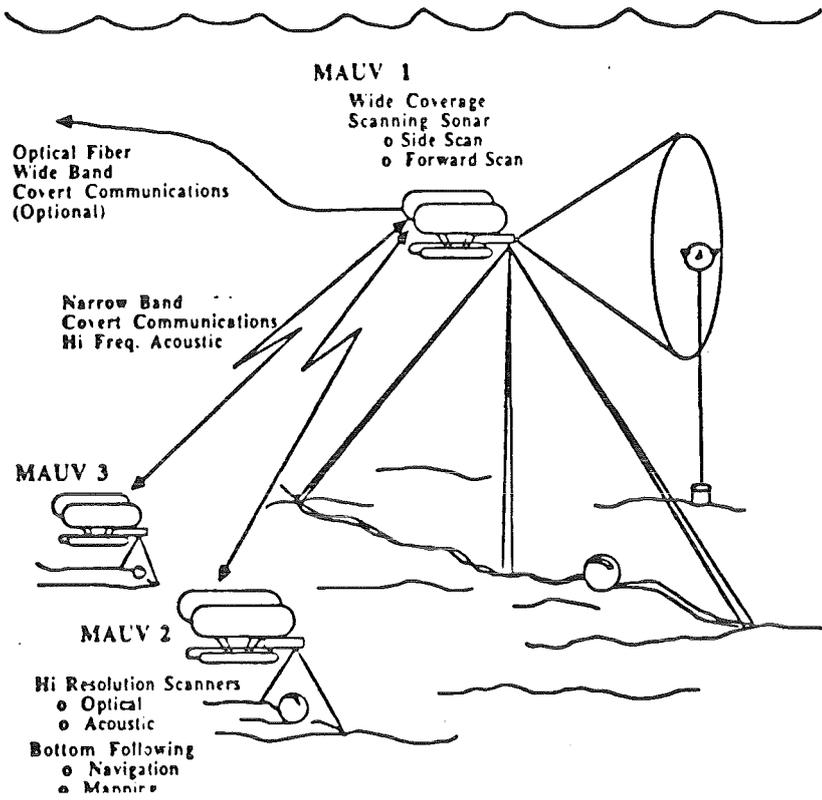


Abb. 7: MAUV Scenario

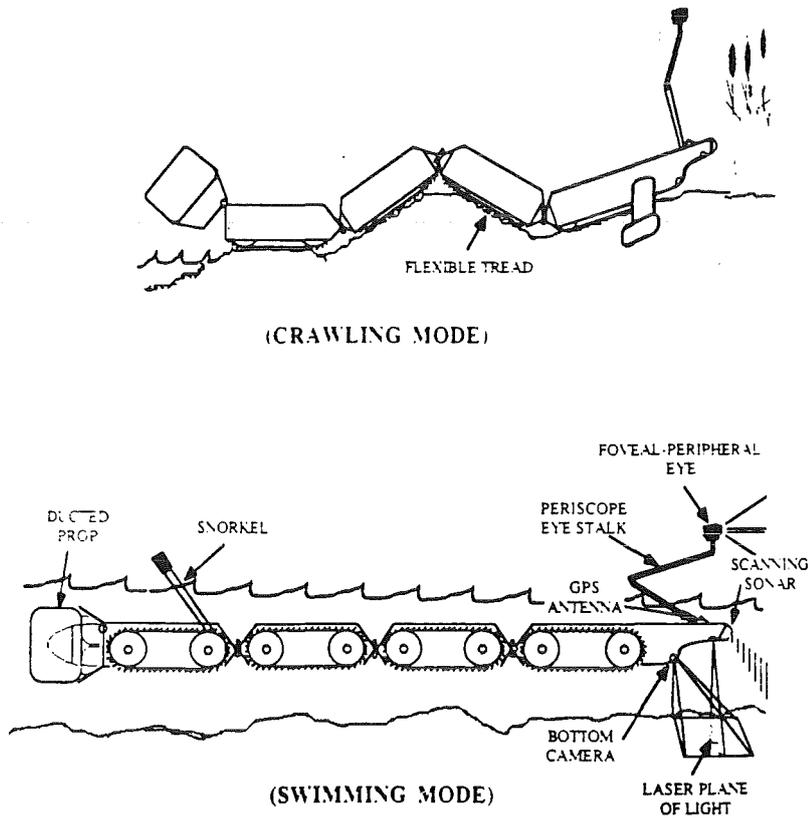


Abb. 8: Amphibious Autonomous Vehicle

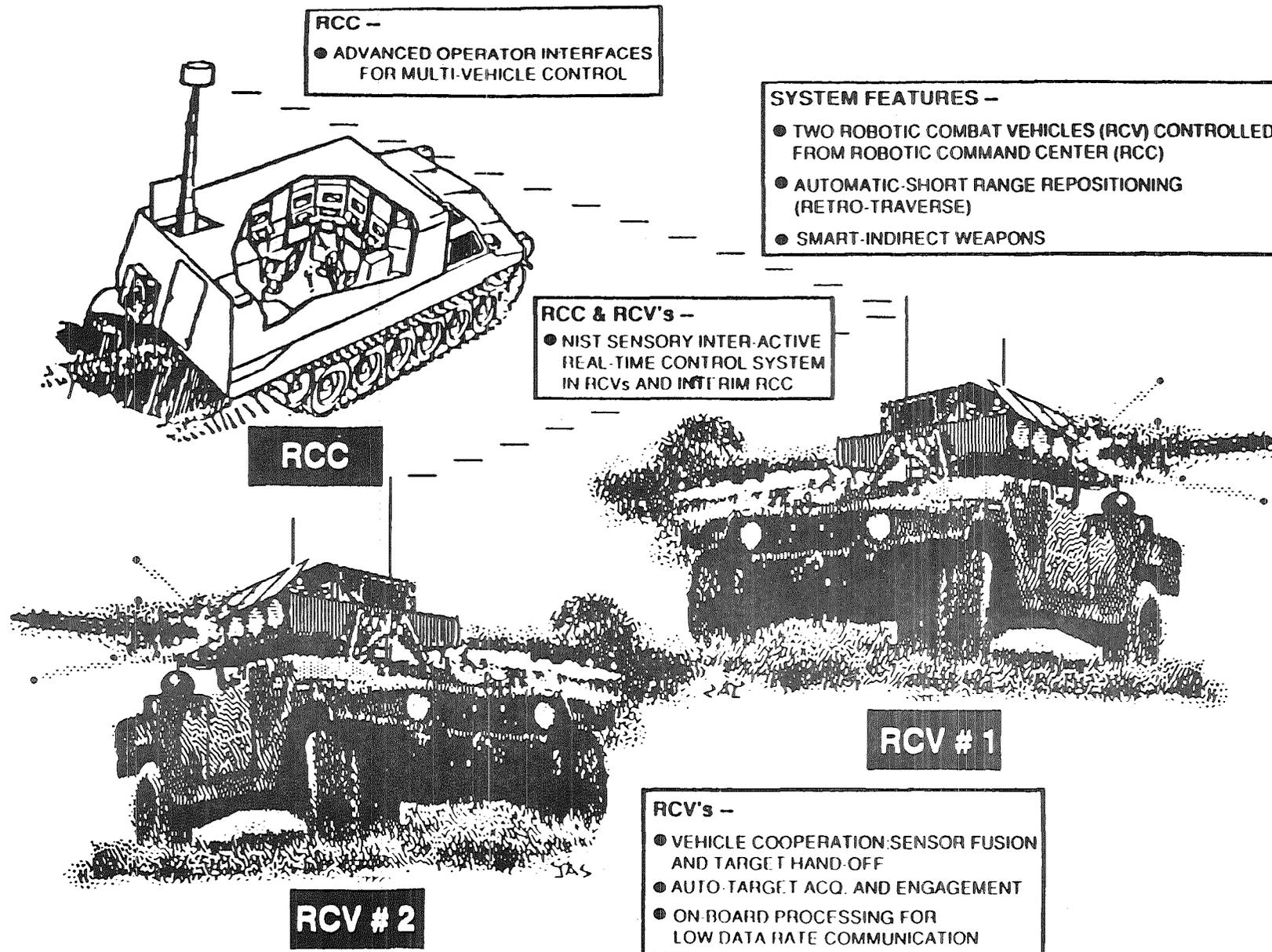


Abb. 9: Technology-based Enhancement for Autonomous Machines (TEAM) Scenario

Teilbericht
C.M.U., Robotics Institute
von G. Struck

1. Name der Institution

The Robotics Institute,
Carnegie Mellon University, (CMU)
Pittsburgh, Pennsylvania 15213

2. Gesprächspartner

- Prof. Takeo Kanade, Co-Direktor des "Robotics Institute", Tel. 412 268 3016
- Dr. William L. Whittacker, Leiter des "Field Robotics Center", Tel. 412 268 6559

3. Entwicklungsthemen

Als große interdisziplinäre Forschungsorganisation ist das "Robotics Institute" der CMU auf vielen Gebieten tätig, die als Teil des Arbeitsfeldes Robotik angesehen werden. Dazu gehören

- die Basistechnologien der Robotik:
 - Robotersteuerungen bes. für direkt angetriebene Manipulatoren
 - Planung
 - Bildinterpretation für Fernsehbilder und Abstandsbilder
 - Rechnersysteme
- Automatisierung und Rechnergestützte Fertigung (CIM)
- Robotik in gefährlicher Umgebung
- autonom mobile Roboter
- Dienstleistungsroboter.

3.1 Größere Projekte

Derzeit werden die folgenden großen, abteilungsübergreifenden Projekte bearbeitet:

– "CIM for Small Manufacturers"

In diesem Projekt werden im Staat Pennsylvania ansässige, kleinere Firmen im Bereich Fertigungsautomatisierung beraten, so daß sie neuere, fortschrittliche Technologien kennenlernen, bewerten und ggf. einsetzen können. Mit Unterstützung des Instituts soll dann in den Betrieben ein angepaßtes Maß an rechnergestützter Fertigung, Robotertechnik und Expertensystemtechnik zur Stärkung ihrer Position im

Wettbewerb eingesetzt werden.

- "Planetary Rover"

Dies ist ein Forschungsprogramm zur Entwicklung eines Prototypen einer autonomen intelligenten Maschine, die für zukünftig mögliche Erforschung von Planeten und Monden eingesetzt werden kann. Hauptaufgaben sind dabei die Beobachtung und die Aufnahme von repräsentativem Material und seine Rücksendung zur Erde. Derartige Missionen können mehrere Jahre dauern, in denen der "Rover" mehrere hundert Kilometer zurücklegt. Konkretes Ziel ist ein "Mars-Rover", der aufgrund der Entfernung zur Erde nicht ferngesteuert, sondern selbständig agieren muß. Als besonders kritisch werden u.a. die robuste Navigation in rauher Umgebung, die Fortbewegung, die Wahrnehmung der Umgebung, ein Eigenbewußtsein, die Sicherheitsvorrichtungen und die Systemintegration angesehen, wobei aber z.B. der Aspekt ggf. fehlender Prozessoren, die für den Weltraum geeignet sind, außer acht gelassen wird. Das Projekt ist nach den folgenden drei Schwerpunkten organisiert:

- Als Kinematik (genannt "Ambler", Autonomous Mobile Exploration Robot) wird eine sechsbeinige Struktur entwickelt, wovon bereits ein Bein als Prototyp fertiggestellt ist. In den beiden folgenden Bildern ist eine Skizze der Kinematik mit Größenangaben dargestellt. Unmittelbar vor unserer Ankunft ist eine Entscheidung zugunsten einer etwas geänderten Kinematik gefallen, wovon aber noch keine Abbildungen verfügbar sind.
- Zur Umweltwahrnehmung sollen verschiedenartige Sensoren (Laserabstandssensoren, Farbkameras, Inertialsensoren, taktile Sensoren) eingesetzt werden, um eine Karte unterschiedlicher Auflösung zur Navigation des "Ambler" zu erstellen.
- Zur Planung und Steuerung des Systems wird eine allgemein verwendbare Architektur entwickelt, die unterschiedliche Planungsmodule, flexible Reaktionen auf unvorhergesehene Situationen und ein Bewußtsein der eigenen Fähigkeiten und Grenzen einschließen soll.

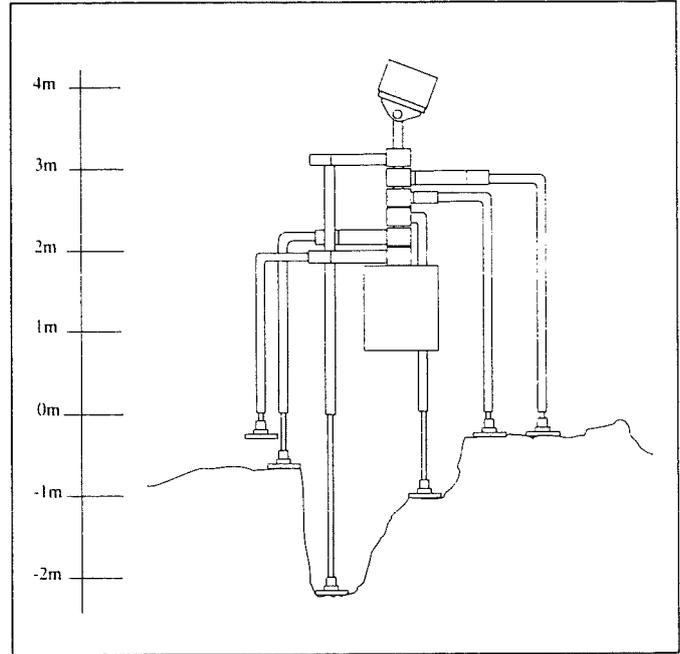
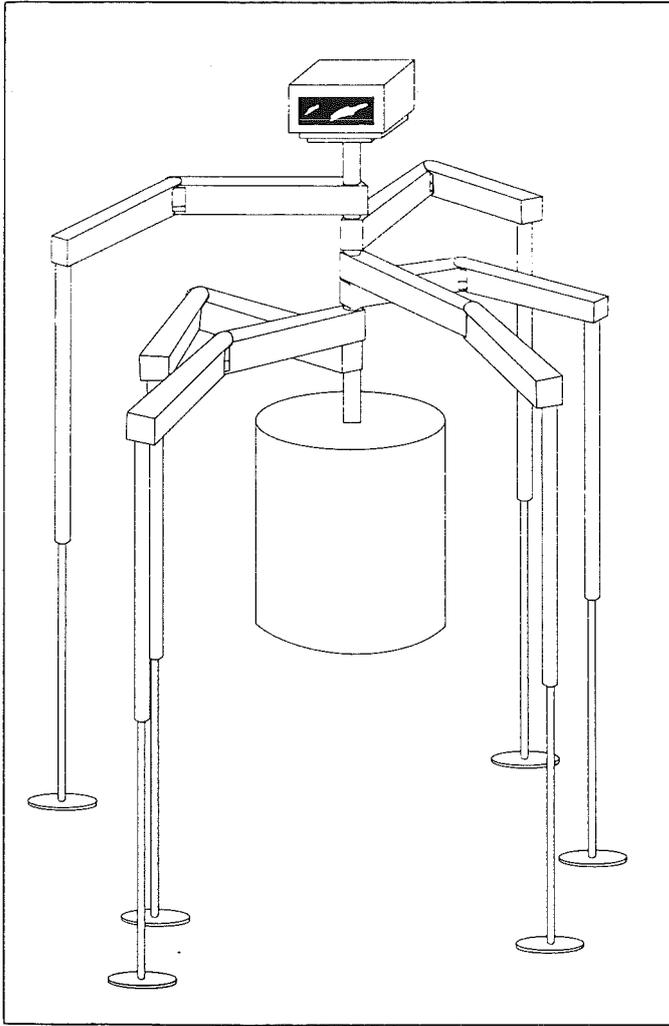


Bild CMU-1: vorläufige Kinematik des geplanten Mars-Rover

- "NavLab"

In diesem sehr bekannten Projekt wird seit etwa vier Jahren ein autonomes Fahrzeug entwickelt, das unter freiem Himmel, im wesentlichen bisher auf Straßen, selbständig fährt. Die folgenden Problemstellungen wurden besonders intensiv bearbeitet:

- Schnelle Hinderniserkennung durch Auswertung von Abstandsbildern, die durch einen abtastenden Laser erzeugt wurden. Seit kurzem wird der an der CMU entwickelte "Supercomputer WARP" dazu eingesetzt.
- Verfolgung einer Straße durch Farbbildauswertung mit adaptiver Farbklassifikation von Straße und Umgebung. Der Einsatz des WARP ermöglicht eine Zykluszeit von zwei Sekunden, wobei das Fahrzeug eine Geschwindigkeit von ca. 3,5 km/h erreicht.
- Verfolgung einer Straße durch "aktive Sensorik". Der eingesetzte Laser-

abtaster ("Scanner") kann neben Abstandsbildern auch Reflexionsbilder erzeugen, die zur Fahrzeugführung bei Dunkelheit verwendet wurden.

- Aufbau von 3D-Karten der erfaßten Umgebung in unterschiedlichen Repräsentationen.
- Integration aller Module und Repräsentationen zu einem System, wobei als Wissensbasis eine "Blackboard" (Wandtafel)-Struktur (genannt CODGER) eingesetzt wird.

- "Rapid Prototyping"

Unter diesem Projekt sollen z.B. Prototypen von Rechnerkarten (bisher erreichtes Ziel: Entwicklung und Aufbau eines Ein-Karten-Rechners innerhalb von 24 Stunden) und Prototypen von Werkstücken z.B. als Kunststoffmodell innerhalb sehr kurzer Zeit hergestellt werden.

4. Allgemeine Angaben

Das Institut besteht seit 1979 als interdisziplinäre Forschungsorganisation und hatte 1988

- 24 Professoren mit Lehr- und Forschungsaufträgen,
- 64 wissenschaftliche Vollzeitmitarbeiter,
- 55 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter,
- 43 "Studenten", davon ca. 80 % Doktoranden und
- ca. 20 Gastwissenschaftler.

Das Institut hat ein jährliches Budget von etwa 11 Mio. \$, das zu etwa 60 % durch Bearbeitung öffentlicher Aufträge erwirtschaftet wird. Das Institut ist in drei Abteilungen ("Center") und diverse Gruppen ("Laboratory") aufgeteilt. Jede Abteilung erhält Unterstützung durch industrielle Sponsoren (z.Zt. durch ca. 50 Firmen), die die Abteilung oder (seltener) ein spezielles Projekt mitfinanzieren. Für einen Betrag von 5000 \$ pro Jahr kann so eine Firma z.B.

- in direkten Kontakt zu den Forschern und ihren Projekten gelangen,
- alle Veröffentlichungen und alle Filme erhalten,
- entwickelte Programmpakete für eigene, interne Zwecke nutzen,
- Weiterbildungsveranstaltungen besuchen,
- Informationen über Studenten erhalten,
- einen eigenen Mitarbeiter für längere Zeit (ca. 1 bis 2 Jahre) am Institut arbeiten und forschen lassen.

Am Institut gibt es derzeit die folgenden Abteilungen und Gruppen:

- "Center for Integrated Manufacturing Decision Systems" mit den Gruppen:
 - "Design Laboratory"
 - "Production Planner Laboratory"
 - "Rapid Manufacturing Laboratory"
 - "Automated Factory Scheduling Laboratory"
 - "Manufacturing Logistics Laboratory"
 - "Automated Monitoring Laboratory"
 - "Integrated Manufacturing Systems Architecture Laboratory".
- "Field Robotics Center"
- "VASC: Vision and Autonomous Systems Center" mit den Gruppen:
 - "Advanced Manipulation Laboratory"
 - "Calibrated Imaging Laboratory"
 - "Intelligent Modeling Laboratory".

Außerdem gehören noch dazu:

- "Health and Human Services Robotics Laboratory"
- "Intelligent Sensors Laboratory"
- "Inspection Laboratory"
- "Learning Robots Laboratory"
- "Manipulation Laboratory"
- "Mobile Robot Laboratory"
- "Robotic Welding Laboratory"
- "Shape Deposition Laboratory".

5. Präsentationen

In einem Video-Film wurde in einem Überblick bisher erreichte Ergebnisse vorgestellt. Dazu gehörten u.a. (und bisher noch nicht erwähnt)

- der erste direkt angetriebene Roboter,
- mehrere mobile Roboter innerhalb von Gebäuden,
- der Roboter, der in dem defekten Kernkraftwerk auf Three-Mile-Island eingesetzt wurde,
- Arbeiten für Roboter im Weltraum.

Im Folgenden werden einige Kurzvorträge aus dem großen Spektrum der Arbeiten des Instituts zusammengefaßt:

Steve Shafer (Vision and Autonomous Systems Center) stellte das neue Doktoranden("Ph.D.")-Programm des Institutes vor, das nach eigenen Angaben als eines der ersten in der Welt einen Titel als "Doktor der Robotik" verleiht. Damit soll einem bisherigen grundsätzlichen Ausbildungsmangel abgeholfen werden, daß nämlich viele beteiligte Wissenschaftler vertiefte Kenntnisse in ganz speziellen Aspekten der Robotik haben, ihnen aber der allgemeine Überblick fehlt. Innerhalb des Ausbildungsplanes werden die Grundlagen der Robotertechnik (Physik, Mathematik, Maschinenbau, Informatik) vertieft, das Wissen über die bisher traditionellen Forschungsbereiche der Robotik (Handhabung, Umwelterkennung) erweitert und schließlich die Fähigkeit zur Integration aller Module in ein Robotersystem (mobiler Roboter, Fertigungssystem) vermittelt.

Anschließend wurden einige derzeitige Projekte aus dem Bereich "Bildverstehen" vorgestellt:

- Die Segmentierung einzelner Objekten in einer Szene ist aufgrund ihrer individuellen Farbe möglich, wobei auch der physikalische Effekt direkter Reflexion nicht zu einer Fehlinterpretation führt.
- Zur Erstellung eines Objektmodells zur späteren Objekterkennung wird ein automatisches Verfahren vorgestellt, das ein Initial-3D-Modell eines Werkstückes während einer geringfügigen Kamerabewegung quer zur optischen Achse erstellt.
- Zur automatischen Erzeugung von Objekterkennungsprogrammen soll ein LISP-basierter Modellgenerator ("Modeler"), VANTAGE genannt, dienen.
- Der Einsatz des "Supercomputers" WARP war Anlaß, einen maschinen-unabhängigen Compiler für Aufgaben der Bildauswertung zu entwickeln, der sowohl Programme für die bisher eingesetzten SUN-Arbeitsplatzrechner als auch für den WARP erzeugt.

David Bourne (Center for Integrated Manufacturing Decision Systems) stellt seine Vision eines zukünftigen, rechnerintegrierten Fertigungssystems vor, bei dem in der Konstruktionsphase der Konstrukteur ein Werkstück nicht durch Angabe von Abmaßen und ihrer Toleranzen, sondern durch Anforderungen an seine Funktion, also sein "Verhalten" spezifiziert. Erste Schritte in diese Richtung durch Einsatz kooperativer Expertensysteme waren bereits erfolgreich. Auf insgesamt fünf Rechnersystemen wurden die Expertensysteme

- "Operations Planner"
- "Control Expert"
- "Sensing Expert"

- "Cutting Expert"
- "Holding Expert"

implementiert, wobei die Expertensystemschaale KNOWLEDGE-CRAFT sowie die objektorientierte Programmiersprache C++ eingesetzt wurden. Auf diese Weise konnte die Zeitspanne zur Konstruktion und Herstellung eines relativ komplexen Werkstückes von bisher 40 Stunden auf etwa 2 Stunden verringert werden, wovon die bisher nicht optimal geplante Maschinenlaufzeit eines Fräsautomaten den größten Anteil (mehr als 95 %) hatte.

Lee Weiss ("Shape Deposition Laboratory") erläuterte unter der Überschrift "Rapid Tool Manufacturing" ein Verfahren (Stereolithographie) zur schnellen, automatischen Herstellung von Kunststoffmodellen unter Verwendung von CAD-Daten. Die Stereolithographie ist ein Prozeß, der Kunststoffmodelle schichtenweise durch abtastende Belichtung mit einem UV-Laser (10 mW) direkt aus einem flüssigen Polymer aufbaut, wobei jede Schicht eine Höhe von ca. 2,5 µm aufweist. Auf diese Weise kann ein Werkstück von etwa 150mm x 100mm x 80mm vollautomatisch in ca. 12 Stunden erzeugt werden, wobei die größte Verzögerung dadurch auftritt, daß eine Hebe- und Senkvorrichtung das bereits feste Objekt nach jeder aufgebrauchten Schicht wieder komplett in die Flüssigkeit eintauchen muß. Wird nun auf ein derartiges Kunststoffmodell eines Werkstückes flüssiges Metall (z.Zt. Zink) aufgesprüht, so entsteht eine Form, die als Spritzgußmodell zur Produktion des Werkstückes verwendet werden kann. Es ist geplant, den kompletten Produktionsablauf zur Herstellung eines solchen Modells aus den CAD-Konstruktionsdaten zu automatisieren.

Matt Mason ("Manipulation Laboratory") stellte einige Ergebnisse der bisherigen Forschung auf dem Gebiet "Mechanik & Planung" vor. Seine Grundidee besteht darin, mit der Positionsunsicherheit von Objekten nicht durch den Einsatz zusätzlicher Sensorik fertig zu werden, sondern durch geplante Greif- und Schüttelbewegungen. Dazu waren zunächst grundlegende Forschungen auf dem Gebiet der Mechanik von Stoß- und Schiebbewegungen in einer Ebene erforderlich. Das Ergebnis führte zu zwei Anwendungen in der Handhabungstechnik:

- Greifplanung: Basierend auf der entwickelten Theorie von parallelen Greifbewegungen in einer Ebene, wurde ein automatisches Planungsverfahren entworfen, um ein Objekt definiert greifen zu können, dessen Form, Position und Reibungskoeffizient nur als Schätzwert vorliegen. Bisher wurden damit Greifaktionen für dreieckige Objekte geplant.

– Definierte Objektpositionierung: Wird ein polyedrisches Objekt in ein schräg geneigtes Tablett gelegt, wird es sich in die niedrigste Ecke bewegen, wobei eine von wenigen möglichen Drehlagen angenommen wird. Durch eine Folge von geplanten Neigungen des Tablettes, wobei das Objekt jeweils bis an die Kanten bzw. in die Ecken des Tablettes rutschen muß, ist es möglich, daß das Objekt zum Schluß eine einzelne, vorberechenbare Orientierung einnimmt. Dies wurde am Beispiel eines Winkelschlüssels demonstriert.

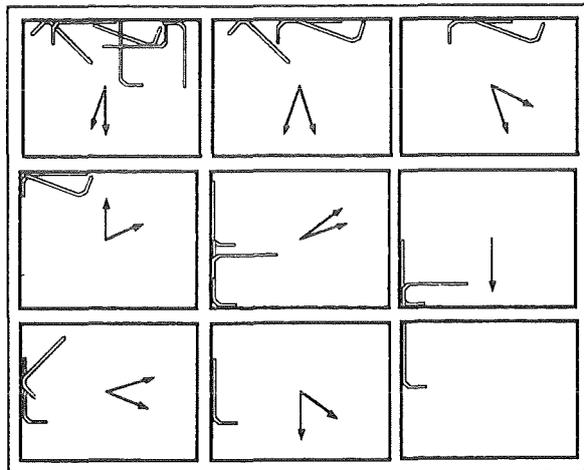


Bild CMU-2: Ein Plan der Neigungsfolge eines Tablettes, um einen Winkelschlüssel zu positionieren. Von links oben nach rechts unten zeigt jeder Rahmen alle möglichen Konfigurationen und den neuen Neigungswinkel, der jeweils erzeugt werden muß.

William ("Red") Whittaker ("Field Robotics Center") beeindruckte in Ausschnitten von Videofilmen durch eine große Anzahl ("alle sechs Monate ein neues, großes Robotersystem") von einzigartigen, mobilen Robotern, die für spezielle Einsatzbereiche in seiner Abteilung entwickelt und gebaut wurden. Anwendungsgebiete waren, sind bzw. werden sein

- die Erforschung eines Kernkraftwerksgeländes nach einem Unfall und ggf. Handhabung von verstrahlten Gegenständen (Einsatz nach dem Unfall in dem Kraftwerk "Three-Mile-Island"),
- der Bergbau,
- Ausgrabungen,
- Rückgewinnung von gefährlichem Abfall,
- militärische Einsätze,
- die Erforschung von Planeten.

Hauptarbeiten in der Abteilung sind die Integration diverser Techniken (Kinematiken auf Rädern und/oder auf Beinen; Bewegung durch Fernsteuerung und/oder "Playback" und/oder teilautonom; Interaktion mit der Umgebung durch Bohren, Graben, Blasen) in ein funktionierendes Gesamtsystem, das sich nicht nur in einer unbekanntenen Umgebung bewegt, sondern sie auch verändert.

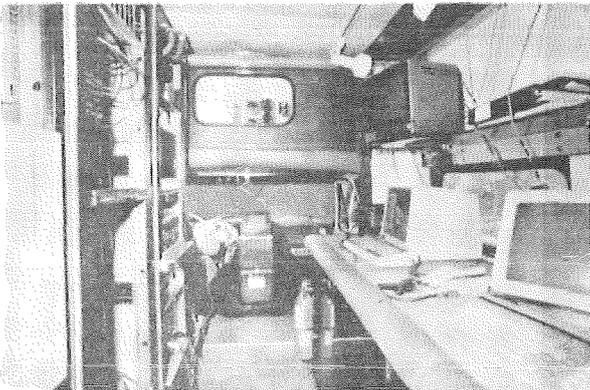


Bild CMU-3a,b: NavLab von
außen und innen

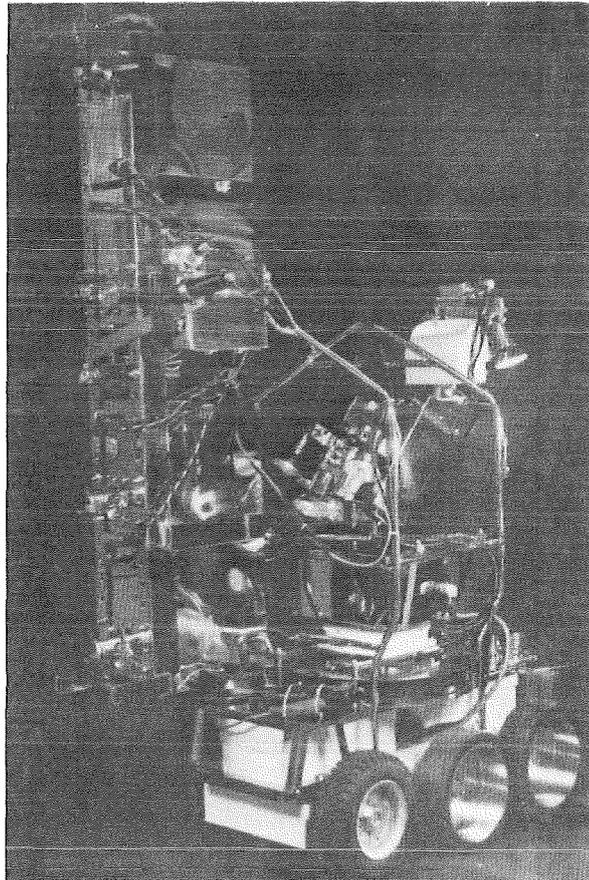


Bild CMU-4: "Remote Core Sampler"
(Three-Mile-Island-Vehicle)

Eine kurzfristig mögliche Besichtigung des "Mobile Robot Laboratory" gab einen Eindruck der bisher ("Neptune") und zukünftig ("Uranus") verwendeten Roboterplattformen. Hauptforschungsgebiet in dieser Gruppe ist die Bahnplanung von mobilen Robotern, wobei besonders das unsichere und unvollständige Umgebungswissen berücksichtigt wird, das durch diverse Sensoren aufgebaut wird.

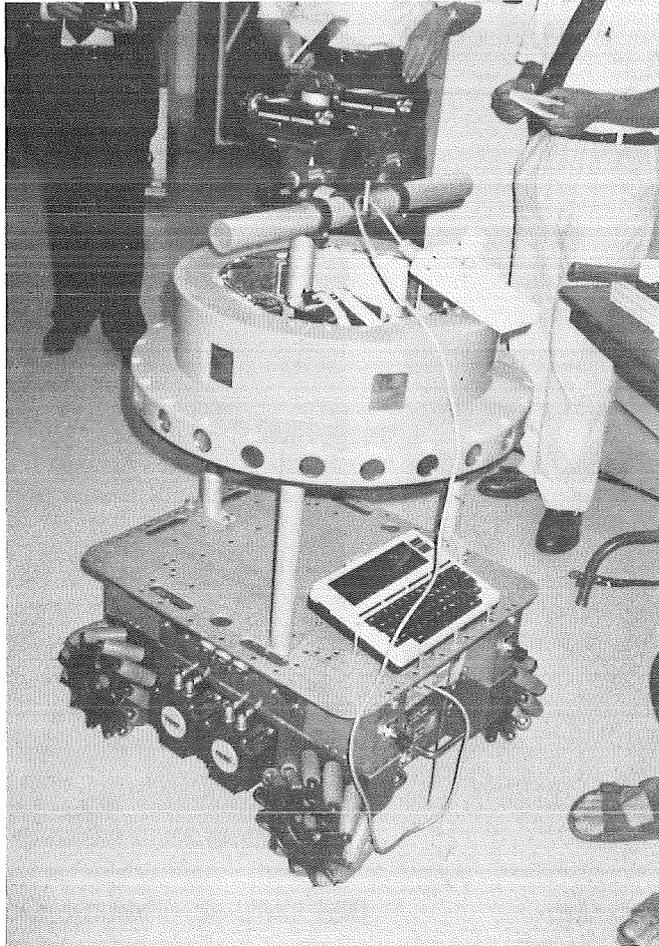


Bild CMU-3: Der mobile Roboter "Uranus"; Mobilität auf MECAMUM-Rädern

7. Zusammenfassung

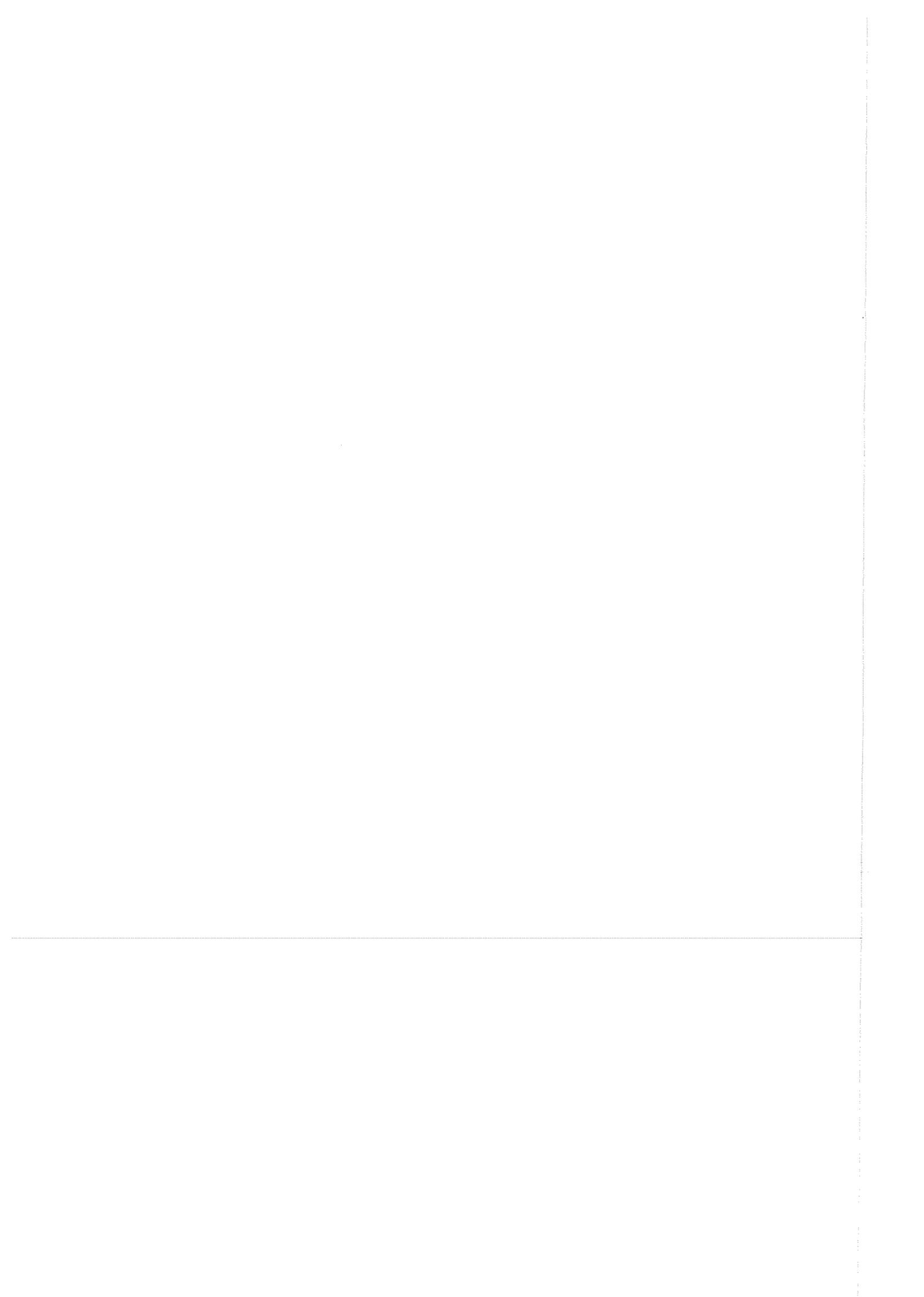
Das Robotik-Institut der Carnegie Mellon Universität in Pittsburgh ist eines der renommiertesten Institute auf dem Gebiet fortschrittlicher Robotik. Besonders das Gebiet mobile Robotersysteme hat von Ergebnissen dieses Instituts profitiert. Dabei ist besonders hervorzuheben, daß neben den theoretischen Arbeiten auf den Gebieten Navigation, Sensorintegration, Rechner- und Steuerungsstrukturen ebenso die praktische Realisierung der Robotersysteme durch Integration aller Komponenten betrieben wurde.

8. Literatur

- *Annual Research Review 1988* mit einer Übersicht über laufende Forschungsarbeiten, Mitarbeiter und Publikationen; incl. fünf detaillierte Berichte:
 - Design of a Planetary Rover
 - Knowledge Based Alloy Design
 - The Carnegie Mellon Reconfigurable Modular Manipulator System Project
 - Structured Highlight Inspection of Specular Surfaces Using Extended Gaussian Images
 - The Robotic Vocational Workstation

- diverse Kurzbeschreibungen einzelner Projekte

Teilbericht
Martin Marietta Information & Communications Systems
von G. Drunk



Besuch bei Firma Martin Marietta am 17.05.89

(Bericht Gerhard Drunk, IPA/IW)

1. Name der Institution

Martin Marietta Corporation
Information and Communications Systems Company
Automation Technology Systems
Postf. 1260
Denver, Colorado 80201-1260
Tel. (303)-977-6817

2. Gesprächspartner

1. Firma Martin Marietta

Dr. Robert J. Douglass, Projektleiter ALV
Herr Fred L. Garrett
Herr Graham
Herr Tom Depkovich

2. Firma Unique Mobility

Herr Ray A. Geddes, Geschäftsführer
Frau Barbara Lindauer, Direktorin Marketing

3. Universität Colorado

Herr Professor Ewald Fuchs, Berater der Firma
Unique Mobility

3. Entwicklungsthemen

Dem Bereich Automation Technology Systems kam bei der Durchführung des Autonomous Land Vehicle (ALV) Projekts eine Schlüsselrolle zu. Zur Zeit hat sich der Schwerpunkt auf die Entwicklung fortgeschrittener Robotersysteme für die Raumfahrt verschoben. Darüber hinaus werden Arbeiten im Bereich der Fertigungsautomatisierung durchgeführt, insbesondere bei dynamischen Planungssystemen. Fachliche Schwerpunkte der Arbeiten liegen bei der Sensordatenverarbeitung, der Multi-sensordatenfusion, Datenbankmanagement-Systemen, der Aufgaben- und Routenplanung sowie bei Expertensystemen zur Dateninterpretation.

4. Allgemeine Angaben

Die Firma Martin Marietta bearbeitet mit ca. 80.000 Mitarbeitern hauptsächlich Aufträge für das amerikanische Verteidigungsministerium und für die NASA. Die Firmenzentrale liegt in Bethesda in Maryland. Die Firma untergliedert sich in 4 technologieorientierte Gruppen, wovon die Information Systems Group (ISG) eine ist. Diese wiederum untergliedert sich in die Information und Communications Systems Company, die Data-Systems-Company sowie zwei selbständige Divisionen. Der besuchte Bereich Automation Technology Systems gehört zur Information and Communications Systems Company und beschäftigt zur Zeit 30 Mitarbeiter. Leider wurde vor kurzem aufgrund eines neuen Raumfahrtprojekts der größere Teil der Mitarbeiter einem anderen Bereich zugeordnet und der Geheimhaltung unterstellt. Dieser Teil konnte deshalb auch leider nicht besucht werden.

5. Präsentationen

Der Schwerpunkt des Besuchsprogramms lag auf dem autonom navigierenden Versuchsträgerfahrzeug für das Autonomous Land Vehicle (ALV)-Programm mit Vorträgen sowie einer Besichtigung. Die Arbeiten auf dem Raumfahrtsektor wurden wegen der Vertraulichkeit nur mit einem Vortrag vorgestellt. Darüber hinaus stellte die Firma Unique Mobility, die für das ALV-Versuchsträgerfahrzeug die Aufbauten geliefert hat, ihre Arbeiten vor.

5.1 Autonomous Land Vehicle (ALV)

Im Rahmen des sehr umfangreichen Strategic Computing Programs des DARPA ist das Autonomous Land Vehicle Projekt eines von 4 Unterpunkten. Am ALV-Projekt waren insgesamt 11 Firmen sowie eine entsprechende Anzahl von Instituten beteiligt. Der Firma Martin Marietta kam dabei mit der Integration des wichtigsten Versuchsträgerfahrzeugs eine Schlüsselrolle zu. Komponenten dieses Versuchsträgers wurden auf weitere Forschungsfahrzeuge der Firmen FMC und General Dynamics übertragen. Bei beiden letztgenannten Versuchsträgerfahrzeugen handelt es sich um gepanzerte Fahrzeuge, einen M-113-Kettenpanzer sowie einen leichten Vierradpanzer. Sehr wichtige und zentrale Beiträge zu diesem Projekt wurden an der Carnegie-Mellon University geleistet.

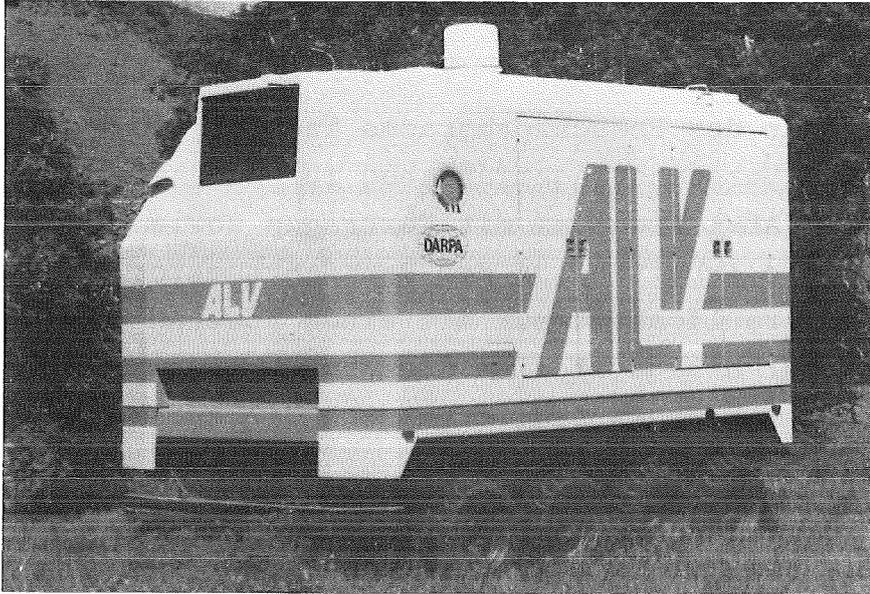
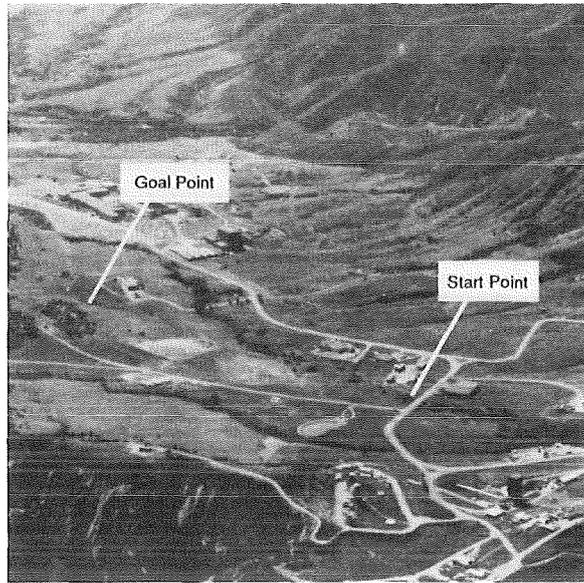
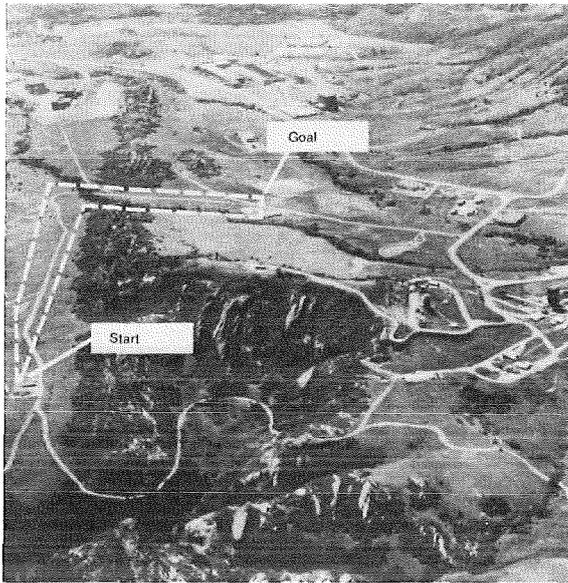


Bild 1: Versuchsträgerfahrzeug Alvin für das ALV-Programm

Die erste Phase des Projekts mit einem Umfang von 15,8 Mio Dollar wurde 1984 gestartet und ist 1988 ausgelaufen. Es wurden jährliche Demonstrationsfahrten zunächst auf einer beinahe geraden Straße, dann auf einer kurvigen Straße, dann mit Hindernissen, die zu umfahren waren, und schließlich mit einem kurzen graden Geländeabschnitt vorgeführt. Eine Phase 2 mit einem Umfang von 6,1 Mio Dollar, bei der die volle Geländefahrt und die Verbindung zu digital gespeicherten Landkarten vorgesehen war, wurde geplant, wird jedoch vermutlich nicht in Auftrag gegeben. Damit ist das Programm voraussichtlich abgeschlossen, und vermutlich wird es keine direkten Ergebnisumsetzungen in industrielle Produkte oder militärische Systeme geben.



a)
kurviges Straßenstück ohne
Hindernisse

b)
Gerader Geländeabschnitt
mit Hindernissen (1988)

Bild 2: Durchgeführte Demonstrationsfahrten

Das Versuchsträgerfahrzeug besteht aus einem Fahrwerk mit 8 einzeln angetriebenen Rädern und Differentiallenkung. Es handelt sich um ein serienmäßiges Chassis für militärische Mannschaftstransportwagen der Firma Standard. Die Firma Unique Mobility lieferte den aus Glasfaserverbundwerkstoff gefertigten Aufbau, die Klimaanlage sowie die Einschubrahmen für die Elektronik einschließlich Kühlung. Das Fahrzeuginnere besteht im wesentlichen aus insgesamt 10 seitlich rechts und links angeordneten Elektronik-Racks mit einem Mittelgang, der den Aufenthalt von 2 bis 3 Wissenschaftlern ermöglicht sowie einer Arbeitskonsole in der Fahrzeugfront am Ende des Ganges. Von den 10 Einschubracks werden alleine 2 für Kühlung und Klimaanlage benötigt. Die Energieversorgung erfolgt über 2 Dieselaggregate, die einerseits die Antriebshydraulik sowie andererseits die Energieversorgung der Elektronik übernehmen.

Die Sensorausstattung besteht im wesentlichen aus einem Inertialsystem der Fa. Bendix, einem Stereo-Kamera-Paar als Beobachtungssystem für die manuelle Führung, einem Farbbildverarbeitungssystem mit Hardware-Komponenten der Fa. Vicom und einem 3 D-Laser-Scanner vom Environmental Research Institute of Michigan (ERIM). Die hauptsächliche Navigationsaufgabe des Fahrzeugs besteht im Fahren auf vorbereiteten Straßen. Deshalb ist es ausreichend, daß sich die Navigation und Fahrzeugsteuerung auf die Lage der Straßenränder stützt. Die Erkennung des Straßenverlaufs erfolgt im wesentlichen über die Farbbildverarbeitung. Es wurden jedoch auch Versuche gemacht, die Straße mit dem Laser-Scanner zu erkennen. Die Erkennung von Hindernissen für den Kollisionsschutz stützt sich vollständig auf den Laserscanner. Die Fahrt auf der Straße kann im Prinzip als regelungstechnischer Prozeß aufgefaßt werden. Die Fahrten im Gelände wurden ausschließlich mit dem Inertialsystem als Koppelnavigation durchgeführt unter Gewährleistung des Kollisionsschutzes durch den Laserscanner. Eine Positionsbestimmung und Bahnführung aufgrund des Vergleichs von Modellwissen mit Sensorsignalen wurde in beiden Fällen nicht realisiert.

Ein wesentlicher ursprünglicher Schwerpunkt der Forschungsarbeiten war die überlagerte Planung und Steuerung des Fahrzeugs mit Hilfe von wissensbasierten Systemen. Während auf seiten der Sensordatenverarbeitung offenbar umfangreiche und anspruchsvolle Entwicklungen durchgeführt wurden, sind die anspruchsvollen Ideen auf Planungs- und Steuerungsebene nicht wie geplant realisiert worden. Statt dessen wurde in einem bereits fortgeschrittenen Projektstadium als Ansatz die Erkennung der Straßenbegrenzungen mit einer regelungstechnisch ausgeführten Fahrzeugsteuerung realisiert, um einen funktionsfähigen Prototypen zu erhalten.

Die beantragte 2. Projektphase sah u. a. die Integration eines Nahbereichs-Mikrowellenradars sowie die Verbindung zu dem digitalen Geländedarstellungssystem von der Fa. Hughes

sowie dem ETL-Labor der US-Armee vor. In Verbindung mit einem leistungsfähigen Bilddateninterpretations- und Planungssystem sollten damit Geländefahrten über längere Strecken ermöglicht werden.

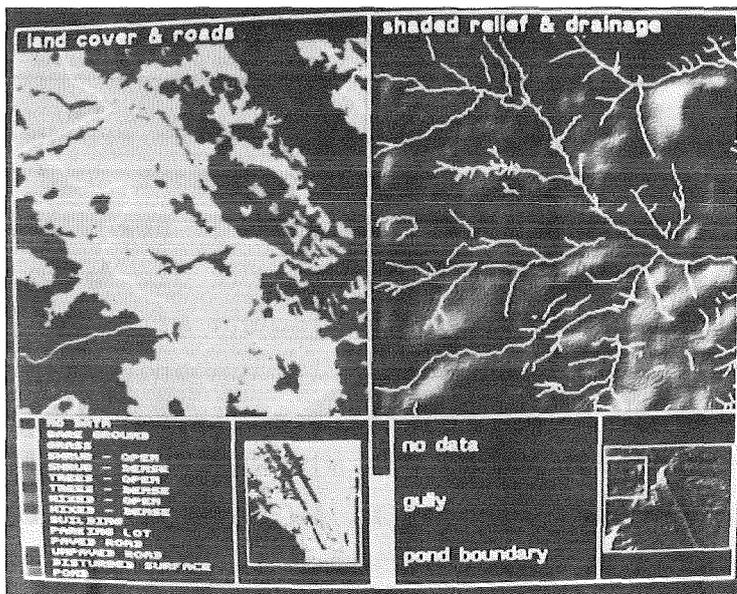


Bild 3: Die Integration einer digitalen Geländedarstellung als Umgebungsmodell für die Navigation war geplant (ETL/Hughes)

5.2 Robotertechnik für die Raumfahrt

Auf dem Gebiet der Weltraumroboter wurden bei Martin Marietta in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Projekten durchgeführt. Der Arbeitsschwerpunkt liegt bei Steuerungssystemen für die Servo-Regelung und die Fernsteuerung von Manipulatorsystemen im Weltraum von der Erde aus. Darüber hinaus wurden Arbeiten auf dem Gebiet des Software-Engineering durchgeführt.

Schwerpunkte der laufenden Weltraumprojekte liegen bei der Entwicklung von Multiprozessor-Systemen, der koordinierten Steuerung mehrerer Arme, der Dynamikanalyse großer Armstrukturen und der Regelung flexibler Manipulatorarme. Es wurden Kraft/Moment-Sensoren in die Handgelenke von Manipulatorarmen integriert, um eine Führung mit bilateraler Kraftrückführung in 6 Freiheitsgraden zu ermöglichen.

Für die Steuerungen werden selbstentwickelte Rechnerkarten auf der Basis von Intel-Prozessoren verwendet. Die Implementierung der Steuerungs-Software erfolgt überwiegend in der Hochsprache C und als Rechnertakt für die Servokreise wurde 200 Hz angegeben. Als zur Verfügung stehende Versuchsaufbauten wurden auf Bildern ein Weltraummanipulatorarm mit hoher Reichweite mit einer Scara-Kinematik sowie ein Aufbau mit 2 kleinen Cincinnati-Robotern mit integrierten Kraft/Moment-Sensoren vorgestellt. In der Diskussion wurde die im Unterauftrag vom NIST entwickelte NASREM-Struktur als für eine praktische Implementierung zu theoretisch bezeichnet.

Aktuell wichtigstes Projekt auf diesem Gebiet ist das vor kurzem gestartete Flight-Telerobot-Servicer (FTS)-Projekt. Dabei handelt es sich um eine ortsveränderliche Wartungs- und Reparatereinrichtung für Weltraumstationen. Die gegenwärtige Planung sieht eine Plattform mit 3 Festhalte- und Arbeitsarmen vor, die von einem Manipulatorarm großer Reichweite großräumig an den Einsatzort versetzt wird. Integrierte Sensorsysteme und Werkzeuge sollen das Gerät für eine Vielzahl von Aufgaben ertüchtigen.

5.3 Unique Mobility

Die Firma Unique Mobility arbeitet eng mit Martin Marietta zusammen und stellte das Spektrum ihrer Tätigkeiten vor. Neben der bereits erwähnten Realisierung der Fahrzeugaufbauten für das ALV wurden mehrere Projektstudien sowie Reali-

sierungen von Versuchsfahrzeugen auf dem Gebiet der autonomen Fahrzeuge durchgeführt. Ein Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten der Firma liegt bei der Antriebstechnik. Im Bereich der Antriebstechnik liegt ein Ziel in der Entwicklung eines bürstenlosen Gleichstrommotors mit einer sehr hohen Leistungsdichte. Angestrebt wird eine Leistung von 40 PS bei 10 pound Motorgewicht. Der Istzustand liegt bei 23 PS auf 12 pound. Weitere Projekte sind die Entwicklung eines "elektronischen Schwungrades", d. h. eines nichtmechanischen Energiespeichers sowie der Entwicklung eines Verbrennungsmotors, dessen Kolbenbewegungen mit elektrischen Linearantrieben unterstützt werden.

Als Fahrzeuge wurden von der Fa. Unique Mobility bisher u. a. ein Fahrersitz-Rasenmäher auf die neue Antriebstechnik umgerüstet sowie mehrere Elektroversuchs-PKWs gebaut. Für den militärischen Bereich wurden Studien für ferngelenkte Sanitätsfahrzeuge für die US-Armee und Feuerbekämpfungsroboter für die US-Navy durchgeführt sowie der Prototyp eines ferngesteuerten Panzerbekämpfungs-Fahrzeuges realisiert.

6 Ergebnisse der Diskussion

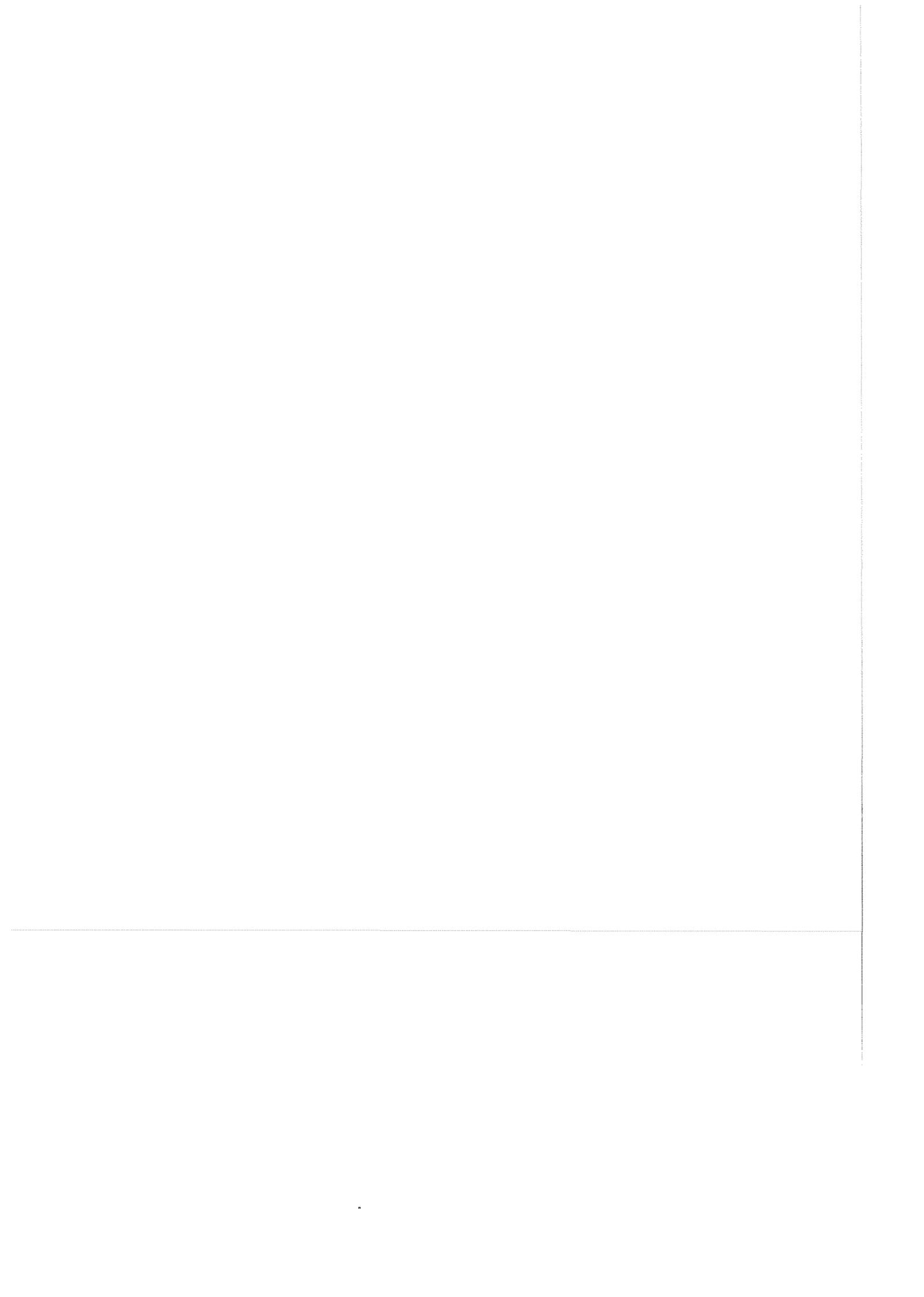
Der Schwerpunkt des Besuchs widmete sich dem ALV. Da jedoch weder die für die einzelnen Sensor- und Steuerungskomponenten zuständigen Experten verfügbar waren, noch eine Vorführung des Fahrzeugs im Betrieb möglich war, blieben die Diskussionsmöglichkeiten sehr beschränkt. Einige Erfahrungen mit dem Fahrzeug ließen sich jedoch feststellen:

Das Fahrwerk des ALV hat sich als für die Straße zu aufwendig und schwer zu manövrieren erwiesen. Trotz der hohen Beweglichkeit ist es jedoch auch im Gelände wegen der geringen Bodenfreiheit nur bedingt geeignet. Zur Ermittlung der aktuellen Kameraposition relativ zur Straße, war es angesichts des Federungsweges der Radaufhängung notwendig, nachträglich

abstandsmessende Ultraschallsensoren einzusetzen. Diese messen an den Ecken der Fahrzeugkarosserie die Höhe über der Straße. Es wurden Versuche gemacht, über eine Intensitätsbilddauswertung des Laserscanners auch die Position der Straße zu erkennen, doch erwies sich hier die Farbbildverarbeitung als überlegen. Die ursprünglichen Pläne zur Bewegungsplanung und Bewegungssteuerung mit Hilfe von Expertensystemen wurden nicht verwirklicht.

7 Zusammenfassung

Beeindruckend an der ALV-Entwicklung waren insbesondere das hohe Niveau der Realisierung bereits auf Versuchsträgerebene, der hohe finanzielle Einsatz und die hervorragenden Präsentationsmaterialien. Die Realisierung des Versuchsträgers erfolgte weitgehend durch Integration von zu Projektbeginn verfügbaren Komponenten. Der gerätetechnische Aufwand an Rechnern und Sensoren ist als extrem hoch einzustufen und erscheint angesichts anderer Entwicklungen mit mindestens vergleichbarem Funktionsumfang bei weit geringerem Geräteeinsatz als schwer vertretbar. Der Schwerpunkt der durchgeführten Arbeiten dürfte bei der Realisierung der anerkanntermaßen sehr aufwendigen Sensordatenverarbeitung liegen. Die hochgesetzten Ziele der Realisierung von Planungs- und Steuerungsalgorithmen über Expertensysteme wurden nicht realisiert. Eine Umsetzung der Forschungsergebnisse in einzusetzende Systeme oder eine Weiterführung der Arbeiten scheint nicht vorzusehen zu sein. Bedauerlich ist, daß die anderen Projekte des Labors auf dem Robotergebiet nicht berücksichtigt werden konnten, zumal hier offensichtlich sehr interessante und anspruchsvolle Projekte erfolgreich bearbeitet werden.



Besuchsbericht vom 12.06.1989
Prof.Dr.-Ing. Georg F. Schultheiß
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
Institut für Anlagentechnik

1. Name der Institution, Adresse:

NOSC

Naval Ocean System Center
San Diego, California 92152-5000

2. Gesprächspartner:

Robert L. Wernli

(verantwortlich für die gesamte Besuchsorganisation)

NOSC

Ocean Technology Department

Tel.: (619) 553-1948 priv. (619) 566-5957

Marine Technology Society

Chairman of Remotely Operated Vehicle Committee

Weitere Gesprächspartner : siehe Besuchsagenda und Organisationpläne

Während des Besuches wurden von Herrn Wernli mehrere Unterlagen zur Verfügung gestellt. Daraus sind nachfolgend die zu den jeweiligen Themen des Besuchsberichtes passenden Passagen zusammengestellt.

3. Entwicklungsthemen:

Nach einer Einführung mit den Hauptarbeitsbereichen folgt ein Überblick zur historischen Entwicklung des Naval Ocean System Center. Eine Zusammenfassung des Programms der Ocean Engineering Division gibt weitere Einzelheiten zu den in 1988 bearbeiteten Themen.



INTRODUCTION TO THE NAVAL OCEAN SYSTEMS CENTER

The Naval Ocean System Center (NOSC) is a full-spectrum research, development, test, and evaluation (RDT&E) center serving the needs of the Department of the Navy and the Department of Defense within assigned mission and leadership areas. We provide solutions to Naval and Joint Service problems through the generation and application of technology. Our role is to provide innovative alternatives to tomorrow's decision makers, thus enabling them to pursue new or expanded missions. NOSC is part of a team involving the Systems Commands, the Office of the Chief of Naval Operations, the Fleet, the Offices of Naval Research and Technology, academia, and industry. NOSC operates under the guidance of the Space and Naval Warfare Systems Command (SPAWAR), as one of seven SPAWAR R&D Centers.

NOSC assumes technical leadership for developing systems and solutions. Our principal role is to provide the Navy team with "smart buyer" support in the systems acquisition process as a Technical Agent of the Systems Commands. NOSC focuses on the Navy's future needs and is uniquely capable of serving the Fleet in times of national crises. Specifically, we support systems for which we share a responsibility during introduction into the Fleet and provide technical expertise and facilities not readily available to operational commands. Our strong commitment to close liaison with the Fleet ensures that our efforts remain relevant. Our role now, and for the future, is to direct and create technology, oversee technology transition, initiate programs, act as Technical Direction Agent, support test and evaluation, and transition

our products to other commands for production and in-service support. The Center filed 38 patent applications in FY 1988.

NOSC performs RDT&E in these major areas:

- Command control
- Communications
- Surveillance
- Integrated antisubmarine warfare
- Arctic warfare
- Ocean sciences
- Ocean engineering
- Intelligence
- Warfare systems analysis and engineering

NOSC's work force includes 3034 full-time civilian employees as well as a military allowance of 58 officers and 204 enlisted personnel.

Total funding authority in FY 1988 was \$526 million and is estimated to be approximately \$485 million in FY 1989.

Primary facilities are in San Diego, California. Additional facilities include a laboratory at Kaneohe Bay, Oahu, Hawaii, sea ranges at San Clemente Island; a test range at Morris Dam, California; and an arctic field station at Cape Prince of Wales, Alaska.

Real property and equipment assigned to NOSC have a plant account value of approximately \$294.4 million.



HISTORICAL DEVELOPMENT OF NOSC

BEGINNINGS IN POINT LOMA

Although the two main predecessors of the Naval Ocean Systems Center have only existed as RDT&E centers since World War II, a tradition of Navy activity on the Point Loma site actually began with the commissioning in 1906 of the Navy Radio Station, Point Loma. More importantly, this location later was chosen by the Navy in 1940 to be the site of its first west coast laboratory, the U.S. Navy Radio and Sound Laboratory.

The initial work of the new laboratory was to test new radar equipment in the secure and interference-free location provided by Point Loma. During the war, the work of the Radio and Sound Laboratory extended to other aspects of radar and radio communications, notably electronic architecture.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA TO NEL

Beginning in 1941, civilian scientists worked at the laboratory under the auspices of the University of California Division of War Research (UCDWR). Work focused on antisubmarine warfare, training systems for sonar operators, and support of U.S. submarine operations, in addition to basic research on underwater acoustics and oceanography. UCDWR and the Radio and Sound Laboratory activities were combined in 1945 into a single organization, the Navy Electronics Laboratory (NEL). During the next 30 years, NEL developed a Navy-wide reputation for its work in radio, tactical warfare simulators, information display and data management systems, sonar, lasers, navigation, satellite communication, and radar.

Along with their fundamental supporting research in radio physics, oceanography and electronic materials, NEL scientists developed techniques and instruments that enabled submariners to navigate under the Arctic ice. As a result of this work, NEL scientists were aboard *Nautilus* during its historic 1958 transit under the North Pole and aboard *Skate*, when it surfaced at the North Pole in 1959.

Other well-known projects in which NEL participated were the Navy Tactical Data System (NTDS), the Navy Electronic Warfare Simulator (NEWS), the Omega Navigation System, the Fleet Operational Readiness Accuracy Check Sites (FORACS), and the *Trieste's* record achievement in 1960 of diving to a depth of 35,800 feet.

CAL TECH TO NUC

Concurrently with NEL development, scientists from Pasadena's California Institute of Technology (Cal Tech), conducted water-entry research under contract to the Navy to improve the air-dropped Torpedo MK 13. To test water entry of the torpedoes, the Cal Tech scientists constructed unique test facilities at Morris Dam, a reservoir east of Pasadena.

After the war, some of the Cal Tech group formed the Underwater Ordnance Department of the new Naval Ordnance Test Station (NOTS), at China Lake. Another group of Cal Tech scientists, those working in underwater ordnance, stayed in Pasadena to form an annex of NOTS. Over the next 20 years, NOTS underwater ordnance researchers led the development of the antisubmarine rocket (ASROC), the MK 44 and 46 lightweight torpedoes, and ASW fire control systems. In addition, NOTS Pasadena

HISTORICAL DEVELOPMENT OF NOSC (continued)

demonstrated the feasibility of launching Polaris missiles from underwater and developed the Navy's first remotely operated vehicle, the Cable-controlled Underwater Recovery Vehicle (CURV), which in 1966 recovered an H-bomb lost in the Mediterranean.

WEST COAST REORGANIZATION

In 1967, the Navy reorganized its west coast laboratories. NEL became the Naval Electronics Laboratory Center (NELC), with a new focus on command and control, communications, and electronic materials. NEL's ASW researchers joined the Underwater Ordnance Department of NOTS Pasadena to form the Naval Undersea Center (NUC), newly headquartered in San Diego. NUC's mission encompassed work in underwater ordnance and fire control, marine biosciences, remotely operated vehicles, ASW, oceanography, and the development of advanced technologies supporting its missions.

NOSC PROVIDES BROAD-SPECTRUM CAPABILITY

In 1977, NELC and NUC were consolidated as the Naval Ocean Systems Center to provide a broad-spectrum systems capability and to facilitate integration of major mission areas. Since that time, NOSC has achieved notable successes throughout its mission areas. Some of its notable programs have included developing the Mobile Submarine Simulator, a submarine countermeasures system; the Surveillance Towed Array Sensor System (SURTASS) for strategic ocean surveillance; and the Mine Neutralization

System, a remotely operated minesweeping vehicle. Researchers in command and control developed and then deployed the Tactical Flag Command Center aboard six carriers. Other NOSC researchers demonstrated the feasibility of using lasers to communicate with submarines at operational depths. In addition, NOSC conceived and now directs the development of the Advanced Lightweight Torpedo (MK 50) and the Vertical Launch ASROC.

Today, NOSC continues to advance Navy RDT&E in the fields developed by its predecessors, evidenced by significant SPAWAR leadership assignments and by a wide spectrum of program work and accomplishments.



FY 88 MAJOR PROGRAM SUMMARY

OCEAN ENGINEERING DIVISION CODE 94

N. B. ESTABROOK, HEAD

ADMINISTRATIVE STAFF

TECHNICAL STAFF

SYSTEMS ENGINEERING
BRANCH
CODE 941
F. A. Marrone, Head

0 AUSS

0 At-Sea Testing
Support

0 MNS Cable Cutters

0 MNS Handling Systems

0 Division Computer
Systems Support

MARINE SYSTEMS
BRANCH
CODE 942
R. L. Walls, Head

0 ADROV

0 ADROV Cable
Support

0 ARIADNE Cable
Support

0 ATV Transition
& Testing

0 HI-GAIN Array

0 SDG-1 OE Support

UNDERSEA AI &
ROBOTICS BRANCH
CODE 943
P. J. Heckman, Head

0 Free-Swimming
Vehicle

0 Execution/Control
Sys For Free Swmr

0 AUSS Elec

0 Sensor Devel
Telemetry

0 SDG-1 Engr Support

0 ROV Sensor/Link Study

0 PINS Support

OCEAN TECHNOLOGY
BRANCH
CODE 944
H. C. Wheeler, Head

0 MNS Production
Technology

0 Multi-Purpose
Crane

0 OEEET

0 TAMS

0 DSRV Optics

ADVANCED CONCEPTS
BRANCH
CODE 946
S. J. Cowen, Head

0 Fiber Optics (FO)

0 LFA FO Telemetry

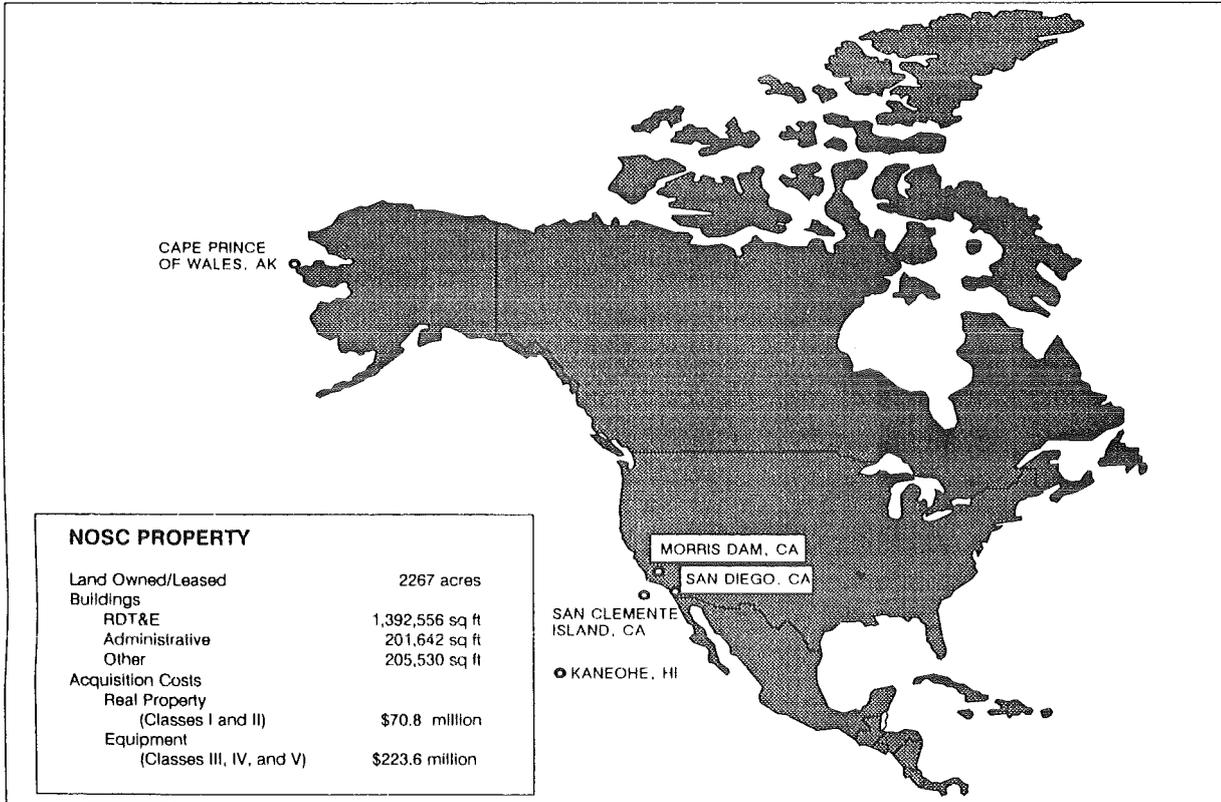
0 ARIADNE FO
Support

0 FORACS III FO

4. Allgemeine Angaben:



NOSC FACILITIES

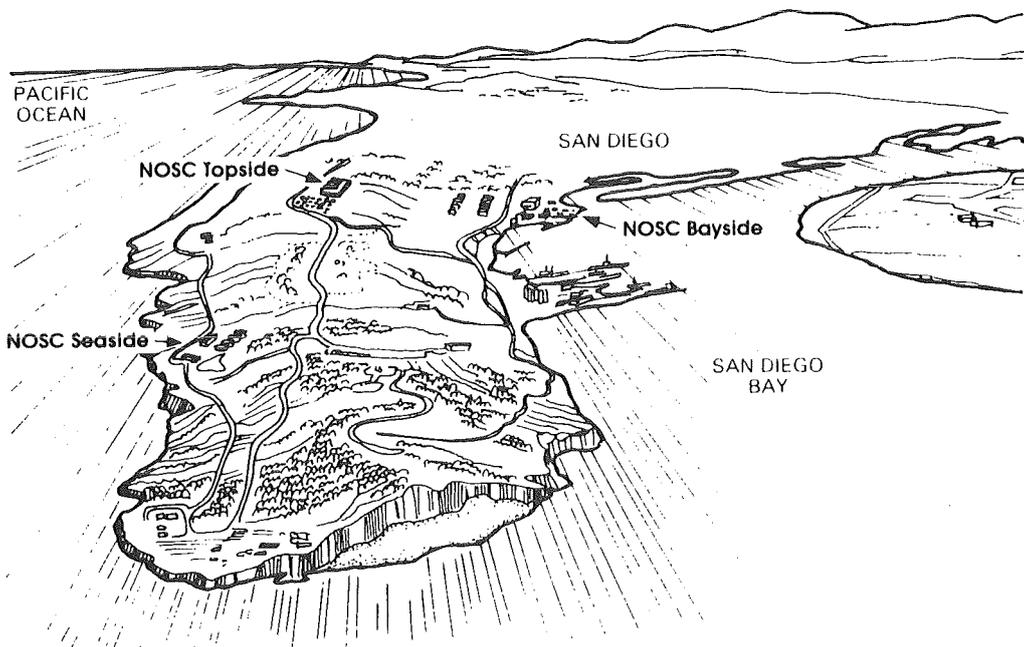


NAVAL OCEAN SYSTEMS CENTER

San Diego, California 92152-5000

E.G. SCHWEIZER, CAPT, USN
Commander

R.M. HILLYER
Technical Director





PERSONNEL DATA

TOTAL ON BOARD	TOTAL MILITARY	TOTAL CIVILIANS	FTP*	TPTI**	FTP UNGRADED
3262	228	3034	3002	32	63

FTP GRADED	
2939	
ADMINISTRATIVE	469
TECHNICIANS	358
SCIENTISTS AND ENGINEERS	1582
OTHER	530

FTP GRADED SCIENTISTS AND ENGINEERS

ELECTRONICS ENGINEERS	735	
PHYSICISTS	218	
MECHANICAL ENGINEERS	153	
MATHEMATICIANS	107	
GENERAL ENGINEERS	30	
OCEANOGRAPHERS	23	
OPERATIONS RESEARCH ANALYSTS	69	
COMPUTER SCIENTISTS	122	
PSYCHOLOGISTS	38	
CHEMISTS	16	
OTHER	71	
TOTAL	1582	

CIVILIAN BUDGETED END-STRENGTH:
 FTP AND TPTI (COMBINED) 2992
 MILITARY ALLOWANCE:
 OFFICERS 58 ENLISTED 204 262

SCIENTISTS AND ENGINEERS BY DEMO PROJECT LEVEL

I	46
II	229
III	1031
IV	275
V	1
SES	9

NOSC is participating in a Demonstration Project under Title VI of the 1978 Civil Service Reform Act. The pay classification system has been restructured into five levels of classification as follows: Level I, GS 5-8; Level II, GS 9-11; Level III, GS 12 and 13; Level IV, GS 14 and 15; Level V, GS 16 +

DEGREES - ALL FTP PERSONNEL

	PhD	DVM	MS/MA	BS/BA
SCIENTISTS & ENGRS	190	2	550	823
OTHER CIVIL SERVICE	5	-	76	220
MILITARY OFFICERS	0	0	28	19
TOTAL	195	2	654	1062

* Full time, permanent civilian personnel
 ** Temporary, part-time, intermittent civilian personnel subject to manage-to-payroll (MTP) controls.



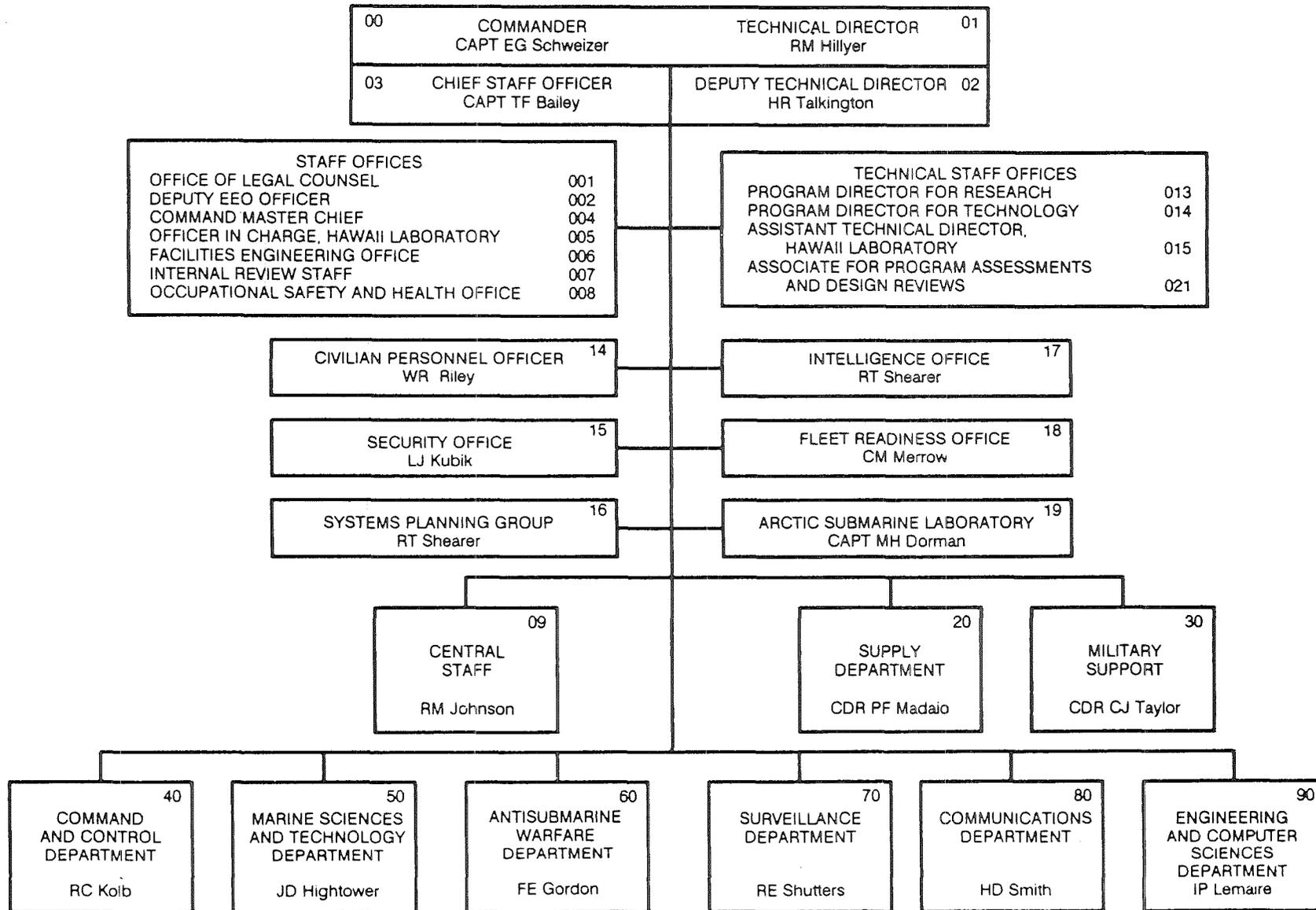
NOR

DISTRIBUTION OF RESOURCES AMONG MAJOR AREAS OF WORK

FISCAL YEAR 1989 ESTIMATE

	DIRECT WORK YEARS	TOTAL \$M
COMMAND AND CONTROL	293	\$ 98
MARINE SCIENCES AND TECHNOLOGY	242	68
ASW SYSTEMS	344	102
SURVEILLANCE	354	91
COMMUNICATIONS	284	72
ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCES	85	21
FLEET READINESS	21	3
SUBMARINE ARCTIC WARFARE	31	5
ALL OTHER	76	25
TOTAL	1730	\$ 485

NOSC ORGANIZATION





OCEAN ENGINEERING DIVISION

CODE 94

N. B. ESTABROOK, HEAD

E. A. Eastley, Asst.

X-31862

ADMINISTRATIVE STAFF
ADMIN OFFICER A.J. AITKEN, Code 9403

SECURITY CLERK
S.M. Ballard, Code 9409

TECHNICAL STAFF
MARINE MATERIALS DR.J.D. Stachiw, Code 9402
PROJECT OFFICER LCDR.D.K. Lynn, Code 9407

SYSTEMS
ENGINEERING
BRANCH
CODE 941
X-31877

F.A. MARRONE, HEAD
L.S. Da Luz, Asst.

L.K. Brady (T)
M.W. Cooke (E)
J.L. Held (E)
M.E. Kono (E)
A.E. Munson (T)
P.D. Osborne (E)
J.T. Pryor (E)
M.W. Rutkowski (T)
C.E. Tallerino (T)
B.W. Uhrich (E)
J.M. Walton (E)
H. Jones (T)

MARINE
SYSTEMS
BRANCH
CODE 942
X-31960

R.L. WATTS, HEAD
R.I. Alferos, Asst.

R.A. Bixler (E)
S.G. Briest (E)
A.D. Fronk (E)
J.M. Kaawaloa (T)
P.G. Kennedy (E)
W.R. Macha (E)
B.C. Parks (AS)
R.E. Patterson (T)
L.B. Pokryfki (E)
W. Stevenson (E)
T.L. Webber (E)
J. * Zuniga (E)

UNDERSEA AI
& ROBOTICS
BRANCH
CODE 943
X-31905

P.J. HECKMAN, HEAD
T.L. Franklin, Asst.

M.R. Blackburn (S)
L.J. Bodzin (E)
W.D. Bryan (E)
M.G. Dalrymple (T)
F.C. Doloszycki (T)
J.T. Durham (S)
B.W. Gillcrist (E)
G.R. Mackelburg (E)
H.B. McCracken (E)
H.G. Nguyen (E)
M.E. Rasmussen (E)
R.S. Reich (T)
A.R. Waltz (E)
S.J. Watson (E)
A.W. Westerman (E)

OCEAN
TECHNOLOGY
BRANCH
CODE 944
X-31945

H.C. WHEELER, HEAD
E.A. Reed, Asst.

D. * Bullet (94/95)
C.V. Cargill (T)
M.A. Carroll (E)
J.D. Clinkenbeard (E)
J.B. DeFriest (T)
S.J. Hoard (T)
N.F. Johnson (E)
S.M. Norris (T)
J.L. Phillips (T)
C.C. Reader (E)
D.E. Ream (E)
J.A. Stegman (E)
R.L. Wernli (E)

ADVANCE
CONCEPTS
BRANCH
CODE 946
X-31956

DR. S.J. Cowen, HEAD
M.L. Soto, Asst.

J.D. Aboumrad (E)
M.R. Brininstool (E)
J.H. Daughtry (T)
J.H. Dombrowski (E)
A.R. Estabrook (E)
D.R. Grace (LWOP)
S.L. Hampton (T)
L.E. Henderson (LWOP)
W.A. Kerr (T)
W.H. Marn (E)
J.M. Morales (T)
J.A. Peugh (S)
D.M. Rosencrantz (E)
M.C. Scallon (E)
J.V. Thorn (S)
C.M. Young (E)

LEGEND: E = Engineer T = Technician S = Scientist A = Adm. Spec.

5. Präsentationen:

Der von Bob Wernli hervorragend vorbereitete Besuch folgte der

AGENDA OF NOSC VISIT
for the
International Advanced Robotics Programme
Federal Republic of Germany
on 12 June 1989

0930-1000	Arrive NOSC	Bayside Security	R. Wernli
1000-1015	Center Overview	Bldg 1, Rm A509	N. Estabrook
1015-1100	Ocean Engineering	"	R. Wernli
1100-1200	IARP Briefing, Discussion	"	Tom Martin
1200-1300	Lunch	Dolphin Club	R. Wernli
1300-1345	TOV Telepresence	Bldg 1, Rm A509	B. Kishimoto
1345-1400	AUSS Tour	Bldg 1	R. Wernli
1400-1415	Transit Topside	Bus	R. Wernli
1415-1430	FSMNV Tour	Transdec	P. Heckman
1430-1445	Transit Seaside	Bus	R. Wernli
1445-1600	TOV and ROBART	Bldg F36	CDR B. Everett
1600	Depart Center		

Zu den einzelnen Stationen werden ausgehend von meinen Handnotizen kurze Zusammenfassungen wichtig erscheinender Details gegeben:

- Der vorliegenden Unterlage "NOSC Brief" folgend gab N. Estabrook einen Überblick. Dabei erläuterte er auch Einzelheiten zu Organisation und Aufgabe seiner Ocean Engineering Division (siehe '88 Program Summary unter 3.). Es wird unter der Prämisse gearbeitet, daß die US NAVY weltweit möglichst alle Ozeane abzudecken hat. Der Übergang von einem entwickelten Prototyp bis zum operationellen Einsatz in der Flotte erfordert je nach System 15 bis 20 Jahre. Bob Wernli geht davon aus, daß in etwa 15 Jahren autonome Unterwasserfahrzeuge im Einsatz sein werden.

- In seiner technischen Übersicht geht Bob Wernli auf folgende Systeme ein:

- remote underwater work system (RUWS), max depth 20.000 ft.
- NASA System zur Booster Bergung für das Space-Shuttle

- classified advanced tethered vehicle (ATV) for deep ocean mission with fiber optic link
- tool exchange system, stereo-tv with and without zoom
- advanced unmanned search system (AUSS) mit zylindrischen Körper aus Kohlefaser-verstärktem Verbundwerkstoff (später besichtigt), ca.60 mm Wandstärke
- recover undersea worksystem package
- US-video Übertragung, slow scan mit 1 min/Bild mit Datenkompressions-technik
- fiber optic torpedo guiding, undersea optics, ceramic pressure hulls (6", AL203)

In der zwischengeschalteten Diskussion weist er darauf hin, daß erfahrungsgemäß für die wenigsten Arbeiten eine hohe Beweglichkeit und damit viele Manipulatorachsen erforderlich seien. Bei guter kraft- oder formschlüssiger Verbindung könnte sehr vieles "einarmig" gemacht werden.

- Herr Martin stellt kurz den deutschen IARP Hintergrund dar, Herr Schultheiß erläutert die Arbeiten der GKSS zu rechnergestützten Handhabungsgeräten für die Unterwassertechnik, Herr Scholl gibt einen Überblick über die KfK-Arbeiten und zeigt KfK-Video.
- Barry Kishimoto erläutert kurz die speziellen Aspekte der Telepresenz aus Sicht der NAVY und geht auf die Schlüsselbereiche Erkennung, Überwachung, Zielermittlung, Tag/Nacht-Betrieb und Waffenträger ein. Zu diesem Programm gehören auch Arbeiten an Landfahrzeugen. Mit einem Video zeigt er die Bedeutung der Farbübertragung für die Telepräsenz.
- Paul Heckmann stellte am Ultraschall-Testbecken des NOSC ein Modell eines Minensuchers vor, das modular aufgebaut ist, mit 1.5 kn vor dem Schiff läuft und ca. 6 mio US\$ kostet.
- Von CDR. Bert Everett (ROBART II Entwickler), Robin T. Laro (Team Leader Telepresenz-Fahrzeuge) und Gary Gilbreath (ROBART II Control) wurden über Glasfaserverbindung gesteuerte Fahrzeuge und der Sicherheitroboter ROBART II (Details s. Folgeseiten) vorgestellt.

6. Ergebnisse der Diskussion:

Ergebnisse im Sinne von Vereinbarungen wurden nicht erzielt. Es wurden freundlich aufgenommene Einladungen zu Gegenbesuchen ausgesprochen.

7. Zusammenfassung:

Der Besuch zeigte deutlich die Bandbreite der durch das amerikanische Verteidigungsministerium geförderten Forschungsarbeiten, und dies zum wiederholten Male!

Naval Ocean Systems Center
San Diego, CA 92152-5000



Technical Document 1450
January 1989

ROBART II

A Robotic Security Testbed

H. R. Everett
G. A. Gilbreath

ABSTRACT

ROBART II is a battery powered autonomous robot being used by the Naval Ocean Systems Center (NOSC) in San Diego, CA as a testbed in research which seeks to provide a multisensor detection, verification, and intelligent assessment capability for a mobile security robot. The intent is to produce a robust automated system that exhibits a high probability of detection with the ability to distinguish between actual and nuisance alarms. An architecture of eleven distributed microprocessors onboard the robot makes possible advanced control strategies and real-time data acquisition. Higher level tasks (map generation, path planning, position estimation, obstacle avoidance, and statistical security assessment) are addressed by a Planner (currently a remote 80386-based desktop computer). Numerous sensors are incorporated into the system to yield appropriate information for use in position estimation, collision avoidance, navigational planning, and assessing terrain traversability.

The robot is also equipped with a multitude of sensors for environmental awareness in support of the role as an intelligent sentry. These sensors monitor both system and room temperature, relative humidity, barometric pressure, ambient light and noise levels, toxic gas, smoke, and fire. Intrusion detection is addressed through the use of five passive true-infrared body heat detectors, four passive optical motion detectors, ultrasonic motion detectors, microwave motion detectors, video motion detection, vibration monitoring, and discriminatory hearing.

The real-time security software computes a composite threat assessment by summing the weighted scores of alarmed sensors within a given zone. If the zone composite threat exceeds a dynamically computed threshold, a true alarm condition exists. An adaptive network system (ANS), or "neural net" architecture is also under development for temporal security assessment. The ANS will employ a Gaussian classification based on adaptive kernel estimation, a temporal subsystem, and an attention subsystem to allow the system to learn the sequences corresponding to threats.

Two separate drive motors provide for differential steering, allowing the robot to turn in place in order to maneuver in congested indoor environments. The unit is housed in a rugged plastic and fiberglass body, measuring 17 inches wide and 23 inches long at the base, and extending to a height of 50 inches. Approximately 256 internal circuitry checkpoints constantly monitor circuit performance, system configuration, operator-controlled switch options, cable connections, and interface card integrity, etc., with speech output generated by the self diagnostics to advise of any difficulties.

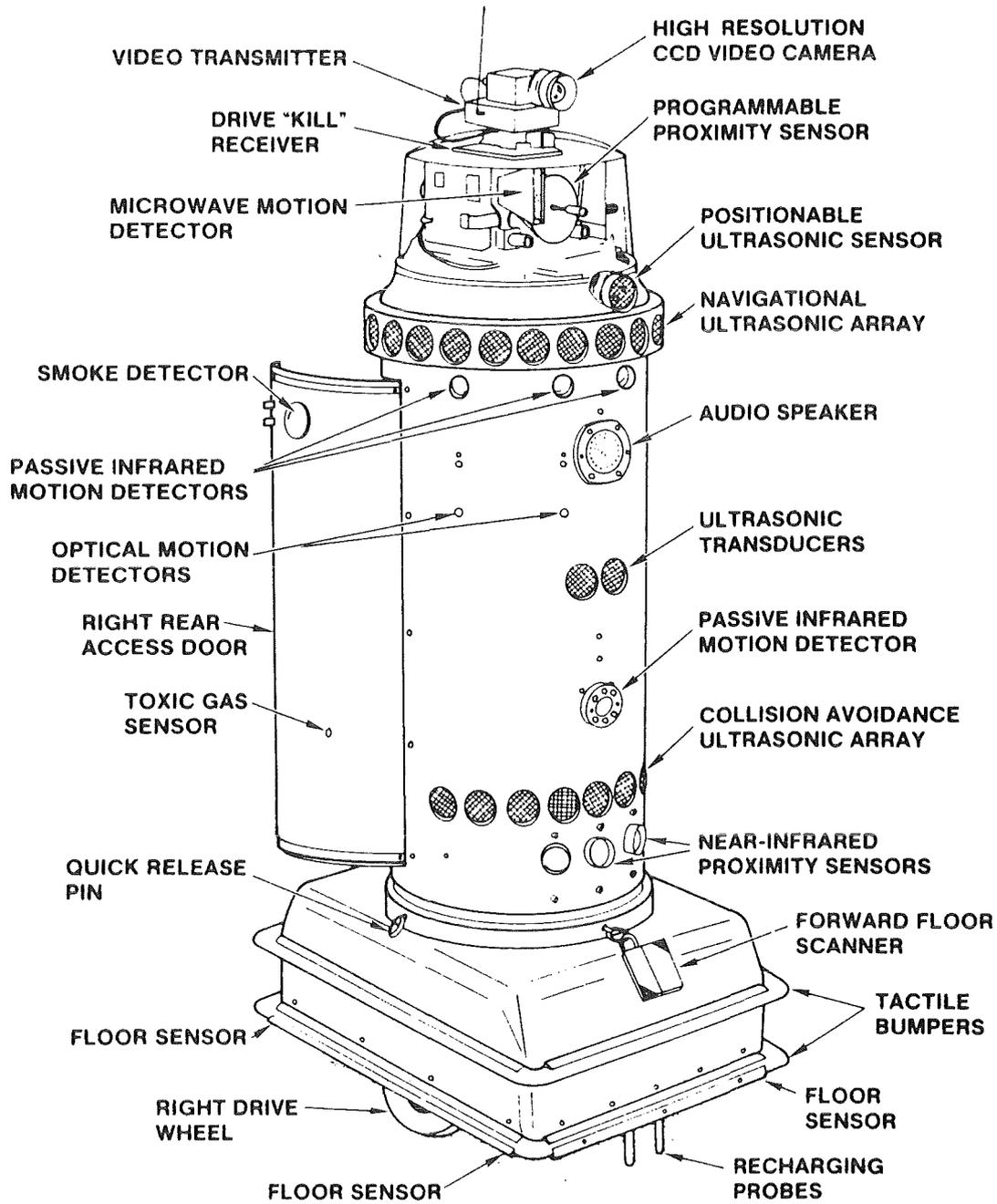


Figure 10. Over 128 external sensors are employed on ROBERT II to obtain information describing the immediate environment.

Teilbericht
NASA Jet Propulsion Laboratory
von K.-H. Münch

1. Name der Institution

N A S A

Jet Propulsion Laboratory

California Institute of Technology
National Aeronautics and Space Administration
Pasadena, California 91109

Office of public Information
Telephone (818) 354-5011

2. Gesprächspartner

Edmond J. Momjian
Legislative and International Affairs Office

Brian H. Wilcox
Technical Group Supervisor
Robotics & Teleoperators Research Group

R. James Firby, Ph.D.
Robotic Intelligence Group

3 — Entwicklungsthemen der Institution

Schwerpunkte des Jet Propulsion Laboratory sind:

- a) Die Erkundung der Erde und des Solarsystems mit automatisierten Raumfahrzeugen.
- b) Gestaltung und Bearbeitung des globalen "Deep Space Tracking"-Netzwerkes.
- c) Zukunftsgerichtete und ingenieurmäßige Forschung zur Unterstützung bei anderen dringenden nationalen Bedürfnissen

JPL hat unter anderem folgende Projekte durchgeführt:

- die Ranger und Surveyor Mission zum Mond
- die Mariner Mission zur Erkundung des Mars, der Venus und des Merkur
- die Viking Mars Orbiters
- die Voyager Mission zum Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun
- den Infrared Astronomical Satellite (IRAS), ein Infrarot Teleskope in der Erdumlaufbahn

Die nächste Generation der JPL-Aufgaben zur detaillierteren Erkundung der Planeten schließt folgende Projekte ein.

- Galileo, ein Jupiter Orbiter
- Magellan, ein Venus Orbiter und
- Mars Observer

JPL ist ebenso ein wichtiger Partner bei internationalen Aufgaben zur Überwachung der Sonnenpole (Ulysses) sowie bei der Messung des Ozean-Niveaus und der Ozean-Strömungen (TOPEX).

4. Allgemeine Angaben

Das Jet Propulsion Laboratory wurde 1958 aus der Zuständigkeit der Armee heraus der NASA unterstellt. Heute ist es eine Division des California Institute of Technology, welche Einrichtungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) benutzt. Im Nordwesten von Pasadena werden auf etwa 700 000 m² ca. 5 400 Mitarbeiter beschäftigt.

Zusätzlich zu den Einrichtungen bei Pasadena in Kalifornien betreibt JPL ein Observatorium auf dem Table Mountain in Kalifornien, eine Raketen-Teststation in Edwards Airforce Base, Kalifornien, eine Raketen- Abschubbasis in Cape Canaveral, Florida, und ein Space Station Support Office in Reston, Virginia.

5. Präsentationen

5.1 Projekt Galileo

Mit diesem Projekt sollen erstmals direkte Messungen von einer instrumentierten Raumsonde innerhalb der Jupiteratmosphäre durchgeführt werden. Gleichzeitig sind Untersuchungen der Magnetosphäre und der benachbarten Satelliten vorgesehen.

Die an das Projekt gestellten Erwartungen werden - in Anlehnung an den italienischen Wissenschaftler aus der Renaissance - auch in der Namensgebung sichtbar.

Das Jet Propulsion Laboratory plant den Shuttlestart für Oktober/November 1989.

Ursprünglich war ein zweieinhalbjähriger Direktflug zum Jupiter geplant. Änderungen im Startsystem aufgrund von Erfahrungen aus dem Challenger-Unglück machten dies jedoch unmöglich.

Flugbahningenieure entwickelten deshalb einen gravitationsunterstützten interplanetarischen Flug. Dieser sogenannte Venus-Earth-Gravity-Assist (VEEGA)-Flug wird über 6 Jahre dauern.

Wesentliche Stationen sind:

Febr. 1990	Venus Gravity Assist
Okt. 1990	Venus data playback
Dez. 1990	Earth first Gravity Assist
Okt. 1991	Asteroid Gaspa Flyby
Dez. 1992	Earth second Gravity Assist
Aug. 1993	Asteroid Ida Flyby
Jul. 1995	Probe Release

- Dez. 1995 Jupiter Encounter/Probe entry
- Orbital tour of Galilean satellites
 Europa
 Ganymede
 Callisto
- Jul. 1996 First Ganymede encounter

Entsprechend der Aufgabenstellung, die Jupiteratmosphäre, seine Satelliten und die Magnetosphäre zu untersuchen, ist auch Galileo in drei Systeme gegliedert:

- **Probe (die Sonde)**

Sie wird allein in die Jupiteratmosphäre eintreten und Meßdaten mit 128 Bits pro Sekunde zur Relais-Station (Galileo) senden.

- **Non-Spinning Section**

Ein relativ zur Sonne fest ausgerichtetes System, welches die Sonde, die Kameras und andere zielgerichtete Sensoren trägt. Die Auflösungen sollen bis zu 1000mal besser als die von Voyager 2 sein.

- **Spinning Main Orbiter**

Ein mit 3 - 10 Upm rotierendes Systemteil mit der Kommunikationsantenne (max 134 kBits pro Sekunde), dem (Haupt-) Rechnersystem, dem Antriebssystem (von MBB) und der Energieversorgung.

SPACECRAFT CHARACTERISTICS

	<u>ORBITER</u>	<u>PROBE</u>
Mass, lb (kilograms):	5230 (2377 kg)	744 (338 kg)
Height:	21 feet (6.3 m)	34 inches (86 cm)
Instrument payload:	10 instruments	6 instruments
Payload mass, lb (kg)	260 (118)	66 (30)
Electric power:	RTGs, 570-480 watts	Lithium-sulfur battery, 730 w-h

GALILEO SCIENTIFIC EXPERIMENTS

Experiment/Instrument "Principal Investigator" Objectives

Probe

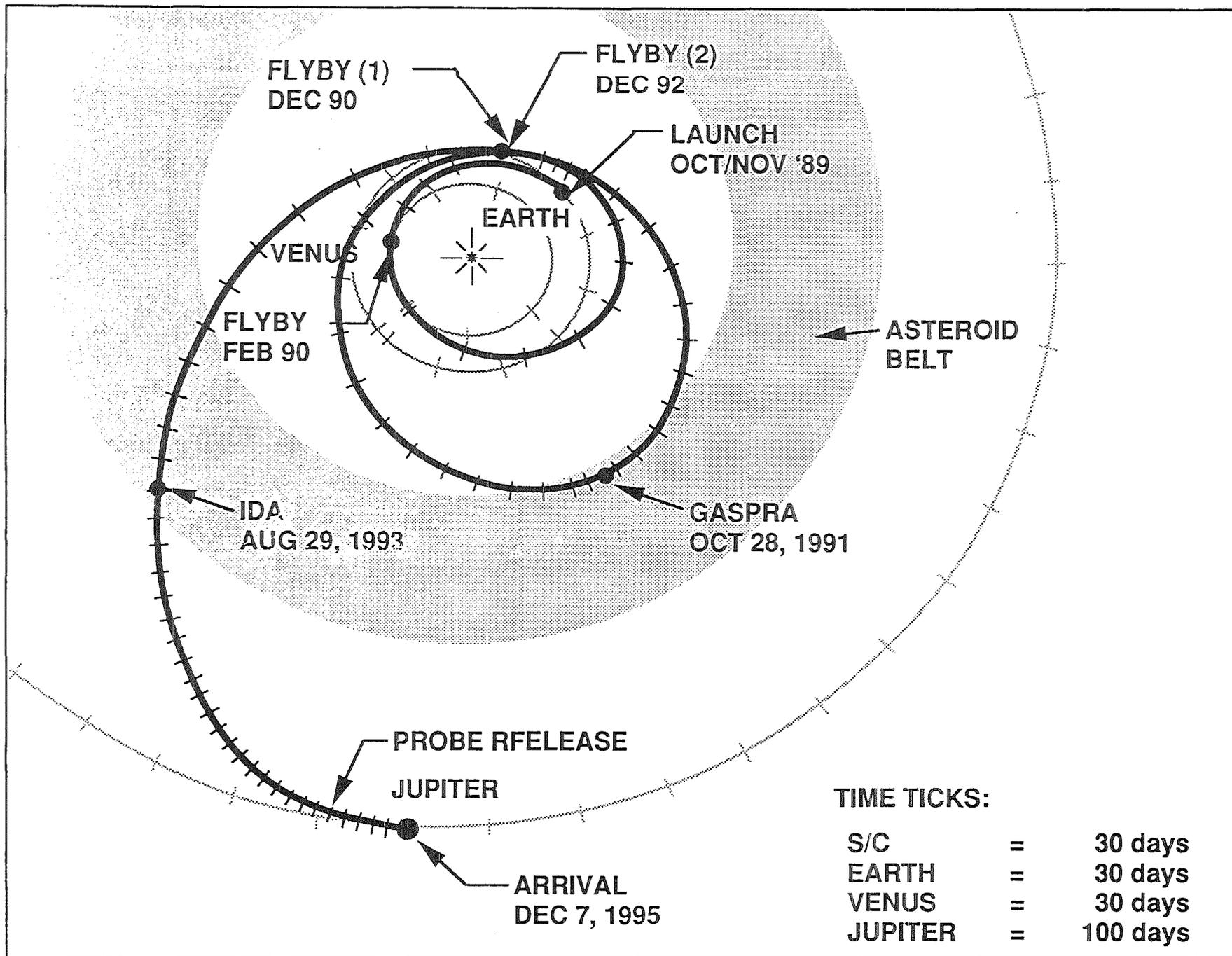
Atmospheric Structure	A. Seiff, NASA Ames Research Center	Temperature, pressure, density, molecular weight profiles
Neutral Mass Spectrometer	H. Niemann, NASA GSFC	Chemical composition
Helium Abundance	U. von Zahn, Bonn University, FRG	Helium/hydrogen ratio
Nephelometer	B. Ragent, NASA Ames	Clouds, solid/liquid particles
Net Flux Radiometer	L. Sromovsky Univ. of Wisconsin	Thermal/solar energy profiles
Lightning/Energetic Particles	L. Lanzerotti, Bell Laboratories	Detect lightning, measure energetic particles

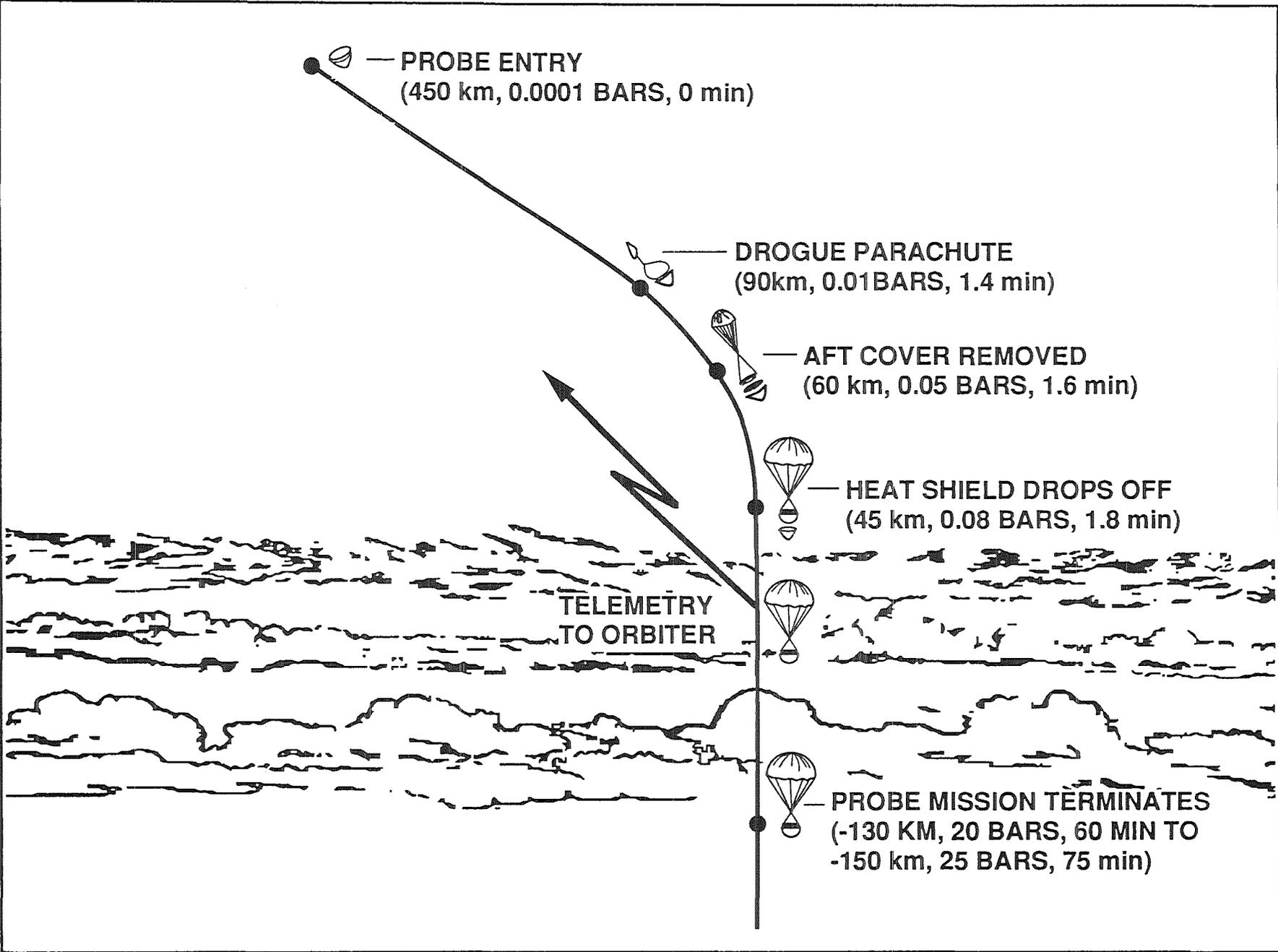
ORBITER (DESPUN)

Solid-State Imaging Camera	M. Belton, NOAO (Team Leader)	Galilean satellites at 1 km resolution or better, other bodies correspondingly
Near-Infrared Mapping Spectrometer	R. Carlson, NASA/JPL	Surface/atmospheric composition, thermal mapping
Ultraviolet Spectrometer	C. Hord, Univ. of Colorado	Atmospheric gases, aerosols, etc.
Photopolarimeter Radiometer	J. Hanssen, Goddard Institute	Atmospheric particles, thermal/reflected radiation

ORBITER (SPINNING)

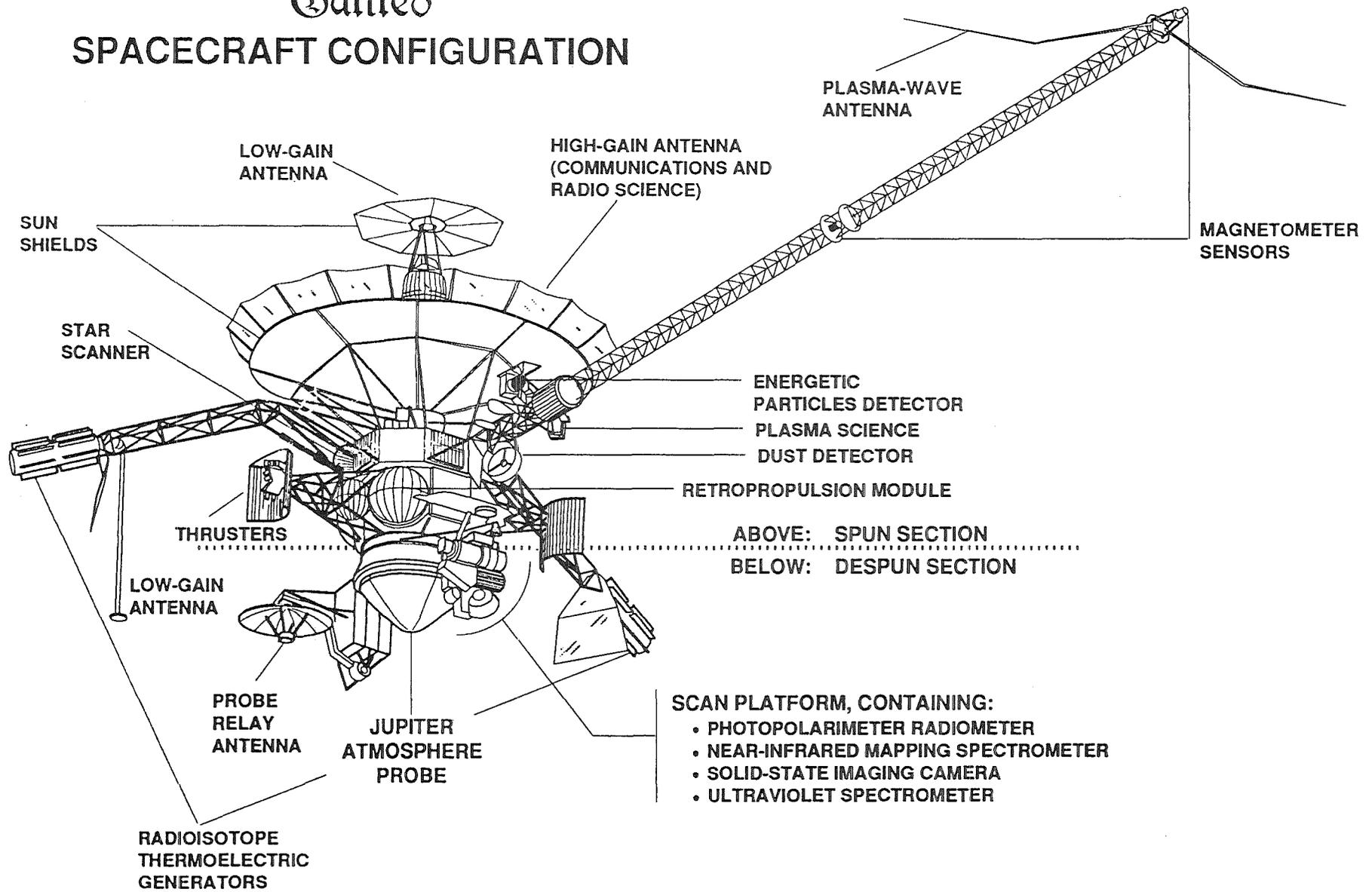
Magnetometer	M. Kivelson, UCLA	Strength and fluctuations of magnetic fields
Energetic Particles	D. Williams, Johns Hopkins APL	Electrons, protons heavy ions in atmosphere
Plasma	L. Frank, Univ. of Iowa	Composition, energy, distribution of ions
Plasma Wave	D. Gurnett, Univ. of Iowa	Electromagnetic waves and wave-particle interactions
Dust	E. Grun, Max Planck Institute	Mass, velocity, charge of sub-micron particles
Radio Science: Celestial Mechanics	J. Anderson, JPL (Team Leader)	Masses and motions of bodies from spacecraft tracking
Radio Science: Propagation	H.T. Howard Stanford Univ.	Satellite radii, atmospheric structure, from radio propagation





Galileo

SPACECRAFT CONFIGURATION



5.2 Telerobot Research Programm

Erfahrungen aus vergangenen Raumfahrtprojekten haben gezeigt, daß herkömmliche Robotertechniken nicht geeignet sind, und auch fortschrittliche Manipulatortechniken wegen der gegebenen Randbedingungen deutlich verbessert werden müssen. Wesentliche Randbedingungen sind:

- Leichtbauweise
damit sind u.a. das Ausregeln von Störgrößen durch flexible Mechanik sowie Synchronsteuerungen mehrerer Manipulatoren erforderlich
- Eingeschränkte Kommunikation
Datenübertragungsraten, Laufzeiten etc.

Das Jet Propulsion Laboratory experimentiert deshalb für folgende Missionsschwerpunkte

- Greifen bewegter Satelliten im freien Raum
- Einfache Montagevorgänge

Entwickelt wurde eine hierarchische Systemstruktur mit verteilter Intelligenz vor Ort und auf der Erde. Die Aktionen des Operators werden hierbei durch wissensbasierte Systeme on-line optimiert. Installiert sind VAX-, SUN- und SYMBOLICS-Rechner sowie VME-Bus Systeme für die Steuerungs- und Regelungsebenen.

Folgende Subsysteme sind u.a. in den Versuch eingebunden:

- Mensch Maschine Interface mit
 - Sprach-Ein/Ausgabesystem von VERBEX
 - 6 DOF Masterarm mit Kraftrückmeldung

- Image Pipeline Prozessorsystem zur Berechnung der (Satelliten) Geschwindigkeit und Rotationswinkel. Diese Daten werden zur Zeit im 2 Sekundentakt an das Manipulatorkontrollsystem übergeben.
- Kraft- und Drehmomentsensorsysteme für Satellitenbremskräfte in den Manipulatorhandgelenken sowie für andere Synchronarbeiten.

Nach Aussagen von JPL ermöglichen die oben beschriebenen Systeme schon heute Arbeiten, welche ein "einfacher" Operator nicht ausführen kann.

5.3 Planetary Rover Programm

Für zukünftige Erkundungen des Sonnensystems werden von der NASA Mobilität und Möglichkeiten zur Probenentnahme gefordert.

Die Pathfinder Planetary Rover (PPR) und Sample Acquisition Analysis and Preservation (SAAP) Programme dienen der Entwicklung und Bestätigung erforderlicher Technologien für unbemannte Roboter auf unterschiedlichen Planetenoberflächen.

Gezeigt wurden:

* Video zum Thema Marsrover mit CARD/SAN Unterstützung

- Computer Aided Remote Driving (CARD)

Mit dieser Methode werden Stereobilder vom Rover zur Erde gesandt. Der Operator bestimmt aus diesen Informationen einen "sicheren" Weg im Sichtbereich

und sendet ihn zum Rover. Wegverfolgung und Hinderniserkennung werden über Koppelnavigation und rechnergestützte Bildverarbeitung ausgeführt.

Dieser Prozeß wird beliebig wiederholt. Abhängig vom Gelände können 5 m - 30 m pro Iteration zurückgelegt werden. Bei 2 - 7 Kommandozyklen von der Erde sind Tagesstrecken von 10 m - 200 m möglich.

- Semiautonomous Navigation (SAN)

Hier wird die Wegplanung automatisch vom Rover vor Ort durchgeführt. Unterstützt wird dieses durch topographische Satellitenbilder mit Zielmarken, welche in größeren Zeitabständen von der Erde zum Rover gesandt werden. Dieser vermisst das vor ihm liegenden Gelände mittels Stereokameras oder Laserscanner, erstellt eine lokale Topographie, bestimmt "sichere" Wege und folgt diesen wie oben beschrieben. Mit dieser Methode sind Tagesstrecken von 700 m - 7000 m denkbar.

* Pathfinder Teleoperated Robot

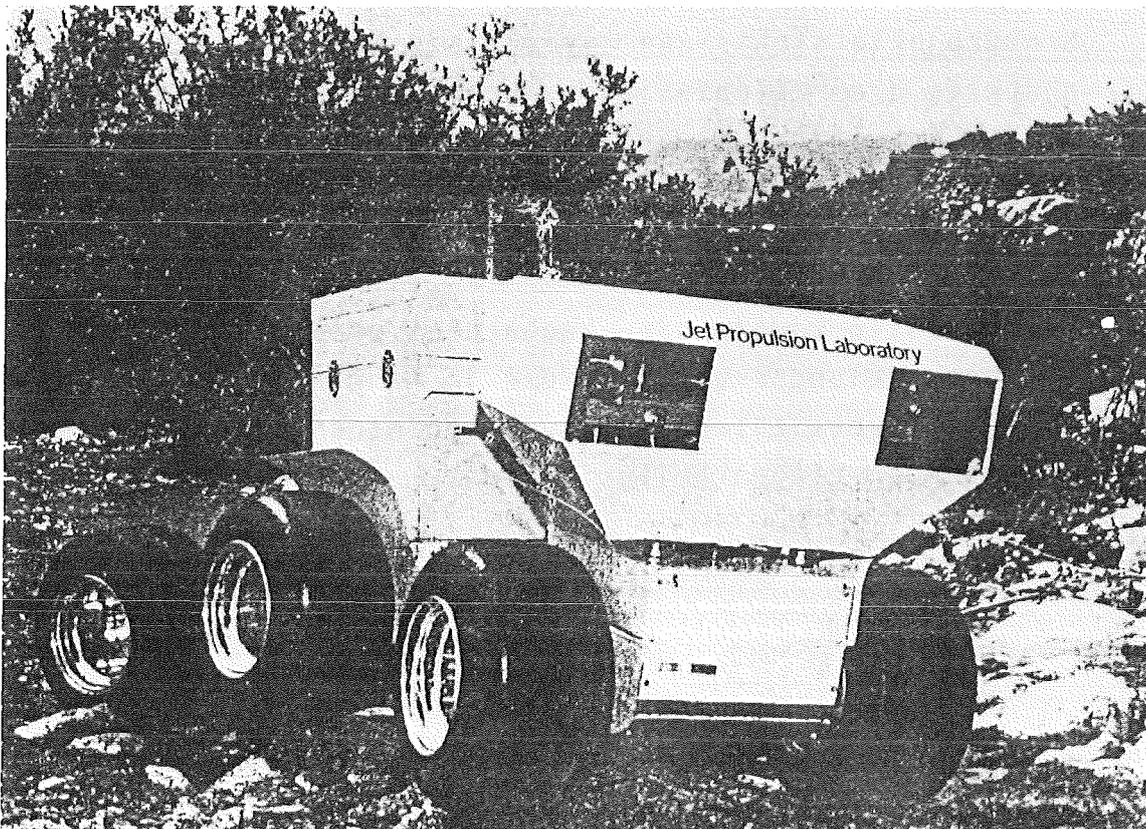
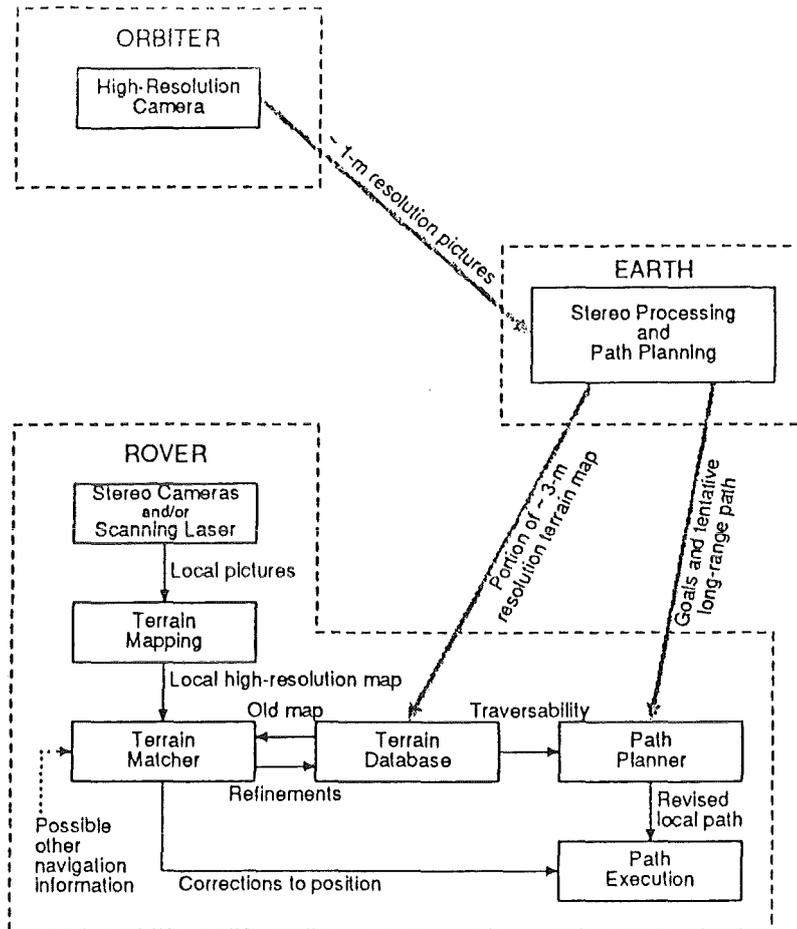
Dieses Fahrzeug wird aktuell von JPL entwickelt. Der weitgehend fertiggestellte mechanische Aufbau wurde im Labor besichtigt.

Es handelt sich um ein dreiachsiges Fahrzeug ähnlich dem des Marsrover mit Gelenken zwischen den Achsen. Als

Antrieb sitzen in jeder Achse zwei bürstenlose Gleichstrommotoren (24 Volt, harmonicdrive)

- Achse 1
 - Manipulator mit 8 Freiheitsgraden für Probenentnahme (ca. 5 kg pro Mission), auf einen Werkzeugwechsler wird verzichtet
 - Frontplattensensor für eventuellen Hinderniskontakt
- Achse 2
 - Stereosichtsystem (CCD-Kameras) für Navigation/Wegplanung mit der Zielsetzung, eventuell auf den Einsatz eines Laserscanners zu verzichten.
 - Sensorsystem (nach dem Lichtschnittverfahren) zur Hinderniserkennung auch durch Lichtschnittsensor
 - Rechnersystem basierend auf VME-Bus mit RISC-Architektur
- Achse 3
 - Stromversorgung, z.Z. kommerzielles Benzinaggregat für Versuchsfahrten. Im realen Einsatz sind Kernaggregate oder auch Batteriesysteme denkbar.

Geplant ist ein 100 m Probelauf für Ende 1989. Mittelfristig (innerhalb von 5 Jahren) wird eine Tagesleistung von 20 - 30 km pro Tag angestrebt.



Marsrover für die 90er Jahre

6. Ergebnisse der Diskussion

Technische Diskussionen wurden im Rahmen der Präsentationen geführt. Es waren fast ausschließlich Verständnisfragen, die aufgrund der unterschiedlichen Interessenlagen und Gruppierungen den Rahmen des Berichtes sprengen würden und daher hier nicht aufgeführt sind.

Wichtiges Ergebnis ist die Tatsache, daß schwerpunktmäßig an interaktiven Steuerungsverfahren (Eingriff im Ausnahmefall oder in größeren Zeitabständen) gearbeitet wird und die völlige Autonomie wohl eher ein Fernziel bleibt.

7. Zusammenfassung

Bedingt durch die Aufgabenstellung, technisch aufwendige Großprojekte sicher und zuverlässig durchzuführen, beeindruckten die Präsentationen durch zielgerichtete ingenieurmäßige Arbeiten. Geradezu wertanalytisch werden Funktionen begründet und Hardware ausgewählt. Technische "Spiele-reien" haben auf den Zielsystemen keinen Platz.

Gleichzeitig konnte hier beobachtet werden, wie Forschungs- und Entwicklungsergebnisse der im Rahmen der Reise besichtigten Universitäten/Institute konsequent in praktische Anwendungen eingearbeitet werden.

8. Liste der Publikationen

- The Deep Space Network
- The CRAF and CASSINI Mission of the Mariner Mark II Programm
- CRAF
Comet Rendevous Asteroid Flyby
- CASSINI Mission
- VOYAGER
- Uranus Science Summary
- VOYAGER 2
Encounter of Neptune
- Project GALILEO
- Mission to Jupiter
- MAGELLAN The Unveiling of Venus
- MAGELLAN Synthetic Aperture Radar
- MAGELLAN Venus Radar Mapper
- Mars Observer
- ULYSSES
International Solar Polar Mission
- Planetary Rover Technology Development Requirements
- Implementation and Design of a Teleoperation System
based on a VME-Bus/68020 Piplined Architecture

Teilbericht
Stanford University, Robotics Laboratory
von R. Dillmann

1. Department of Computer Science, Robotics Laboratory, Stanford University,
Stanford, California 94305
Tel. (415) 723 - 0350
E-Mail: LATOMBE @ WHITNEY. STANFORD. EDU
Gastgeber: Prof. Jean-Claude Latombe

2. Robotik wird an der Stanford University im wesentlichen durch

a) das Department of Mechanical Engineering

- Prof. B. Roth
- Prof. Ch. Cutkosky
- Prof. Leifer

und

b) das Department of Computer Science, Robotics Laboratory

- Prof. T. Binford (Maschinelles Sehen)
- Prof. O. Khatib (Steuerung und Regelung von Robotern)
- Prof. J.-C. Latombe (Planungssysteme)

betrieben.

3. Die Forschungsprojekte des Robotics Laboratory betreffen folgende Themen:

- Fertigungsautomatisierung (Montage-gerechte Produktgestaltung)
- Raumfahrtanwendungen (Montageoperationen im Orbit)
- Roboteranwendungen im Rehabilitationsbereich (Behinderte)
- Büroautomatisierung (kleine mobile Roboter zur Unterstützung von Büros
(etwa 150 Roboter geplant)
- Autonome mobile Robotersysteme
- Neue Manipulatorstrukturen (10 Gelenkfreiheitsgrade für Montageoperationen)

Weitere Forschungsthemen betreffen die Gebiete Modellierung von Kinematiken, Modellierung der Dynamik kinematischer Ketten, Steuerungs- und Regelungsentwurf, Planungsalgorithmen, Manipulation von sensiblen Feinstrukturen und die Entwicklung von maschinellen Sichtsystemen.

4. Die Projekte des Robotics Laboratory werden überwiegend durch die NASA, das DOD und das NBS gefördert. Darüber hinaus stehen neben Finanzmitteln aus industrieller Vertragsforschung, Fördermitteln von Industrie (14 Firmen) und Sponsoren (35) zur Verfügung. Der personelle Anteil von PhD Studenten in der Forschung ist relativ hoch.

Die Geräteausstattung des Robotics Laboratory entspricht dem in den USA üblichen Standard.

5. Folgende Projektpräsentationen fanden statt:

a) Jerome Barraquand (Latombe)

Planung von Robotertrajektorien

Dieses Projekt befaßt sich mit der Bahnplanung von kollisionsfreien Bahnen für komplexe kinematische Strukturen zwischen verteilten Hindernissen hindurch. Ziel ist ein parallelisierbarer und damit schneller Planungsalgorithmus für Fahrzeuge (Routenplanung) und für Manipulatoren mit hohen Gelenkfreiheitsgraden (10 Gelenkfreiheitsgrade und mehr). Der Planer soll eine Bewegung in Konfigurationsraum-Darstellung generieren, so daß das inverse kinematische Problem vermieden werden kann.

Das entworfene Planungsverfahren nutzt anstelle einer komplexen Konfigurationsraumrepräsentation einfache nieder-dimensionale Repräsentationen der Roboterumwelt. Dies erlaubt die systematische Anwendung von einfachen numerischen Algorithmen auf geometrische und physikalische Strukturen. Insbesondere werden numerische Potentialfelder in reduzierten Konfigurationsräumen genutzt, damit möglichst wenige lokale Minima auftreten. Zur Überwindung der lokalen Minima wird zwischen den Minima ein Graphnetz aufgespannt und Graphsuchverfahren angewandt.

Eine VLSI Implementierung der schnellen Suchalgorithmen ist geplant, um Echtzeitplanungsverfahren zu realisieren.

Papers: J. Barraquand, J.-C. Latombe: "Robot Motion Planning: A Distributed Representation Approach", Report No. STAN-CS-89-1257

J.-C. Latombe: "Motion Planning With Uncertainty: The Preimage Backchaining Approach", Report No STAN-CS-88-1196

b) David Kriegmann (Binford)

Generische Modelle zur Unterstützung der Navigation mobiler Roboter

Ziel dieses Projekts ist die Nutzung generischer Umweltmodelle, sowie erfaßte Sensorinformationen zur Instanzierung der aktuellen Roboterumwelt. Die Instanzierung der Roboterumwelt soll mit Hilfe eines epipolaren Stereosichtsystems sowie eines monokularen Sichtsystems erfolgen. Das generische Umweltmodell beschreibt Räume innerhalb von Gebäuden. Nach der Instanzierung eines Raums können Navigationsverfahren für mobile Roboter angewandt werden. Die Methode der Instanzierung generischer Modelle durch Sichtsysteme wurde am Beispiel eines generischen Schraubenmodells erfolgreich erprobt. Geplant ist die Nutzung der generischen Modelle zur Unterstützung der Bahnplanung und Navigation von mobilen Robotern in geschlossenen Räumen.

Paper: D.J. Kriegmann, T. Binford, T. Sumanaweena: "Generic Models for Robot Navigation", 1988. DARPA Image Understanding Workshop.

c) Jean Ponce (Binford)

Modellbasiertes maschinelles Sehen

Modelle gekrümmter 3-dimensionaler Objekte mit komplexer Oberfläche können explizit mit der Hülle von Bildkonturen in Beziehung gestellt werden. Diese Beziehung kann zur Objekterkennung und zur Bestimmung deren Lage genutzt werden. Objektmodelle bestehen aus einer Menge algebraischer Oberflächenausschnitte und ihren Schnittkurven, aus denen markante Merkmale abgeleitet werden können. Diese algebraischen Beschreibungsmethoden sind aus dem CAD und der klassischen Bildverarbeitung bekannt. Die Bildkonturen werden als Projektionen der Diskontinuitäten der Oberflächensegmente betrachtet. Unter dieser Annahme können die impliziten Gleichungen von Bildkonturen eines Objekts unter orthografischer oder perspektivischer Projektion abgeleitet werden. Diese Gleichung ist parametrisiert durch die Lage und Orientierung des Objekts relativ zu dem Beobachter. Bildererkennung bedeutet somit eine Übereinstimmung zwischen theoretischer Kontur und den beobachteten Bildpunkten zu finden. Zur Vereinfachung werden die theoretischen Konturkanten aus CSG-Objektbeschreibungsbäumen abgeleitet. Die Kanten zwischen den Volumenprimitiven werden dann perspektivisch variiert. Am Beispiel von Tori unterschiedlicher Größe wurde die Methode demonstriert.

Paper: J. Ponce, D.J. Kriegmann: "On Recognizing and Positioning Curved 3 D Objects from Image Contours", 1988, DARPA Image Understanding Workshop

d) R. Howe (Cutkosky)

Entwicklung von Greifern zur Manipulation sensibler Objekte und autonomen Reflexen
Eine künstliche Haut wurde vorgestellt, mit der Kontakteigenschaften während eines Manipulationsvorgangs erkannt werden können. Der Sensor nutzt eine sogenannte Elektro-Rheologische Flüssigkeit, mit der weiche Kontakte erkannt werden können. Darüberhinaus kann die Beschleunigung der Hautoberfläche sowie Rutsch- und Berührungstexturen ermittelt werden. Mit elastischen Schaumgummikonfigurationen wird experimentiert.

e) W. Choi (Roth, Cutkosky)

Autonome mobile Roboter für den Büroeinsatz

Für Einsatzzwecke im Bürobereich wurde ein Grundfahrzeug, das sogenannte "Gofer Base" entwickelt. Das 3-rädrige Fahrzeug ist mit Ultraschallsensoren, mit Laser- und Infrarotsensoren sowie Berührungssensoren ausgestattet. Über Weggeber wird die translatorische und rotatorische Weginformation der Verfahwege gewonnen. Auf dem Fahrzeug befinden sich eine Steuerung mit lokaler Autonomie, die Fahrbefehle decodiert, Entscheidungen fällen kann und mit einem Wirtsrechner über eine Telemetrestrecke kommunizieren kann. Die Bahnplanung im Wirtsrechner ist hierarchisch strukturiert. Sie beruht auf einer Viererbaum Repräsentation (Quadtree) der Umwelt. Über diese Viererbaumrepräsentation der Landkarte lassen sich um Hindernisse Verfahwege planen, auch um dynamische Hindernisse. Siehe beigefügte Bilder.

f) Automatische Montageplanung (Latombe)

Aus einer vorgegebenen geometrischen Spezifikation von Werkstücken soll eine mögliche Montagefolge abgeleitet werden. Hierzu wird ein Satz von Planungsmoduln angewandt. Er besteht aus einem Montage Sequenz Planer, einem Stabilitätsanalysemodul, einem Fügeplaner, einem Greifmodul, das auch Bewegungsrestriktionen berücksichtigt, einem Modul Bestimmung von Montagebewegungsfreiheitsgraden und einem Bewertungsmodul zur Berechnung des Montageaufwandes.

Mit Hilfe eines UND/ODER Graphs können alle möglichen Montagereihfolgen oder Teilmontageoperationen abgeleitet werden. Er ist vollständig, kompakt und erlaubt die Ermittlung einer optimalen Montagesequenz. Das Stabilitätsanalysemodul ermittelt Kontaktflächen, Rutschflächen, stabile Lagen und geometrische Restriktionen. Interessant ist das Modul zur Ermittlung der Kontrollflächen und damit der verbleibenden Freiheitsgrade für die Montage.

Das Projekt befindet sich erst in der Initialphase und ist noch nicht weit fortgeschritten.

g) Oussama Khatib

Manipulationsprojekt des Robotics Institute

Khatib befaßt sich systematisch mit der Analyse und Regelung von Manipulatorsystemen unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Endeffektoren. Ziel des Steuerungsentwurfs ist die Abbildung einer Handhabungsaufgabe auf Gelenkwinkelspezifikationen. Unter Verwendung der Bewegungsgleichung wird eine lokale Gelenkkraft - und Lageregelung vorgeschlagen. Sie erlaubt die Erfassung kleiner Bewegungen auch in der Umgebung von Singularitäten. Dies ist interessant, insbesondere für Manipulatoren mit hohen Gelenkfreiheitsgraden (10 Gelenkfreiheitsgrade).

Khatibs Forschungsschwerpunkte betreffen:

- Die Analyse von Roboterbewegungen mit Kontakt zu Oberflächen
- Die kinematische Analyse von Manipulatoren mit geometrischen und topologischen Werkzeugen
- Die Analyse von Reibungseffekten in Roboterantriebssystemen
- Die Optimierung der Dynamik in Teilen der Endeffektor Charakteristik.
- Die automatische Generierung der symbolischen Bewegungsgleichung für Manipulatoren
- Die Identifikation von dynamischen Parametern
- Der Entwurf von Roboterregelungen für Kraft- und Lageregelung
- Die Objektmanipulation mit Multi-Armsystemen
- Die Manipulation von Objekten mit Mehrfingergreifern
- Echtzeitkollisionsvermeidung und Feinbewegungsplanung

Paper: O. Khatib: "A Unified Approach for Motion and Force Control of Robot Manipulators: The Operational Space Formulation", IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.1., Febr. 1987

6. und 7. Ergebnisse der Diskussion und Zusammenfassung

Die Ziele des Robotics Laboratory bestehen mittelfristig darin, Robotersysteme genauer, vielseitiger und leichter programmierbar zu machen. Der Schritt zu redundanten Systemen mit hohen Gelenkfreiheitsgraden wurde durch systematische Analysearbeiten bereits vollzogen. Dies gilt auch für Mehrarmrobotersysteme, Gehautomaten und Mehrfingergreifer.

Große Aufmerksamkeit wird dem kraftgeregelten Feinbewegungsbereich gewidmet. Dies ist ein wesentlicher Schritt zur Erhöhung der Sicherheit und erschließt neue Anwendungsbereiche. Im kognitiven Bereich steht die Navigation und Routenplanung sowie taktile Texturerkennung und komplexe Objekterkennung im Vordergrund. Stereo-Sehen ist bereits weitgehend in Anwendung.

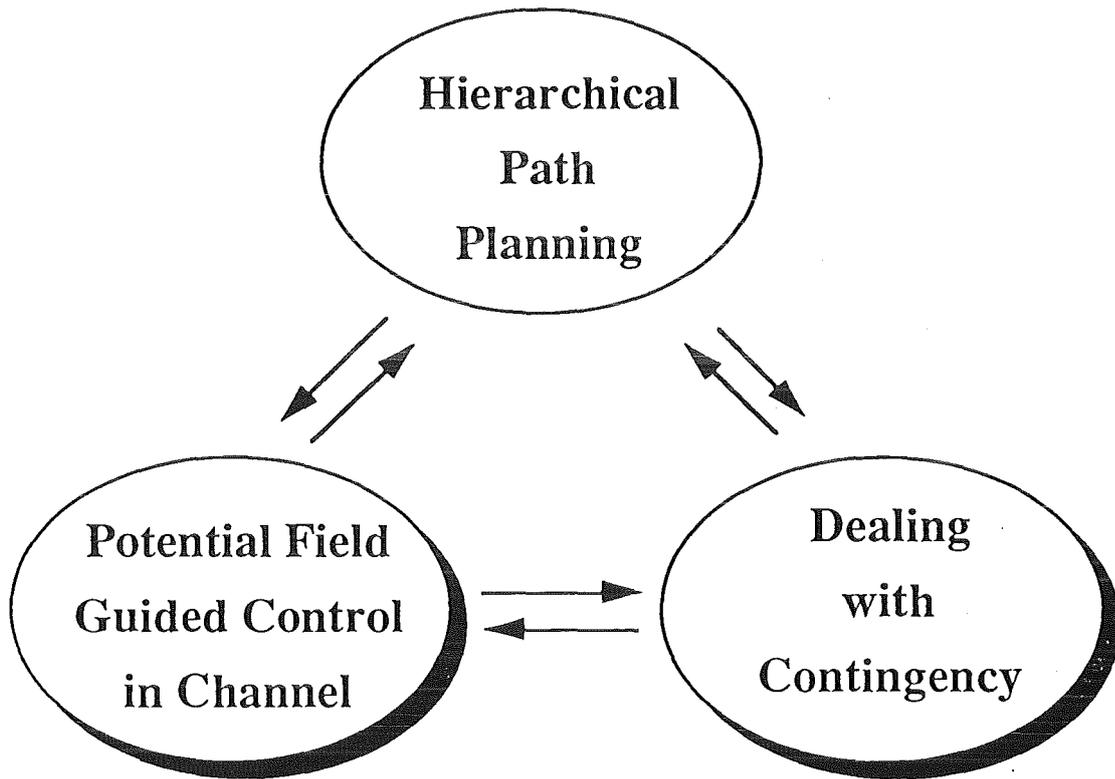
Zur Erlangung von Autonomie wird an automatischen Planungswerkzeugen gearbeitet. Diese betreffen die kollisionsfreie Bahnplanung für komplexe kinematische Ketten und Fahrzeuge. Diese Arbeiten sind mit Forschungsaktivitäten in Europa und auch in der BRD vergleichbar.

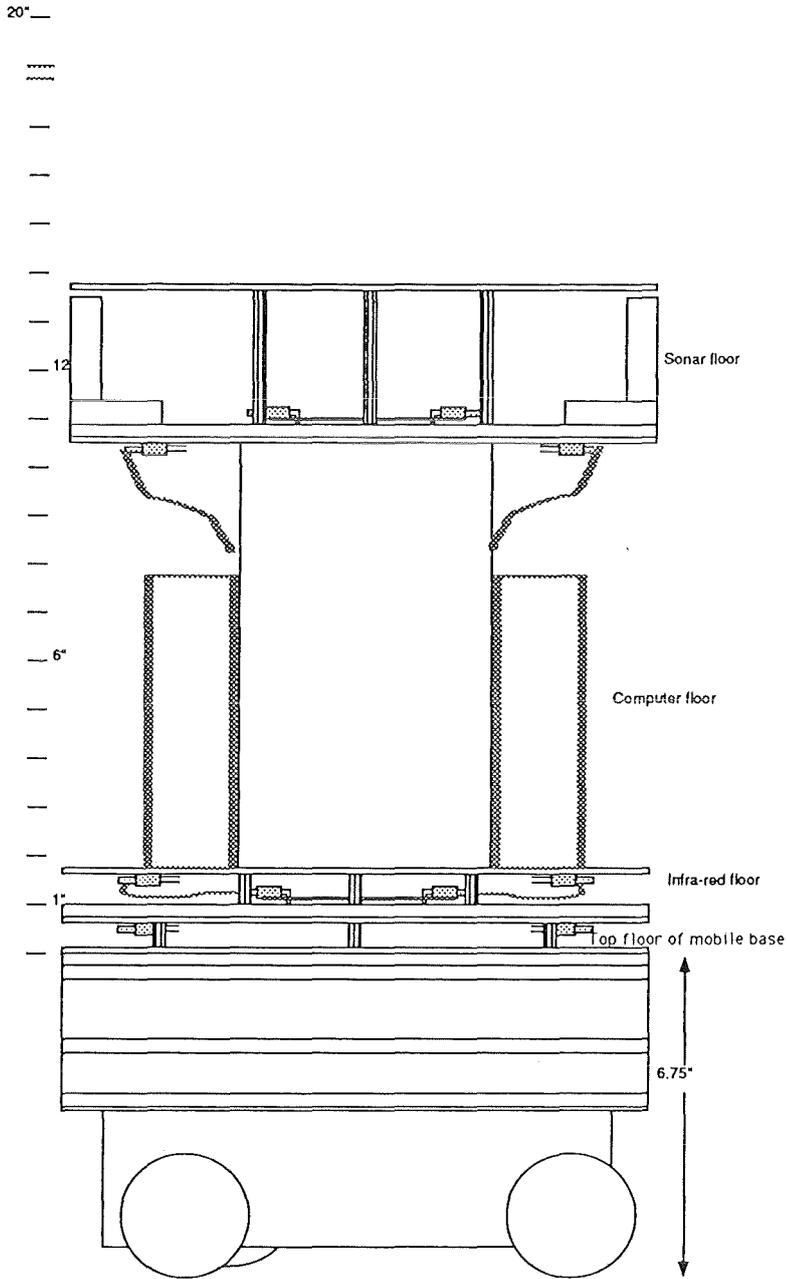
Der Nutzung von Parallelrechnerstrukturen bis hin zur Abbildung von Planungsalgorithmen und Steuerungsalgorithmen auf VLSI Strukturen wird große Bedeutung beigemessen.

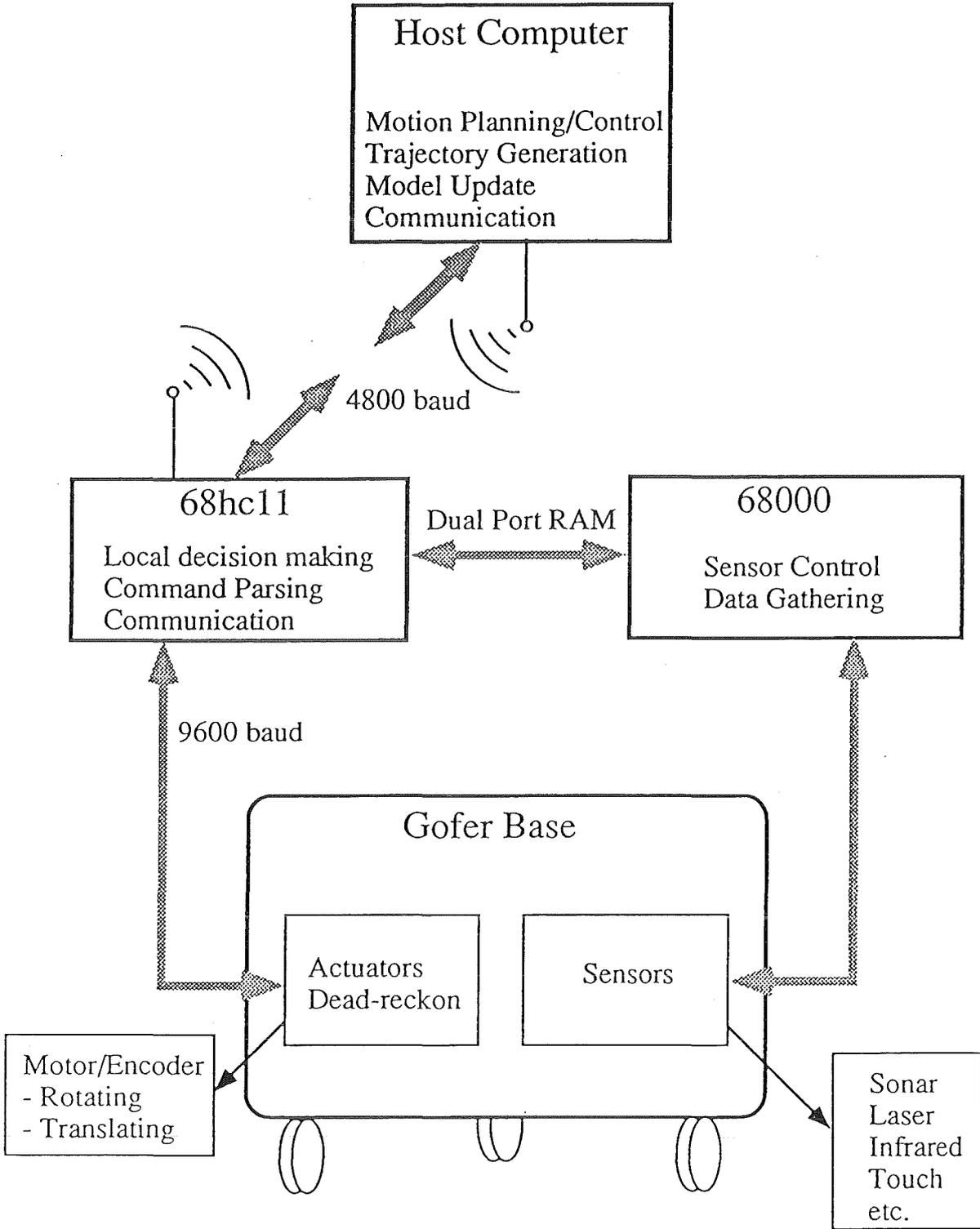
Die genannte Literatur kann bei dem Berichterstatter angefordert werden:

Prof. Dr.-Ing. R. Dillmann
Institut für Prozeßrechentechnik
und Robotik
Universität Karlsruhe
Postfach 69 80
7500 Karlsruhe 1

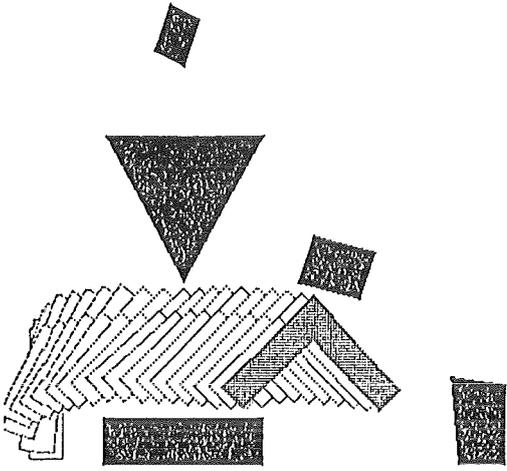
Overview



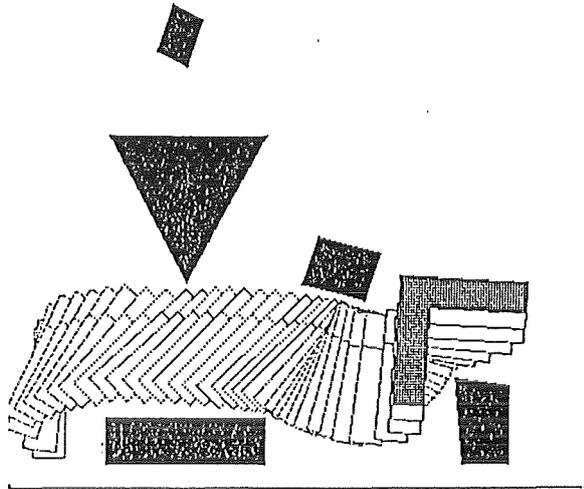




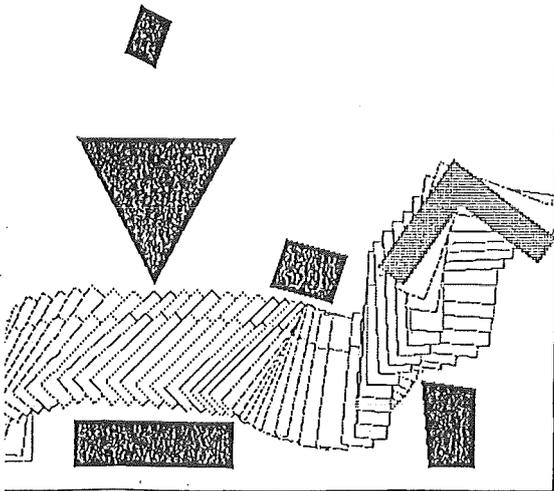
graphics



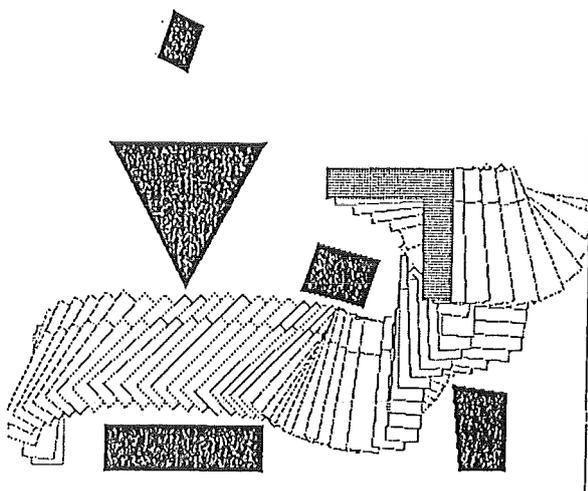
graphics

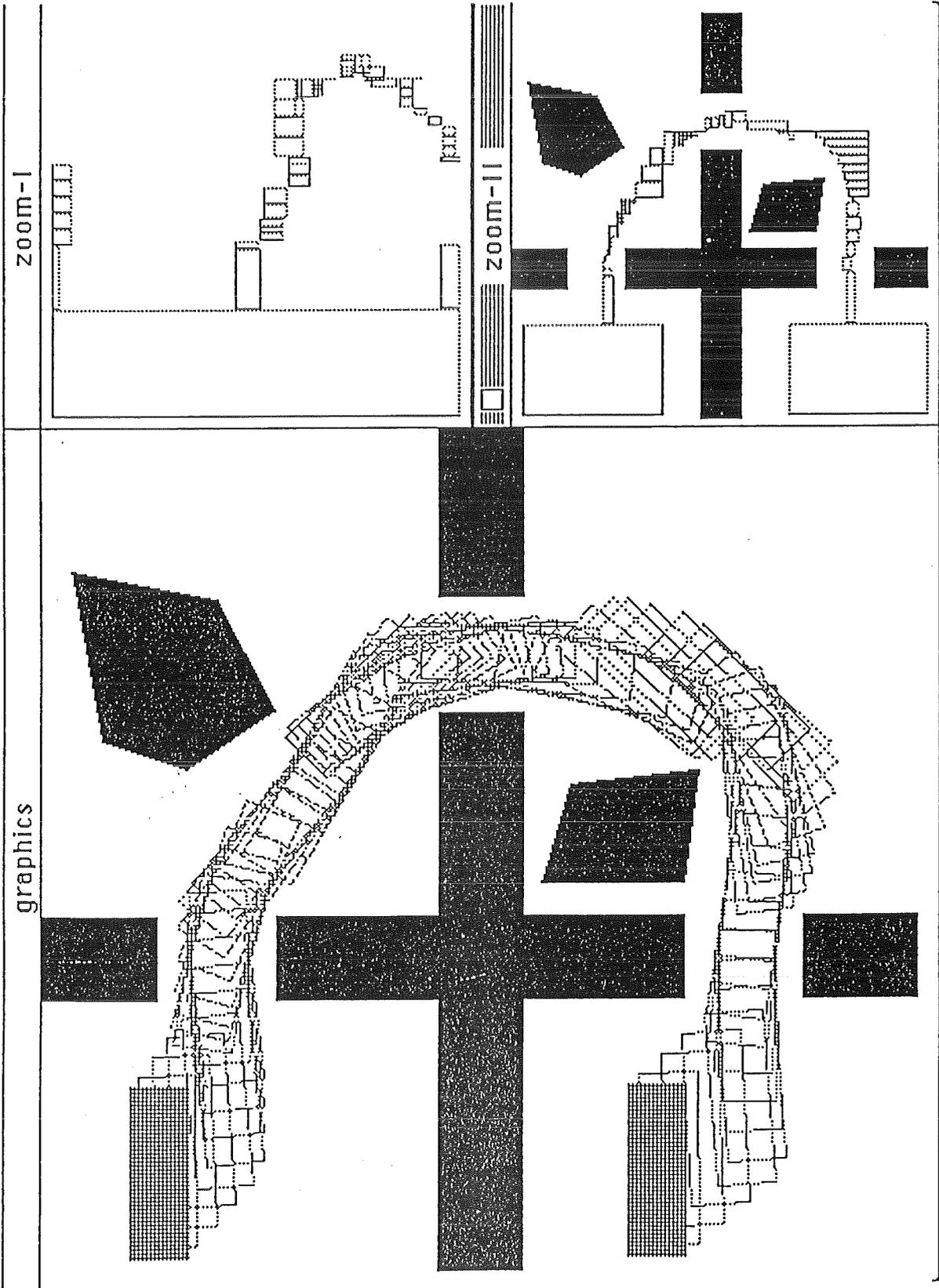


graphics

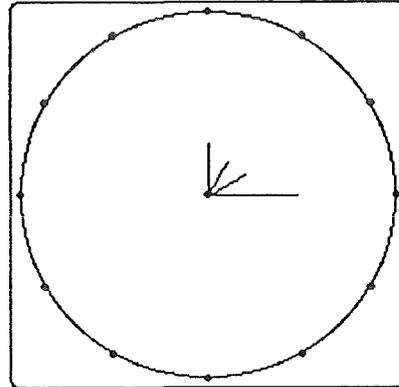
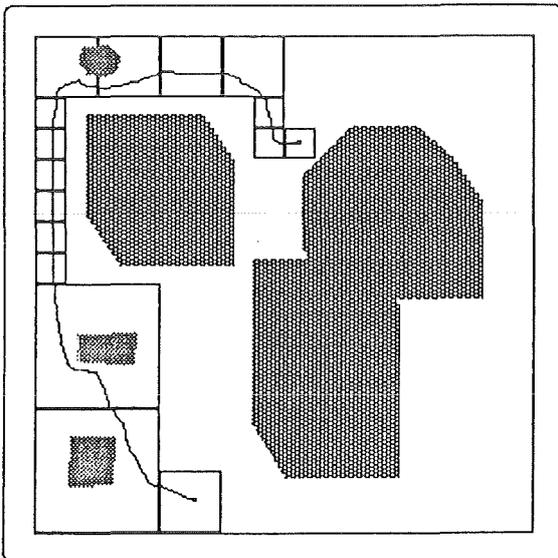
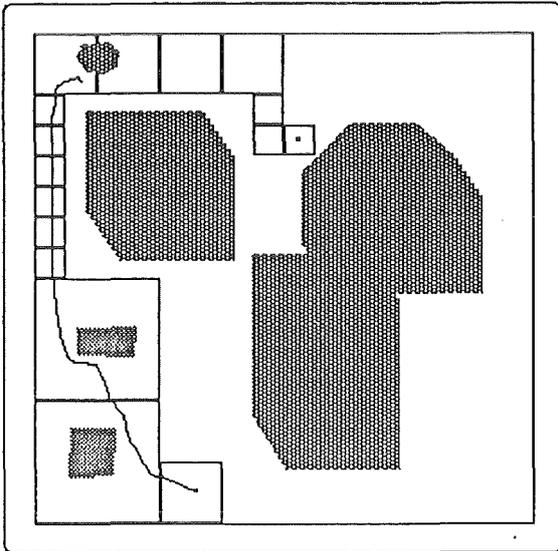
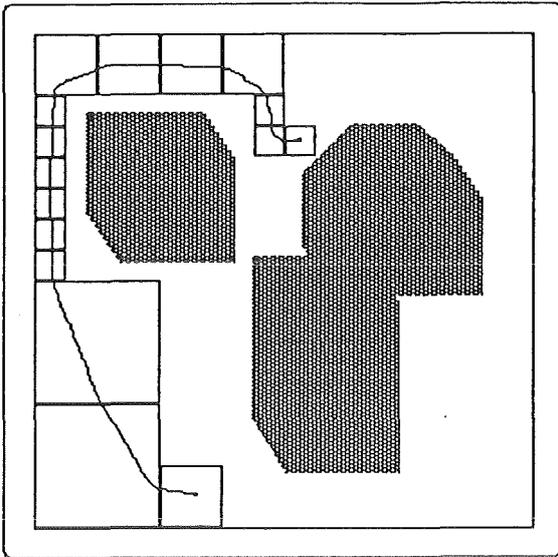


graphics

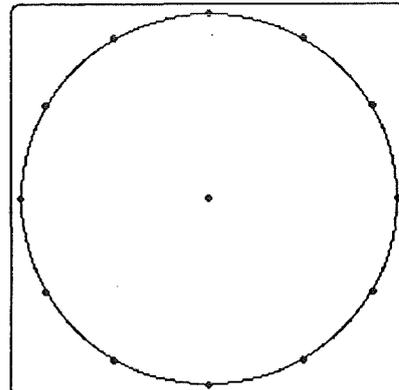




Snapshots of Example Simulation



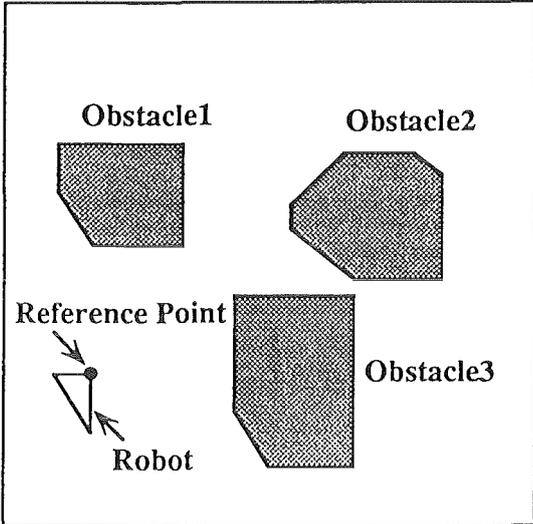
maximum range: 5
resolution: 30°
Number of Sonar: 12



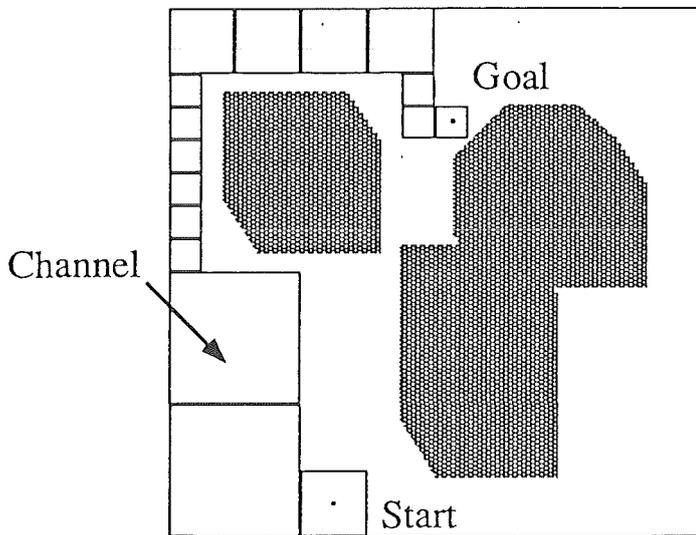
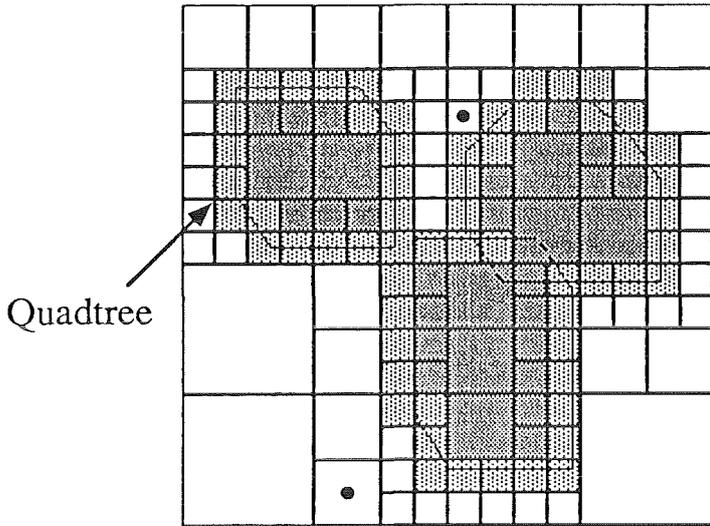
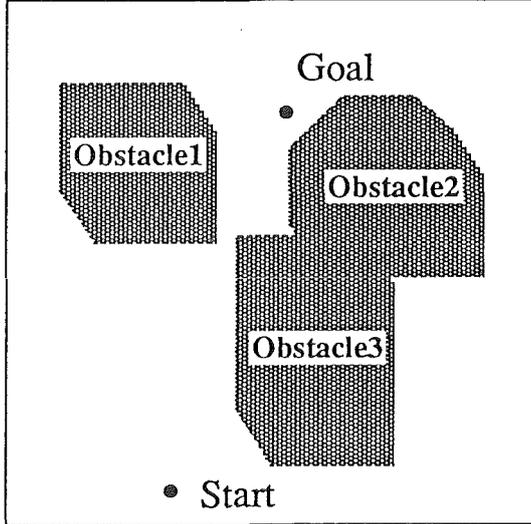
maximum range: 5
resolution: 30°
Number of Sonar: 12

Channel Construction by Quadtree Representation

Workspace



Configuration space



Teilbericht
SRI International Inc.
von D. Spee

German Advanced Robotics Study Mission to USA 1989

16. Juni 1969

1.) Institution: Stanford Research Institute (SRI) International
333 Ravenswood Ave.
Memlo Park
CA 94025-3493
Tel. (415)859-4771

Niederlassung BRD: Erlmar Windthour
6000 Frankfurt
Tel.: (069) 720151, FAX (069) 721558

2.) Ansprechpartner:

David Nitzan

2.1 Director Robotics Laboratory

Tel.: (415) 859-2575

FAX: (415) 859-5510

Telex: 334486

ARPANET: Nitzan @ Robotx.SRI.Com

2.2 Prasanna G. Mulgaonkar, Ph.D.

Senior Computer Scientist

Keyman for Vision Work

Tel.: (415) 859-6530

FAX, Telex: s.o.

ARPANET: Prasanna @ Robotx.SRI.Com

2.3 Cregg K. Cowan

Computer Scientist

Arbeitsbereich: Bildverarbeitung; Rechnerbasierte
Planung der Anordnung von Kamera und Lichtquelle

Tel.: (415) 859-2403

FAX & Telex: s.o.

ARPANET: Cowan @ Robotx. SRI. Com

2.4 Aviv Bergmann

Research Physicist

Arbeitsbereich: Neurale Netzwerke

Tel.: (415) 859-2698

FAX + Telex: s.o.

ARPANET: Bergmann @ Robotx.SRI.Com

3. Entwicklungsbereiche des SRI

3.1 Entwicklungsthemen des Robot Laboratory im SRI

- o Industrierobotersteuerung
- o Bildverarbeitung
- o Montage mit Industrierobotern
- o Montageplanung
- o Vision-Sensor unterstütztes Lichtbogenschweißen mit IR
- o Offline-Programmierung

4. Allgemeine Angaben

Gegründet 1946, seit 1970 unabhängig von der Stanford University Niederlassungen bzw. Büros in:

Washington DC

Chicago

New York

Honolulu

Großbritannien

Bundesrepublik Deutschland

Frankreich

Italien

Schweiz

Saudi-Arabien

Schweden

Japan

Singapur

Phillipinen

Mitarbeiter:

Im Bereich Consulting	ca.	450
Wissenschaftler	ca.	1.400
Sonstige	<u>ca.</u>	<u>150</u>
Gesamt	ca.	2.000

Umsatz ca. 200 Mio US Dollar

1987 wurde das David Sarnoff Research Centre von General Electric übernommen. Dies ist ein profitorientiertes Forschungsinstitut, das seine Hauptaufgabenbereiche in der Entwicklung der Elektronik für Konsumgüter sieht. Dieses Tochterinstitut erzielt mit

850 Mitarbeitern

einen Umsatz von

100 Mio US-Dollar.

Das SRI hat zwei Hauptarbeitsbereiche:

- den Beratungsbereich
mit den Schwerpunkten
 - o der Managementberatung
 - o der Industrieberatung
 - o der systemtechnischen Beratung
 - o Forecasting Intelligence + affiliation Service
- den Technologie- und Wissenschaftsbereich
mit den Schwerpunkten
 - o Erforschung neuer Materialien
 - o Sozialwissenschaften
 - o Physical & live Sciences
 - o Entwicklung neuer Produkte
 - o Bioengineering
 - o Joint ventures licensing of technology

Das SRI hat Zugriff zu den wichtigsten Datenbanken und agiert in allen bekannten Datennetzen.

Es unterhält einen eigenen Datenbankservice in den Bereichen

- Biotechnologie
- Wirtschaft
- Chemie
- Energietechnik
- Medizintechnik
- etc.

Besonders erwähnenswert ist eine Methode des Technologietransfers, die "Industrial Affiliation" genannt wird.

Eine Gruppe von Personen und Firmen spendet jährlich einen bestimmten Betrag und erhält dafür einen Überblick über die erzielten Forschungsergebnisse. Zweimal pro Jahr kommen ca. 100 Personen zusammen um die Forschungsergebnisse zu besichtigen bzw. zu diskutieren.

Das SRI unterhält seine Werkstätten nur zur Forschungsunterstützung. Am SRI wird nicht kommerziell produziert.

Von der deutschen Delegation wurden die Robotics Laboratories besichtigt.

Die Abteilung "**Bilderkennung**" ist mit ca. 15 Mitarbeitern eine der stärksten Gruppen. Von ihr wurde z.B. das von adept eingesetzte Bildverarbeitungssystem entwickelt. Die derzeitigen Arbeiten lassen verschiedene Forschungsschwerpunkte erkennen.

Analyse unbekannter Umgebungen

Der Schwerpunkt liegt in dem Erkennen, Analysieren und Auswerten von Bildern, die eine Umgebung abbilden, von der vorher nichts bekannt ist, kein Modell existiert.

Aus den aufgenommenen Bildern werden nur die für die jeweiligen Aktionen (z.B. Greifen) relevanten Daten extrahiert bzw. ggfs. fehlende Daten werden durch eine "intelligente Annahme" sozusagen erraten und kontinuierlich verifiziert und korrigiert.

Für zwei Fälle sind entsprechende Systeme entwickelt. Zum einen für isoliert liegende Objekte und zum anderen für Objekte die auf einem ungeordneten Haufen liegen. Erfolgreiche Anwendungen ergaben sich bei der Erkennung von Postpaketen, ein Projekt für die USPS.

Für einzeln liegende Objekte werden drei verschiedene Typen von geometrisch zu beschreibenden Körpern vorgegeben, denen die zu analysierenden Objekte zugeordnet werden. Bei der Zuordnung wird der Körper durch seine sichtbaren Teile in der Regel so weit bestimmt, daß die Daten ausreichen, um mit den Gesetzen des geometrischen Aufbaus der Körpertypen eine weitgehend eindeutige Definition des Körper, einschließlich der verdeckten Teile, erfolgen kann.

Ein wichtiger Schritt bei diesem Vorgehen ist die Analyse möglicher Symmetriedaten oder -ebenen. Die Verarbeitungsschritte eines solchen Vorgehens zeigt das folgende Bild.

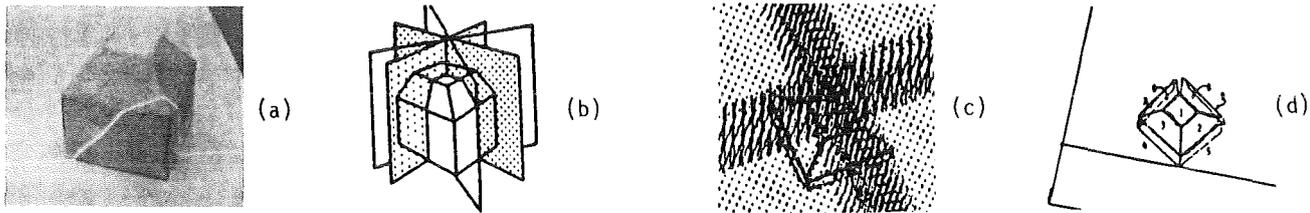


FIGURE 3. DETECTING REFLECTIONAL SYMMETRY

(a) Photograph of Object, (b) Object's Symmetry Planes, (c) Detected Planes of Symmetry, (d) Completed Object Description.

Für die Analyse von Objekten, die auf einem Haufen liegen, können nur zwei Grundkörper klassifiziert werden: Prismen und Zylinder. Es wird z.Zt. daran gearbeitet, eine Reihe von Gesetzen zu erarbeiten, um die Ergebnisse so sicher zu machen, daß sie als Eignungsdaten für weiterverarbeitende Prozesse geeignet sind. Ein Beispiel für die bisher erzielten Ergebnisse zeigt das folgende Bild.

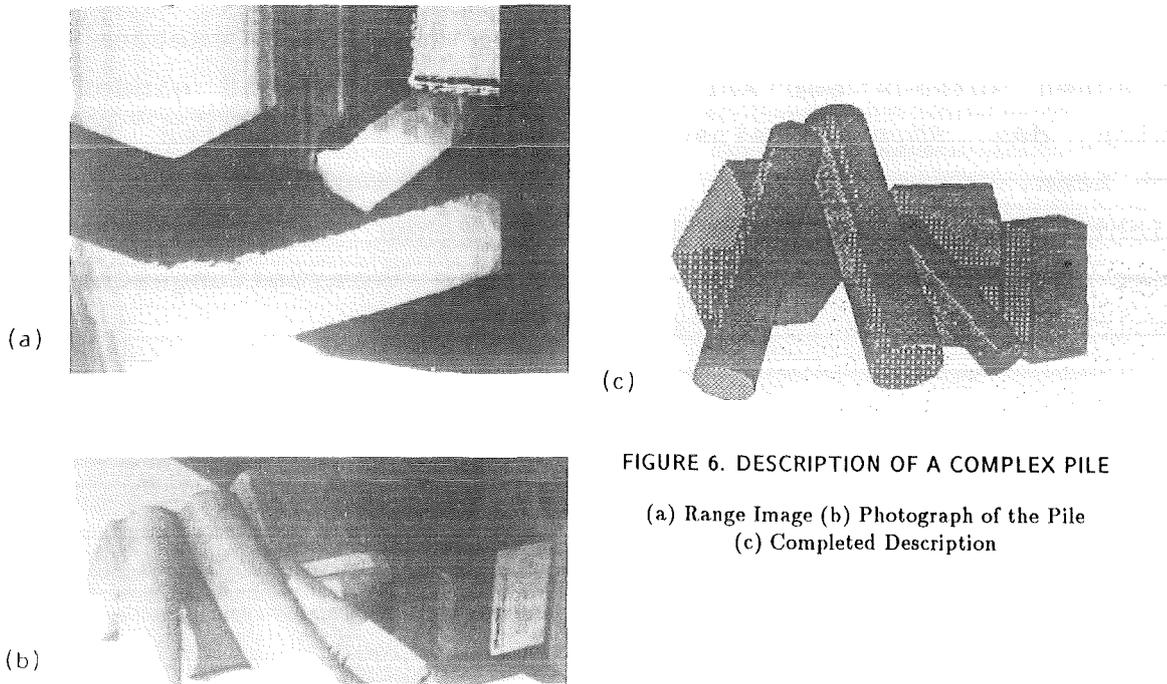


FIGURE 6. DESCRIPTION OF A COMPLEX PILE

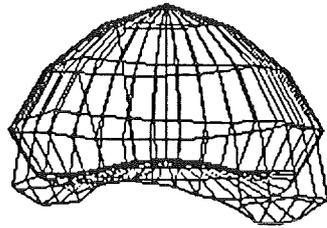
(a) Range Image (b) Photograph of the Pile
(c) Completed Description

Rechnergestützte Anordnung von Sensoren und Lichtquellen bei Aufgaben mit Bildverarbeitungssystemen

Es wird versucht, die Position von Sensor und Lichtquelle im voraus so zu bestimmen, daß:

- o die Objekte optimal im Sensorwirkungsbereich liegen
- o die Beleuchtungsstärke stark genug ist, um genügend zu erkennen
- o die Beleuchtung schwach genug ist, daß keine störenden Reflexionen auftreten.

Diese Arbeit soll dazu führen, den zeitaufwendigen Aufbau von Vision-Systemen zu verkürzen, indem die "Try and Error Methode" durch eine analytisch planbare Methode ersetzt wird. So wird neben der Position von Lichtquellen und Sensoren auch deren Typ vorgegeben. Voraussetzung dafür ist, daß die technischen Daten bzw. Kennfelder bekannt sind. Das Ergebnis einer solchen Analyse zeigt das folgende Bild.



Camera viewpoint region satisfying the resolution, field-of-view, and focus requirements

Das Projekt läuft nun seit 2 Jahren und zielt auf die Anwendungen

- o Konstruktionsunterstützung und
- o autonome Sensor-Steuerung

Die derzeitigen Arbeiten werden in kontrollierter Umgebung (Beleuchtung, Reflexionen) durchgeführt. Der nächste Schritt wird die Berücksichtigung der realen Umgebung sein.

Weitere Arbeiten sind zur

- Lösung des Mehrkameraproblems und
- Einbindung der Objekteigenschaften in die Aufgabenbeschreibung notwendig. Später ist der Ausbau zu einem Expertensystem geplant.

Das Thema "**Neurale Netzwerke**" wird ebenfalls im SRI bearbeitet. Die Arbeiten befinden sich z.Zt. in einem Basisstadium. Über theoretische Betrachtungen hinaus konnten keine weiteren Informationen gegeben werden.

Die Arbeiten werden z.T. in Kooperation mit der KFA Jülich durchgeführt.

Ansprechpartner:

Michael Kerrsberg
Institut für Festkörperforschung der
Kernforschungsanlage Jülich
D 5710 Jülich

5) Präsentationen

In den Labors wurden verschiedene Versuchsstände besichtigt. Es handelte sich um Versuche zur Bilderkennung wie z.B. zur Erkennung von Postpaketen.

6) Ergebnisse der Diskussion + Zusammenfassung

Die Diskussion zeigte, daß die Schwerpunkte des SRI im Bereich der Sensorik liegen. Mechanische Problemlösungen sind nicht gefragt.

7) Literatur

Bergmann, Aviv

Kerrsberg, Michael:

Breeding Intelligent Automates

Bergmann, Aviv

Cowan, Cregy K.:

Determining the camera and Light Source Location for a Visual Task

Cowan, Cregg K.

Mulqaonhar, Prassanna G.

Vincent; Arnaud R deSt.:

Detecting Global Symmetrics of Maulpieces in Range Images

Mulqaonhar, Prassanna G.

De Curtins, Jeff:

Scene Description for Object Manipulation in Unstructured Environments

Cowan, Gregg K.

Kovesi, Peter D.:

Automatic Sensor Placement from Vision Task Requirements

diese sind ebenso wie die Liste der Veröffentlichungen des SRI
anzufordern bei:

D. Spee

Fraunhofer-Institut (ITW)

Emil-Figge-Str. 75

4600 Dortmund 50

Teilbericht
UC Berkeley, Electronics Research Laboratory
von K.-H. Wurst

1 Name des Institutes und Adresse

University of California
College of Engineering
6185 Etcheverry Hall
Berkeley CA 94 720

Tel.415-642 0906 oder 415 642 0870

2 Gesprächspartner

Prof. Ronald Fearing
Department of Electrical Engineering and Computer Science

Prof. David A. Dornfeld
Department of Mechanical Engineering

Prof. Masayoshi Tomizuka
Department of Mechanical Engineering

3 Entwicklungsthemen

Das Department of Electrical Engineering and Computer Science (EECS) bearbeitet auf dem Gebiet der Roboterforschung folgende Schwerpunkte:

- Bewegungsplanung und Steuerung für Roboter und Greifer (3-Finger-Greifer)
- Montagesysteme mit Industrierobotern
- Bildverarbeitungssysteme
- Taktile Sensoren
- Mehrroboter-Systeme
- Bahnplanung für mobile Roboter

Forschungsschwerpunkte für das Department of Mechanical Engineering (ME) bilden die Arbeitsgebiete:

- Fertigungsautomatisierung
- Fertigungsüberwachung
- Intelligente Sensoren zur Werkzeugüberwachung
- Regelung und Steuerung von Entgratprozessen mit Industrierobotern
- Adaptive Regelung von Roboter-Direktantrieben
- Regelung von flexiblen Roboterarmen in Leichtbauweise
- Sensorregelung

4 Allgemeines

Um zukünftig effektiver arbeiten zu können, haben sich an der Universität in Berkeley mehrere Forschungsabteilungen, unter ihnen auch die besuchten, zusammengeschlossen, um ein gemeinsames Forschungszentrum zu bilden, das "ESRC" (Engineering Systems Research Center). Prof. D.A. Dornfeld ist der Direktor dieser Einrichtung.

Sie unterstützt die Forscher im Bereich der Verwaltung, durch Zuschüsse und Stipendien sowie durch die Bereitstellung von Räumlichkeiten. Es obliegt dem Direktor, die Gelder hierfür zu beschaffen. Viele neue Projekte sind auf die Interessen der Industrie abgestimmt und sind so ausgerichtet, daß viele Disziplinen miteinander verbunden sind.

Auf diese Weise arbeiten ca. 60 Forscher und ca. 40 Graduated Students interdisziplinär zusammen.

Die Finanzierung erfolgt derzeit zu ca. 35% aus Forschungsgeldern der Industrie, ansonsten erfolgt die Finanzierung aus Mitteln des Staates (National Science Foundation, NSF), des Bundes oder der Universität.

Innerhalb des ESRC-Forschungsprogramms ist inzwischen auch das RAMP-Programm angesiedelt (Robotics and Automated Manufacturing Programm), das ebenfalls zum Ziele hat, die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Forschern zu fördern. Im Rahmen dieses Programms arbeiten ca. 20 Forscher mit ca. 75 Graduated Students zusammen.

Die Ausstattung der Labors ist sehr gut: 6 Gelenkroboter, 3 Zwei-Arm-Roboter mit Direktantrieben, Micro VAX, zahlreiche vernetzte Sun-Workstations und Mehrprozessorsysteme zur Regelung (68 020), Möglichkeiten zur Vernetzung von Maschinen, mehrere GE-Kameras für Bildverarbeitungssysteme, zwei Bearbeitungszentren, Drehmaschinen sowie Schweiß- und Poliereinrichtungen im Rahmen der Roboteranwendung.

5 Präsentationen

5.1 Model Based Integrated Assembly System (MoBIAS)

In einem ersten Vortrag stellte Prof. Fearing das oben genannte Montagesystem vor.

Dieses Projekt, das die Montage von Hydraulikgruppen, die Montage und Demontage von Ölfiltern für Hydrauliksysteme und die Demontage der Leerlaufdüsen von Vergasern zum Inhalt hat, wird seit ca. 1 Jahr bearbeitet und hat eine Laufzeit von 5 Jahren.

Das Ziel der Arbeiten ist wie folgt:

- Extrem feinfühliges Handhaben mit hohem Freiheitsgrad von kleinen Werkstücken mit einer Roboterhand (3-Finger-Greifer), um Teile, die mit Gewinde versehen sind, zusammensetzen zu können. Dies erfordert die Koordination der Fingerbewegung über taktile Sensoren. Im Vergleich hierzu ist die Planung der Greifbewegung weit vorangeschritten.
- Modellbasierende Bildverarbeitung zur Erkennung dreidimensionaler Objekte und zu deren Lageerkennung im Raum.
- Erkennung von Planungsfehler und Planungskorrektur. Die Prozeßablaufsteuerung arbeitet in einer Umgebung, in der viele Fehler auftreten können. Es bereitet immer noch Schwierigkeiten, unbekannte Hindernisse in der Arbeitsumgebung zu erkennen oder Korrekturen im Planungsablauf durchzuführen, die auf fehlerbehaftete Werkstücke zurückzuführen sind. Lösungsansätze hierzu sind vorhanden.

Die zu montierende Hydraulikgruppe zeigt Bild 1.

Integrated circuit manifolds are machined from a solid block of metal. Some functions are built into the block, others are added as cartridges. Advantages include compactness and shortened flow passages, which in turn improve response times and reduce pressure drop. These manifolds are generally limited to 15 to 20 functions because of the increased design effort and machining expertise required.

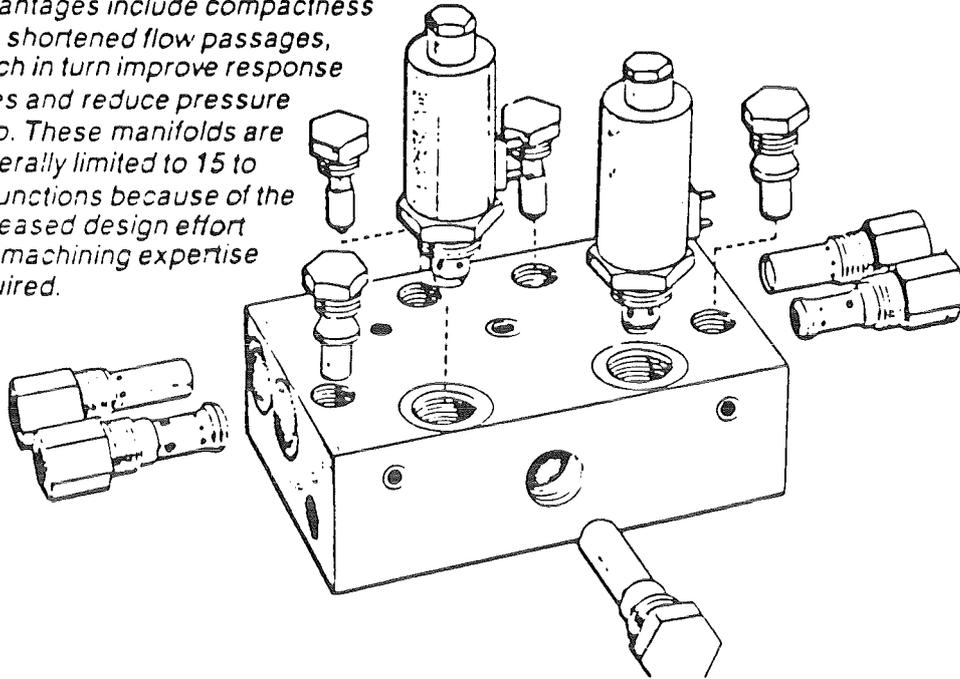


Bild 1: Hydraulikgruppe

Die Struktur des Planungssystems zeigt Bild 2:

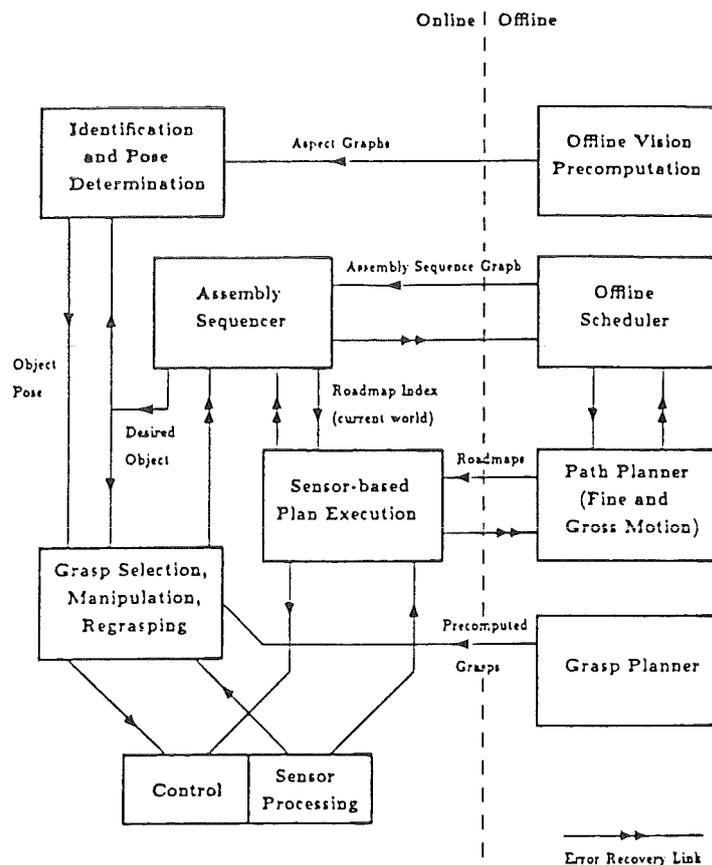


Bild 2: Planungssystem

Die horizontale Ebene zeigt den Informationsfluß vom Off-line-System, das weitgehend aus Planungsmoduln gebildet wird, zu den On-line-Moduln; die vertikale Einteilung läßt die zunehmende Detaillierung bezüglich der Komponenten erkennen:

- Das Off-line-Steuerungsprogramm bestimmt die Montageschritte auf der Basis von Zustandsgrößen.
- Die Montagefolge-Steuerung übernimmt die globale On-line-Koordination im gestörten und ungestörten Ablauf der Anlage.
- Die Bahnplanung wird in eine Groß- und eine Feinplanung eingeteilt:
 Grobplanung: Teilebewegung zum Montageort
 Feinplanung: Montagebewegung.
- Die Greifer-Planung bestimmt aus der Aufgabenbeschreibung die Geometrie des Objektes für die Greifbewegung, ermittelt den notwendigen Greifer und bestimmt die Greifkräfte.

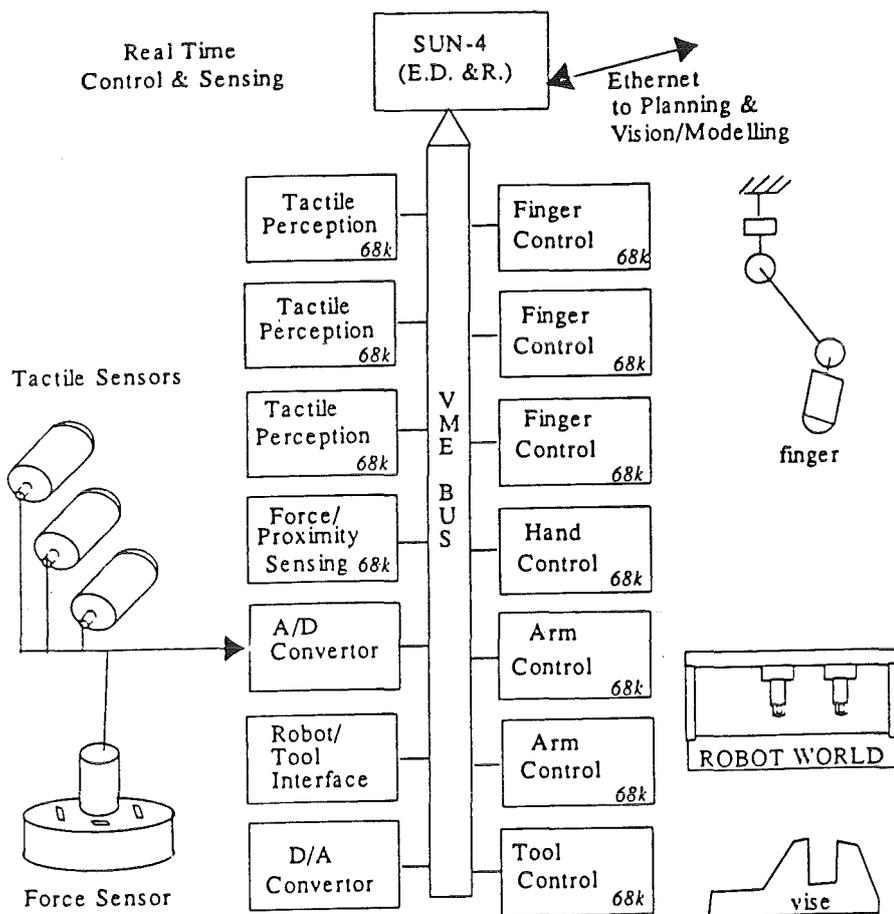


Bild 3: Steuerungssystem für Roboter und Sensoren

Die eigentliche Greiferauswahl und die Regelung des Greif- und Bewegungsvorgangs des Roboters erfolgt on line. Die Struktur dieses wichtigen Moduls zeigt Bild 3.

Neben einem 3-Finger-Greifer, dessen Untersuchungen bezüglich seines statischen und dynamischen Verhaltens einen wesentlichen Forschungsschwerpunkt bei Prof. Fearing bilden, werden auch Greifer aus nachgiebigen Materialien eingesetzt (Bild 4).

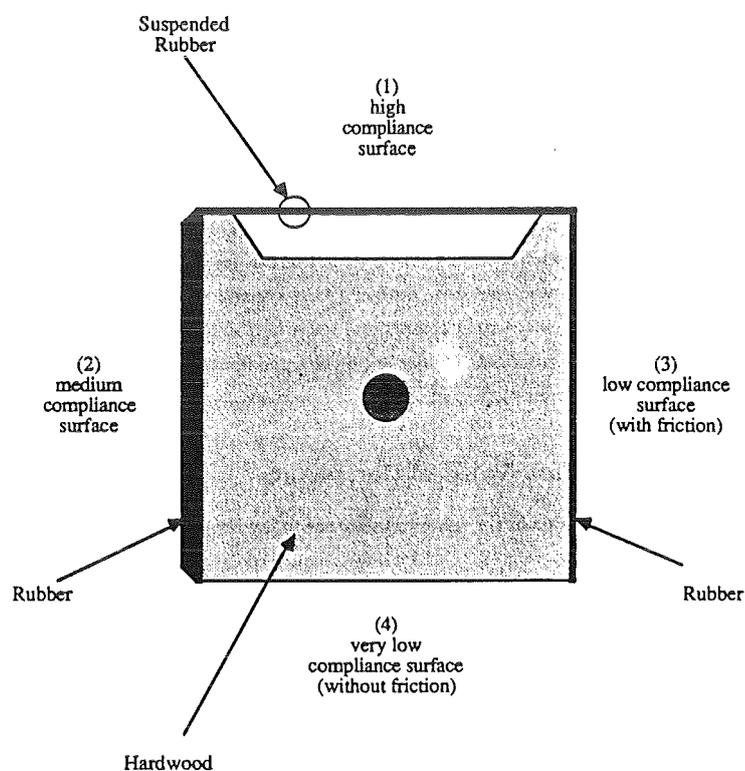


Bild 4: Greifertyp

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß ein derartiges Projekt tatsächlich nur dadurch zu einem Erfolg gebracht werden kann, wenn eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, wie diejenige von "ESRC", den Rahmen bildet.

5.2 Forschungsaufgaben auf dem Gebiet der Fertigungstechnik

Der zweite Vortrag wurde von Prof. Dornfeld gestaltet. Im wesentlichen war dies ein Überblick über die laufenden Forschungsarbeiten in seiner Abteilung. Einen Überblick hierzu gibt die folgende Tabelle.

1989 Research Project Areas-Professor David Dornfeld

Application Area	Basic Studies	Research Category Sensor Development	Signal Processing	Control/Systems
Machining process/product	AE source model conv/diamond abrasive machining chip formation	chip form detection noncontact measure. precision machining feedback for form	RMS/Frequency LDF/perceptron AR models neural network deconvolution pattern recognition lattice filters	noncircular machining precision m/c actuator sensor system design
tools	tool wear/fracture rotary tools	intelligent sensor sensor fusion		neural net control/ optimization
Forming process/product	state prediction AE model wrinkle/formability	defect location tool wear	• • •	
Deburring	burr formation/ breakout models SEM machining burr prediction for design	force/AE feedback		deburring control- AE/ force feedback precision deburring cell
Assembly	end effect control (contact, slip)	micro-chip sensor	• • •	motion coordination microactuator develop contour following (force/AE) offline programming
Miscellaneous (wood)	surface finish def. material property	fiberboard density tool wear monitor noncontact roughness monitor		

5.3 Regelung von Industrierobotern

In einem dritten Vortrag behandelte Prof. Tomizuka detailliert Probleme und Untersuchungen adaptiver Regelungen von Roboterachsen für sich wiederholende Bewegungen. Diese Regelungsart stellt einen Zusatz zu einer modelladaptiven Regelung dar.

Das dynamische Verhalten eines Roboters hängt von seiner Kinematik und seiner Belastung ab und ist in der Regel nichtlinear. Da die Parameter, die das dynamische Verhalten bestimmen, meist nicht bekannt sind, werden modelladaptive Regler eingesetzt, um Bahnfehler zu reduzieren. Verschiedene Modellverfahren werden hierzu vorgestellt. Ferner werden folgende Annahmen gemacht, die eine ergänzende Regelung zur Verbesserung der Bahn Genauigkeit rechtfertigen: Die Aufgaben eines Roboters wiederholen sich (Montieren, Lackieren, Werkstücke aufnehmen und ablegen). Dies bedeutet, daß neben einer bekannten, sich wiederholenden Bahn auch die auf den Regelkreis wirkenden Störungen mit derselben Periodizität bekannt sind.

Die Berücksichtigung des Störverhaltens durch eine entsprechende Störgrößenaufschaltung wurde schon untersucht. Neue Ergebnisse wurden durch eine Kombination dieser Regelung mit einem adaptiven Regler erwartet und erzielt. Ausgangslage war, daß die Parameter des Roboters nahezu unbekannt sind und die Störungen auf die Regelkreise periodisch auftreten. Zwei unterschiedliche Modellansätze wurden vorgestellt. Die Simulationsergebnisse, sowohl für die zeitkontinuierlichen als auch für die zeitdiskreten Regler waren zufriedenstellend. Die Verfahren arbeiten jedoch nur für Systeme mit Direktantrieben zufriedenstellend.

5.4 Besichtigungen

Der wohl interessanteste Teil der Besichtigungen war die Roboter-Hardware als Testumgebung für die 3-Finger-Hand, die flexiblen Greifer und die Montagesteuerung.

Das System umfaßt eine Antriebsebene (x,y) , auf der flächenbewegliche Antriebselemente, ausgeführt mit Linear-Schrittmotoren, frei beweglich sind. Die Bewegungsmoduln sind teilweise mit einer Kamera oder mit einer zusätzlichen Z-Achse ausgerüstet. Die Führung erfolgt auf Luftlager, die Positioniergenauigkeit beträgt $< 0,002$ mm (Bild 5). Als übergeordnete

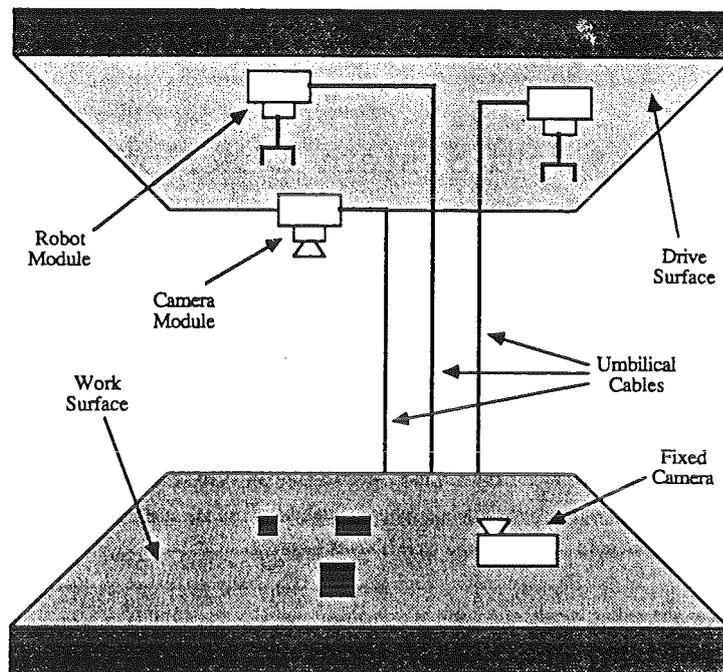


Bild 5: Montagesystem

Steuerungshardware wird ein Apple Macintosh eingesetzt, die gerätenahe Steuerung erfolgt über eine 68 000 CPU. Das Robotersystem (Robotworld) wird von der Firma Automatix Inc., Billerica/Massachusetts hergestellt.

Einen weiteren Besichtigungsschwerpunkt bildete die Demonstration von Greifbewegungen als Simulation am Bildschirm. Literatur hierzu ist verfügbar.

Im weiteren Verlauf wurde eine hybride Positions-/Kraftregelung vorgestellt. Dies ist ein Regelungsverfahren, mit dem auch in der Bundesrepublik viel gearbeitet wird und dort Einsatz findet, wo kraftschlüssige Bewegungsaufgaben anstehen. Der Vorteil dieser Regelung besteht darin, daß die aufgabenspezifischen kartesischen Koordinaten in Positions- und Kraftfreiheitsgrade gezielt aufgeteilt werden. Dieses Verfahren wurde auch bei einem vorgestellten Entgratsystem mit Industrieroboter eingesetzt, das zwei zusätzliche Stellglieder (Piezosteller) und damit sehr dynamische Kraftregelkreise besitzt.

Die im Vortrag behandelte Regelung eines zweiarmligen Roboters mit Direktantrieben wurde ebenfalls demonstriert. Ein vergleichendes Positionierverhalten wurde jedoch nicht gezeigt.

6 Ergebnisse der Diskussion

Die Diskussion im Anschluß an die Vorträge war zurückhaltend. Es wurden nur einige sehr fachspezifische Fragen gestellt. Der Grund hierfür lag hauptsächlich darin, daß auch die Vorträge sehr detailliert fachlichen Inhalts waren. Während der Besichtigung, insbesondere bei der Erklärung der Montageanlage, konnten die Teilnehmer ausführlich Auskunft über anlagenspezifische Besonderheiten bekommen.

7 Zusammenfassung

Der Besuch in Berkeley zeigte und bestätigte, daß auch in den Vereinigten Staaten erkannt wurde, daß die Lösung komplexer Aufgaben wie die der automatisierten Montage, eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit verlangt. Bei der Lösung regelungstechnischer Probleme, sei es Prozeßregelung oder Positionsregelung, ist der Wissensstand deutscher Institute vergleichbar.

Verfügbare Literatur

- o Repetitive Control of a two Degree of Freedom SCARA Manipulator
- o Model Reference Adaptive Control and Repetitive Control for Robot Manipulators
- o Digital Implementation of Adaptive Control Algorithms for Robot Manipulators
- o Small Machines, Large Opportunities:
A Report on the Emerging Field of Microdynamics
- o A Model Based Integrated Assembly System using Automatix Robot World
- o Robotic Assembly & Hand Design
- o Dynamic Regrasping by Coordinated Control of Sliding for a Multifingered Hand
- o Model Reference Adaptive Control for Robot Manipulators - Continuous Time Theory and Digital Implementation
- o Modelling Identification and Simulation of a two Link Scara Manipulator
- o Kinematics and Control of Multifingered Hands with Rolling Contact
- o Implementation of Adaptive Techniques for Motion Control of Robotic Manipulators

Anhang

Members of the Delegation

MARTIN, Tomas, Dr.-Ing.
(head of delegation)
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

ALTER, Margitta
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

ADOLPHS, Peter, Dip.-Ing.
Institut für Regelungstechnik
TH Darmstadt
Schloßgraben 1
D-6100 Darmstadt

BLUME, Christian, Dr. rer.nat.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

BREITWIESER, Helmut, Dipl.-Inf.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

DILLMANN, Rüdiger, Dr.-Ing.
Institut für Prozeßrechen-technik
und Robotik - Universität Karlsruhe
Postfach 69 80
D-7500 Karlsruhe

DRUNK, Gerhard, Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Produktions-
technik und Automatisierung - IPA -
Nobelstr. 12
D-7000 Stuttgart 80

ELBRACHT, Dietrich, Professor
Fertigungstechnisches Labor der
Universität Duisburg
Lotharstr. 1 MA 167
D-4100 Duisburg 1

GOTTFRIED, Roland
Siemens AG
Hammerbacher Straße 12-14
D-8520 Erlangen

HILLENMEIER, Andreas, Dipl.-Ing.
Institut für Elektromechanische
Konstruktion - TH Darmstadt
Merckstr. 25
D-6100 Darmstadt

KÖHLER, Wolfgang, Dipl.-Ing.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

LAWO, Michael, Dr.-Ing. habil.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

MÜLLER-DIETSCH, Walter, Dipl.-Ing.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

MÜNCH, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.
Krupp MaK Maschinenbau GmbH
Falckensteiner Str. 2-4
D-2300 Kiel 17

PAETSCH, Wolfgang, Dipl.-Ing.
Institut für Regelungstechnik
TH Darmstadt
Schloßgraben 1
D-6100 Darmstadt

PFEIFFER, Gabriele, Dr.
Robert Bosch GmbH
Postfach 11 62
D-6120 Erbach

RININSLAND, Hermann, Dr. rer.nat.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

SCHARF, Peter, Professor
Institut für Fertigungstechnik
Universität-GH-Siegen
Postfach 10 12 40
D-5900 Siegen

SCHMIDT, Günther, Professor
Institut für Steuerungs- und
Regelungstechnik - TU München
Postfach 20 24 20
D-8000 München 2

SCHOLL, Karl-Heinz, Dr.-Ing.
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40
D-7500 Karlsruhe 1

SCHULTHEISS, Georg Friedrich, Professor
GKSS-Forschungszentrum
Institut für Anlagentechnik
Postfach 11 60
D-2054 Geesthacht

SPEE, Detlef, Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Transport-
technik und Warendistribution - ITW -
Emil-Figge-Straße 75
D-4600 Dortmund 50

STRUCK, Günter, Dipl.-Ing.
Fraunhofer-Institut für Informations-
und Datenverarbeitung - IITB -
Fraunhofer-Str. 1
D-7500 Karlsruhe 1

WIENAND, Stephan, Dipl.-Ing.
ISRA-Systemtechnik GmbH
Mornwegstr. 45A
D-6100 Darmstadt

WURST, Karl-Heinz, Dipl.-Ing.
Institut für Steuerungstechnik
Seidenstr. 36
D-7000 Stuttgart 1