

DER LANGE ARM INS ALL

Von Prof. Dr. Gerhard Hirzinger

20 Jahre Raumfahrtrobotik in Oberpfaffenhofen

Robotische Systeme werden künftig das kostengünstigste Agieren im Weltraum von der Erde aus ermöglichen. Servicing und Exploration sind dabei die zentralen Begriffe. Typische Serviceleistungen werden beispielsweise das Inspizieren, Warten, Reparieren und „Nachtanken“ von Raumflugsystemen sein. Aber auch der gezielte Absturz in die Ozeane beziehungsweise der Transfer zum „Weltraumfriedhof“ (graveyard) gehören dazu. Exploration dagegen hat vor allem die Eroberung und Erforschung des Weltraums auf Mond und Planeten zum Ziel. Robotische Systeme haben kaum mehr als 40 Jahre Entwicklungszeit hinter sich. Sie lassen sich an die extremen Weltraumbedingungen anpassen. Und sie werden dem Menschen in dicken Raumanzügen (samt dazugehöriger Lebenserhaltungssysteme) überlegen sein, vor allem wenn man sie zunächst als „verlängerten Arm“ des Menschen im Weltraum betreibt und noch nicht volle Autonomie verlangt.



Das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik hat heute die weltweit größte Erfahrung mit der Fernsteuerung beziehungsweise Fernprogrammierung von Robotern im Erdorbit. Im Jahr 1987 begann die Vorbereitung des ersten großen Schritts auf diesem Weg: Mit dem ROTEX-Experiment wurde dann 1993 auf der Raumfähre COLUMBIA erstmalig ein fernsteuerbarer Roboter in den Weltraum entsandt. Die multisensorielle „mechatronische“ Greifertechnologie, die prädikative 3-D-Grafiksimulation bei direkter Fernsteuerung mit einer Signallaufzeit von bis zu sieben Sekunden und die sensorgestützte Fernprogrammierung mit lokaler Teil-Autonomie waren technologisch-konzeptuelle Highlights der äußerst erfolgreichen Mission.

Kurz danach begannen im DLR-Labor Experimente zum Studium der dynamischen Interaktion, also der Rückstoß-Effekte, eines auf einem Trägersatelliten stehenden Robot-Arms, der einen anderen schwerelos schwebenden Körper – beispielsweise einen reparaturbedürftigen Satelliten – einfangen soll. Labortechnisch simuliert wurde diese Situation mit zwei Industrierobotern. Große Nachrichtensatelliten kann man eigentlich nur am so genannten Apogäumsmotor – das ist die Steuerdüse, die sie in den geostationären Orbit bringt – zuverlässig greifen. So entstand das Konzept eines Einfangwerkzeugs (Capture Tool): Mit kleinen Kameras, radialen Laser-Entfernungsmessern und Kraftsensorik erlaubt es, sensorgeführt konzentrisch in die Düse einzutauchen und schließlich über einen Spreizmechanismus am Ende des Capture-Tools den Satelliten zu ergreifen.



ROTEX: der erste ferngesteuerte Weltraumroboter 1993



Laborsimulator der Capturing-Technologie



Orbital Life Extension Vehicle (OLEV)



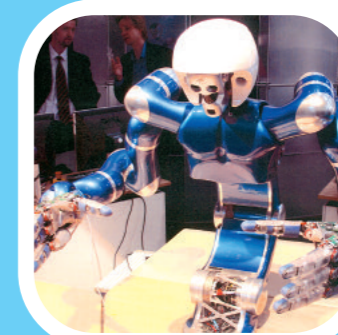
ETS-VII: der erste freifliegende Roboter im Weltraum mit DLR-Beteiligung



ROKVISS auf der Internationalen Raumstation ISS



Die neue mechatronische Roboter- und Hand-Generation des DLR



Torso JUSTIN mit programmierbarer Nachgiebigkeit



Eine 6-beinige Laufmaschine auf Basis der Finger in den Roboter-Händen

Nach diesem Einfangvorgang müsste der „Reparatur-Roboter“ über einen einfachen Klammermechanismus den Satelliten festhalten und sich mit dem dann wieder freigesetzten Arm ein Werkzeug holen, um zu reparieren.

Ein Konsortium von Raumfahrtfirmen bereitet derzeit mit dem DLR-Institut die Lebensdauerverlängerung von großen Satelliten vor, bei der das Capture Tool die zentrale Rolle spielt. Danach würde ein mit Ionentriebwerk (von den Solarpaddeln gespeist) ausgestatteter Servicing Satellit an ältere Satelliten, denen der Treibstoff zur Bahn- und Lageregelung ausgeht, mithilfe des Capture Tool automatisch andocken und über Jahre hinaus deren Lageregelung übernehmen.

Im Jahr 1999 wurde vom Institut für Robotik und Mechatronik der von Japan gebaute, erste frei fliegende Weltraumroboter ETS VII von Tsukuba aus ferngesteuert. Er sollte mit seinem Trägersatelliten an einen gleichzeitig gestarteten Zielsatelliten andocken, und auf seinem eigenen Taskboard bzw. am angedockten Zielsatelliten Montageaufgaben durchführen. Im

Rahmen der deutschen Beteiligung GETEX wurden vor allem zwei Ergebnisse demonstriert: die erheblich fortgeschrittene, aufgabenorientierte, sensorgestützte Fernprogrammierung mit „Virtual Reality“-Technologie und die Beherrschung der Dynamik-Interaktion eines frei schwebenden Roboterarms mit seiner Träger-Plattform.

Im Jahr 2005 konnten schließlich mit dem ROKVISS-Experiment im Außenbereich der Internationalen Raumstation ISS weitere technologische Lücken geschlossen werden: Ein kleiner Manipulatorarm mit zwei dreh-

Virtual Reality

moment-geregelten Gelenken auf Basis des DLR-Motors ROBODRIVE zeigte, dass er unter anderem „feinfühlig“ eine Feder ziehen oder eine Metallkontur abtasten kann, entweder vollautonom oder ferngesteuert von der Erde mit einem kraft-reflektierenden Joystick.

Gelungen ist damit der Nachweis der Raumfahrt-Tauglichkeit der auf Low-cost-Basis qualifizierten Leichtbaurobotergelenke des Instituts. Patentierte Latch-up-Schaltungen garantieren ein Wiederhochlaufen

der Elektronik nach einem „Treffer“ mit schweren Ionen. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei geringen Signallaufzeiten, wie sie im geostationären Orbit, aber auch auf niedrigen Umlaufbahnen realisierbar sind, Telepräsenzkonzepte mit Stereo-Video- und Kraft-Rückkopplung tatsächlich das Gefühl vermitteln, als wäre man im Weltraum „vor Ort“.

Will man den Vorsprung, den Deutschland in der Fernsteuerung von Robotern im Erdorbit hat, nicht verlieren, dann sollte jetzt ein komplexes Technologie-Experiment folgen, das beispielsweise das Einfangen und gezielte „De-orbiting“ eines Zielsatelliten zum Inhalt hat. Der dafür vorgeschlagene Roboterarm mit sieben drehmomentgeregelten Gelenken (mit ROKVISS bereits raumfahrtqualifiziert) basiert auf der dritten Generation von Leichtbaurobotern aus dem Institut. Mit ihrem Gewicht von circa 14 Kilogramm bei etwa einem Meter Armlänge, einer Traglast, die auf der Erde bei 20 Kilogramm liegt, und einem Leistungsverbrauch von nur etwas mehr als einer Glühbirne nähert man sich den Grenzen des heute technisch Machbaren. Zur entscheidenden Technologiekomponente

wurde der bereits erwähnte Motor ROBODRIVE, der nur noch das halbe Gewicht und die halbe Verlustleistung der bisher besten Motoren aufweist.

Zusammen mit den mehrfingrigen Händen, die mit ihren etwa 100 integrierten Sensoren und 13-momentengeregelten Antrieben ebenso zur weltweit fortgeschrittensten Technologie gehören wie die Arme, hat das Institut den humanoiden Oberkörper JUSTIN (mit vollständig programmierbarer Nachgiebigkeit, so genannten „soft robotics“) aufgebaut. Mit seinem 3-D-Modellierkopf, der über integrierte Stereo-Kameras und Mini-Laserscanner die Umwelt räumlich erfasst, stellt er die Basis für die Entwicklung künftiger Robonauten dar, die beispielsweise auf einem Mars-Rover Gesteinsproben sammeln oder auch frei im Weltraum fliegen könnten.

Viel diskutiert wird derzeit der Einsatz eines sechsbeinigen „Krabbelkäfers“ auf der Oberfläche von Mond oder Mars. Die Beine dafür sind im DLR in Oberpfaffenhofen auf Basis der Roboterfinger bereits entwickelt worden.

Die Spin-offs der DLR-Raumfahrt-Robotik für das irdische Leben haben inzwischen zu mehr als 500 Hightech-Arbeitsplätzen geführt. Die Space Mouse, mit deren Vorläufer ROTEX ferngesteuert wurde, ist heute das weltweit mit Abstand populärste 3-D-Mensch-Maschine-Interface. Der führende deutsche Roboter-Hersteller KUKA erreichte vor allem durch die dynamischen Optimierungen aus

Soft robotics

dem DLR-Institut für Robotik und Mechatronik Platz 3 der Weltrangliste und beginnt mit der Vermarktung der erwähnten Leichtbau-Roboter.

Der erste Chirurgie-Roboter aus dem Institut (abgeleitet aus den Leichtbaurobotern) wurde auch in den USA schon vom Medizin-Partner BRAIN-LAB als Lizenz-Produkt vorgestellt.

Das mehrfach ausgezeichnete DLR-Kunstherz birgt mechatronische Schlüsseltechnologien der Raumfahrt-Robotik in sich. Und sogar die im Institut für Robotik und Mechatronik entwickelte mechatronische Keilbremse – von SIEMENS VDO jetzt zum Serienprodukt innovativer

Fahrzeugtechnik vorangetrieben – funktioniert mit hochdynamischer Miniatur-Motortechnik aus Roboter-gelenken.

Mit hocheffizienten „robotischen“ Stereoalgorithmen wurden auf Basis der Daten der HRSC-Kamera aus dem Berliner DLR-Institut für Planetenforschung 3-D-Modelle der Mars-oberfläche, aber auch terrestrisch attraktiver Landschaften und Städte generiert. Darauf aufbauend hat das Robotik-Institut neue Formen der Bewegungssimulation mit großen Robotern entwickelt.

Die Robotik hat das Potenzial, in den nächsten 20 bis 30 Jahren die gleiche stürmische Entwicklung zu nehmen wie die Computer-Technik in den letzten 20 Jahren. Insbesondere die Hilfe für alte oder auch behinderte Menschen in den ständig älter werdenden Industriegesellschaften gilt als Megathema. Hier kann die Raumfahrt mit der Entwicklung von Robonauten entscheidende Beiträge liefern.

Autor:

Prof. Dr. Gerhard Hirzinger leitet das Institut für Robotik und Mechatronik im DLR Oberpfaffenhofen.