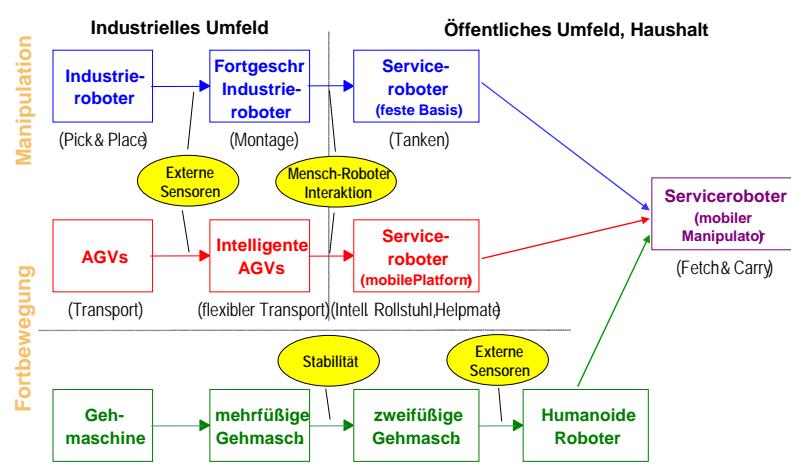


Roboter in der Medizin

Dr. Gernot Kronreif
FB „Advanced Service Robotics“
PROFACTOR Research and Solutions GmbH

Roboter Grundtypen

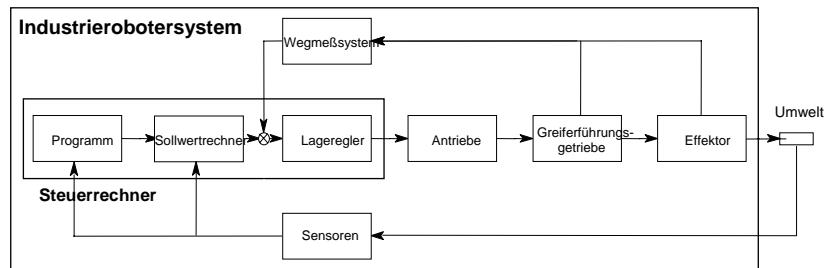


Komponenten eines Robotersystems

- ⇒ **Mechanischer Arm**
Roboterglieder, Gelenke, Basis; genügend strukturelle Stabilität zur Aufnahme der Nennlast
- ⇒ **Antriebssystem**
Motor, Kolbenantriebe, Getriebe, Bremseinrichtungen
- ⇒ **Wegmeßsystem, „Interne Sensoren“**
Bestimmung der aktuellen Roboterposition
- ⇒ **End-Effektor, End-of-Arm Tooling (EOAT)**
Spezielles Werkzeug; angepaßt an Anwendung; Greifer, Schrauber, etc.
- ⇒ **Steuerungssystem**
Interface zum Operator; Ansteuerung der Roboterachsen
- ⇒ **„Externe Sensoren“**
Aufnahme der Umgebungsbedingungen und Einflußnahme auf Programmablauf

© AuG Kronreif OEG, 2005

Blockschaltbild IR-System



© AuG Kronreif OEG, 2005

Arten der Interaktion

⇒ Autonome Roboterbewegung

- Bsp. Einsetzen von Hüftprothesen, Strahlentherapie

⇒ Interaktiv / Roboter“assistenz“

- Roboter und Chirurg „teilen“ Arbeit („shared control“)
- „Hands-On“ Systeme, „active constraints“-Methode
- Bsp. Fräsvorgänge in der Orthopädie

⇒ Explizite Kontrolle durch Arzt („Master-Slave“)

- Unterstützung bei minimal-invasiven Eingriffen
- „Tele-Operation“, „Tele-Presence“

© AuG Kronreif OEG, 2005

Sicherheit von Medizin-Robotern

Mögliche Fehlerquellen ...

- ⇒ fehlerhaftes Design
- ⇒ Fehlfunktion von HW und/oder SW Komponenten
- ⇒ Fehlinterpretation
- ⇒ fehlerhafte / unvollständige Spezifikation

→ **Absolute Sicherheit ist nicht möglich!**

→ **“Fail Save“ Verhalten von Medizin-Robotern**

© AuG Kronreif OEG, 2005

Sicherheit von Medizin-Robotern

Vergleich zu IR-Systemen ...

⇒ Menschen (Patient, Bedienpersonal) im Arbeitsbereich

Vergleiche mit entsprechenden Normen für den Einsatz von IR!

Medizin-Roboter müssen nah am Menschen arbeiten - in ungeordneter und sich ständig ändernder Umgebung!

→ EINSATZ WEITERER SENSORSYSTEME

⇒ Konsequenzen aus Fehlverhalten

⇒ Nicht-generische Anwendungen

IR Roboter führen i.A. gleichartige Befehle zyklisch aus. Medizin-Roboter: jeweils anzupassen an Patienten.

→ TESTS, SIMULATION

© AuG Kronreif OEG, 2005

Sicherheit von Medizin-Robotern

Sicherheits-Strategien ...

⇒ Redundanz

Verdoppelung oder Verdreifachung wesentlicher Module (HW und SW); Verwendung sich ergänzender Sensorsysteme → "Sensor Fusion"

⇒ Einschränkung der Funktionsvielfalt

Fehler-Wahrscheinlichkeit steigt mit zunehmender Komplexität; Mögliche Abhilfen: Beschränkung Freiheitsgrade, Beschränkung Arbeitsbereich, Verringerung der Arbeitsgeschwindigkeit, etc.

→ Spezielle Anforderungen für Rehab-Roboter!

© AuG Kronreif OEG, 2005

Industrieroboter für med. Aufgaben?

- ➲ Wichtigste Auslegungungskriterien IR:
Arbeitsraum ↑, Geschwindigkeit ↑
- ➲ Modifikation um Anforderungen an
Sicherheit zu entsprechen
(nicht nur SW!)
- ➲ Hauptsächliches Einsatzgebiet:
Orthopädie



© AuG Kronreif OEG, 2005

→ Spezialroboter für med. Aufgaben!

- ➲ Wichtigstes Auslegungungskriterium:
Sicherheit ↑
- ➲ Geschwindigkeit, Reichweite ↓
- ➲ Speziell gewählte Kinematik
(„mechanical constraints“,
Zwangsführungen)



© AuG Kronreif OEG, 2005

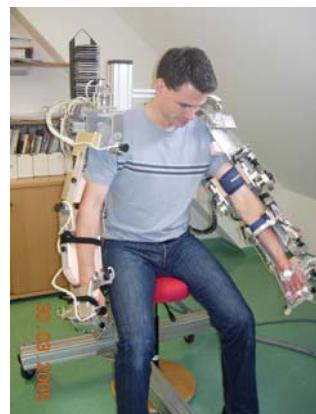
Medizin-Roboter → Grundanforderung

- ⇒ Robotereinsatz MUSS(!) gegenüber "herkömmlichen" Methoden Vorteile bringen ...
 - nicht "nur" bessere Performance; auch Kosten- und/oder Zeitsparnis, einfache Bedienung, etc.
 - BEISPIEL: Ausfräsen Oberschenkelknochen für Einsatz einer Hüftprothese; Kriterium: Kontakt Prothese – Knochen; (angeblich) Roboter 83% - Mensch 30% ABER: keine nachweisliche Verbesserung in Langzeitstudie → System stark in Bedrängnis

© AuG Kronreif OEG, 2005

ARMOR: ARC + PROFACTOR R&S

- ⇒ Orthese Therapie nach Schlaganfall
- ⇒ 12 DOF (8x aktiv; 4x passiv)
- ⇒ Verschiedene Führungsverhalten
 - Master-Slave
 - Gespiegelte Bewegung
 - Vordefinierte Bewegungsmuster
- ⇒ Roboter als „Meßgerät“ für Position/Geschwindigkeit sowie Kraft/Moment



© AuG Kronreif OEG, 2005

Lokomat: Hocoma



© AuG Kronreif OEG, 2005

PARO: Intelligent System Co., Ltd.

⇒ Roboter zur mentalen Therapie

- Depressivität
- Soziale Kontakte
- Interaktion zwischen Patienten und/oder Patien/Pflegepersonal
- Stress-Reduktion bei Pflegepersonal



⇒ Ersatz für Tier-Therapie

⇒ Erfolgreichster Therapie-Roboter weltweit

⇒ Sensorik: Tastsensor, Mikrophon, optische Sensoren

© AuG Kronreif OEG, 2005

Robot-Toys zur Therapie behinderter Kinder

- ➲ Roboter als Spielzeug für behinderte Kinder
- ➲ Interaktion mit „realer Welt“ – insbesondere für schwer körperbehinderte Kinder
- ➲ Spielzeug zur Anpassung von Eingabesystemen
- ➲ Roboter als Spielzeug
- ➲ Roboter als Hilfsmittel zum unabhängigen, autonomen Spielen

© AuG Kronreif OEG, 2005

Rechnergestützte Planung und Durchführung von chir. Eingriffen

➲ „Chirurgisches CAD/CAM“:

Transformation prä-op. Daten in Modelle, Unterstützung bei der Erstellung eines optimalen Eingriffsplans, Registrierung, Unterstützung durch Roboter und „Augmented Reality“ zur Durchführung der Intervention; Schwerpunkt auf prä-operative Planung und intra-operative Umsetzung

➲ „Chirurgische Assistenten“:

Interaktive Zusammenarbeit Chirurg - Gerät zur Erweiterung der Möglichkeiten für spezielle chirurgische Aufgabenstellungen; Schwerpunkt auf intra-operative Unterstützung und Entscheidungshilfe

© AuG Kronreif OEG, 2005

Intra-Operative Registrierung ...

➲ Bilden einer ständigen Beziehung zwischen Plan-Daten und der Anatomie des Patienten

➲ Marker ("Fiducials"):

werden prä-operativ (vor der Aufzeichnung!) implantiert; ständiger Vergleich der aktuellen und der ursprünglichen (prä-operativen) Position; NT: chirurgischer Eingriff zur Anbringung der Marker (teilweise weit entfernt vom eigentlichen Operationsbereich)

➲ "Surface-Based Registration":

Verwendung von Vergleichsflächen (pre- und intra-operativer Daten).

VT: kein zusätzlicher Eingriff notwendig!

NT: erfordert große Genauigkeit des 3D-Modells und der intra-operativ aufgenommenen Daten!

© AuG Kronreif OEG, 2005

Anwendung von Medizin-Robotersystemen Einsatzgebiete

➲ Neurochirurgie

- stereotaktische OP → rahmenlose Stereotaxis

➲ Orthopädie

- THR, TKR, Einsetzen von Pedikelschrauben

➲ Allgemeine Chirurgie / Thorax-Chirurgie (MIS)

- Kameraführung
- aktive Instrumente
- perkutane Interventionen

© AuG Kronreif OEG, 2005

Probleme bei MIS / Endoskopie

- ➲ Vorteile für Patienten aber erhöhte Schwierigkeit für Chirurgen
- ➲ Offene Chirurgie:
maximale Beweglichkeit / Einsicht in OP-Feld unbeschränkt / visuelles + taktiles Feedback
- ➲ Endoskopie:
Arbeit mit langen Instrumenten durch feste Einstichpunkte / begrenzte Freiheitsgrade / unnatürliche Hand-Augen-Koordination (gespiegelte Bewegung) / keine Tiefeninformation / Kamera i.d.R. durch Assistenten geführt ➔ Blickfeld nicht unter Kontrolle des Chirurgen / kein taktiles Feedback

© AuG Kronreif OEG, 2005

„Katalysatoren“ für Medizin-Roboter

- ➲ Minimal-Invasive Chirurgie, „Knopf-Loch Chirurgie“
 - Bewegung mit eingeschränkten DOF
 - Erhöhter Koordinationsaufwand
- ➲ Nicht-invasive 3D Bildgebung (CT, MRI, US, Flouro, etc.) ➔ „Image-Guided Surgery“
 - Planung (Segmentieren)
 - Registration (prä-operative Daten → Patient)
 - Navigation (Roboter? Alternativen?)

© AuG Kronreif OEG, 2005

OP-Roboter → Weitere Möglichkeiten

- ⇒ Hohe Kosten bei Chirurgen-Ausbildung an Leichen und/oder Tieren; Reproduzierbarkeit; Dokumentation
- ⇒ Simulation bzw. Training von chirurgischen Vorgängen!!
 - Bewegungen des chirurgischen Instrumentes wird aufgezeichnet - Computer berechnet visuelle Information und auftretende Kräfte (Gewebemodelle, FE-Modelle, etc.)
 - Roboter „simuliert“ force-feedback resultierend aus der Instrument-Gewebe-Interaktion

© AuG Kronreif OEG, 2005

Roboter in der Medizin

- ☒ Verwendung spezieller und auf die Anwendung „maßgeschneiderter“ Robotersysteme statt Roboter „von der Stange“;
- ☒ Der Roboter ist ein **Werkzeug für den Chirurgen** - kein Ersatz desselben;
- ☒ Visualisierung ohne Berücksichtigung des **Tastsinn** ist „blind“;
- ☒ **Simulation** spielt eine zentrale Rolle bei der Verwendung medizinischer Robotersysteme;
- ☒ Ein neuer Entwicklungsschwerpunkt sollte die Entwicklung besserer, **anwender-orientierter Mensch-Maschine-Schnittstellen** sein;

© AuG Kronreif OEG, 2005

Was macht MR erfolgreich?

- ⇒ Neue OP-Möglichkeit durch Roboter (z.B. TECAB)
- ⇒ Veränderung der Behandlungsstrategie
- ⇒ **KLINISCHER NUTZEN**
 - für Patienten
 - für Arzt/Therapeuten
 - für Health-Care Provider
- ⇒ „Markt-getrieben“ (nicht technologie-getrieben“)
- ⇒ **Erwartete Steigerung MR → 35% jährlich (trotz aktueller Probleme)**