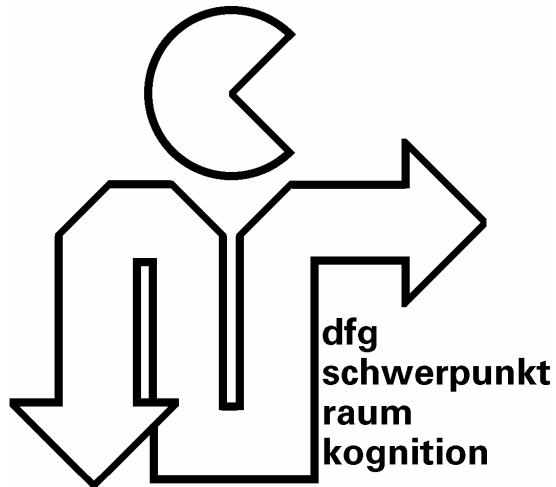


Architektur und Navigation des Bremer Autonomen Rollstuhls „Rolland“

Thomas Röfer und Axel Lanckenau



Bremer Institut für Sichere Systeme
Technologiezentrum Informatik

Universität Bremen

Gliederung

Die Bremer Autonomen Rollstühle

Sicherheit

- Konzept
- Entwicklung mit formalen Methoden
- Fehlerbaumanalyse
- Spezifikation der Umwelt

Basissystem „Sicherer Rollstuhl“

- Hindernisdetektion
- Rechtzeitiges Anhalten

Anwendungen

- SpeedWizard, DoorWizard, Grundverhalten
- Routenverfolgung
- Ergebnisse

Die Bremer Autonomen Rollstühle



Laserscanner



Kamera



Sprach-
eingabe



Ultraschall-
sensoren

Infrarot-
sensoren

Sprach-
eingabe

Joystick

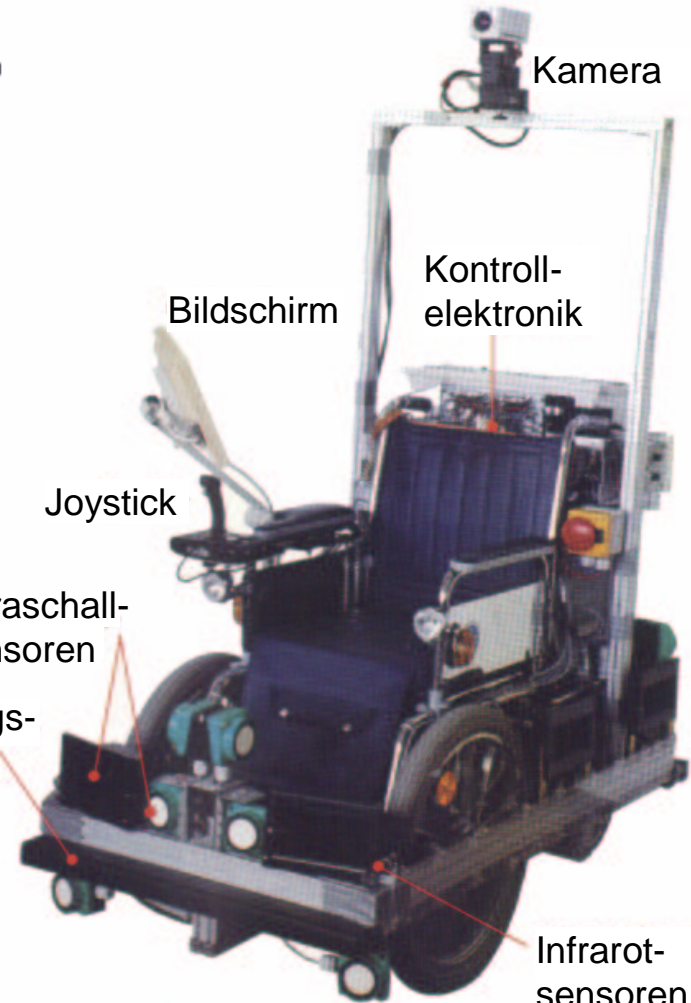
Ultraschall-
sensoren

Berührungs-
sensoren

Bildschirm

Kontroll-
elektronik

Kamera



Infrarot-
sensoren

Sicherheitskonzept

Sicherheit in der Rehabilitationsrobotik



- Steigende unmittelbare Abhängigkeit des Menschen vom System
- Beweisbar korrektes Verhalten erhöht Akzeptanz

Resultierender Sicherheitsbegriff

- Nichteintritt eines *katastrophalen Systemzustands*
 - *Keine Kollision*
 - *Umsetzung der Anforderungen des Benutzers*

Entwicklung mit formalen Methoden

Bedrohungsanalyse

- Fehlerbaum
- Spezifikation des unerwünschten Systemverhaltens

Ableitung von Sicherheitsbedingungen

- Spezifikation der Umwelt
- Spezifikation von Sicherheitseigenschaften

Definition von Sicherheitsmechanismen

- Ein spezielles Modul garantiert Systemsicherheit

Verifikation von Sicherheitseigenschaften

Fehlerbaumanalyse

Teilfehlerbaum (Probleme mit den externen Sensoren)

X Fehler der externen Sensoren

| X.1 Meßfehler kann zu Kollision führen

& X.1.1 Zu große Distanzen gemessen

| X.1.1.1 Zu große Distanzen bis zu n-mal hintereinander gemessen.

| X.1.1.2 Zu große Distanzen mehr als n-mal hintereinander gemessen

& X.1.2 Hindernisdistanz überschätzt.

| X.2 Totalausfall der externen Sensoren

& X.2.1 Keine Entfernungen gemessen

& X.2.2 Ausfall nicht bemerkt.

| X.3 Hindernis nicht meßbar durch externe Sensoren

Spezifikation der Umwelt

Blätter des Fehlerbaums

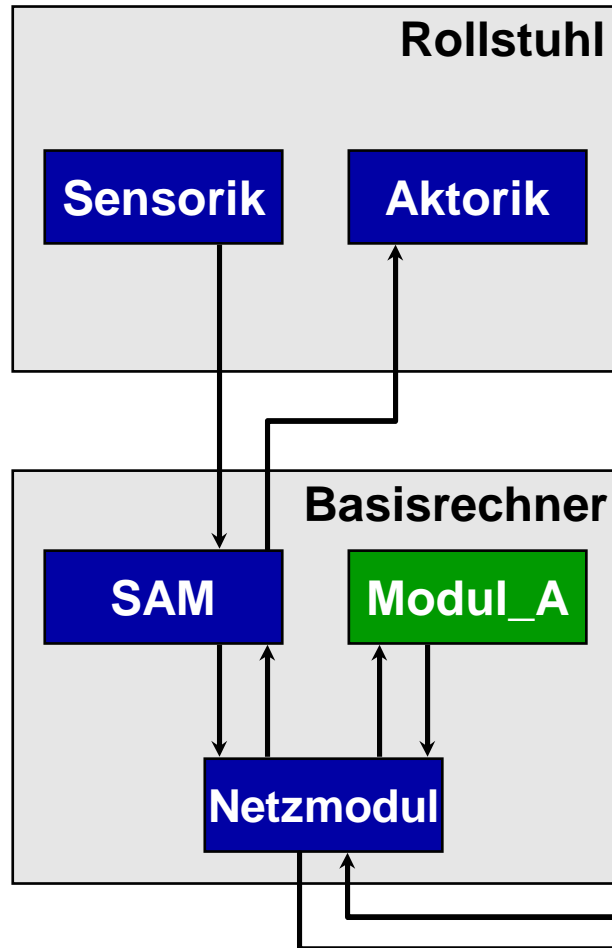
Sicherheitsbedingungen des Systems nicht erfüllt

- | 1 Kollision (in Sensorhöhe)
 - | 1.1 **Passive Kollision** #
 - | 1.2 Aktive Kollision
 - ...
- | 2 **Kollision (nicht in Sensorhöhe)** #
- | 3 **Absturz (an eine Treppe etc.)** #
- ...

Anforderungen an die Umwelt

- **Keine "aktiven" Hindernisse**
- **Alle Hindernisse haben ihre maximale Ausdehnung in Sensorhöhe**
- **Keine Treppen etc.**

Basissystem „Sicherer Rollstuhl“

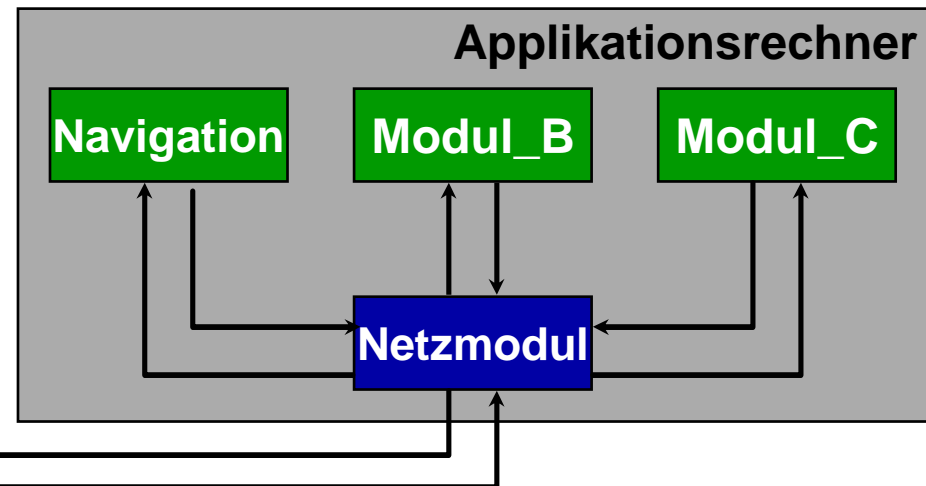


Sicheres Basissystem

- Rechtzeitiges Anhalten

Netzwerk

- Replikation von Informationen
- Kollisionsfreies Protokoll
- Niemals Blockade bei Zugriff



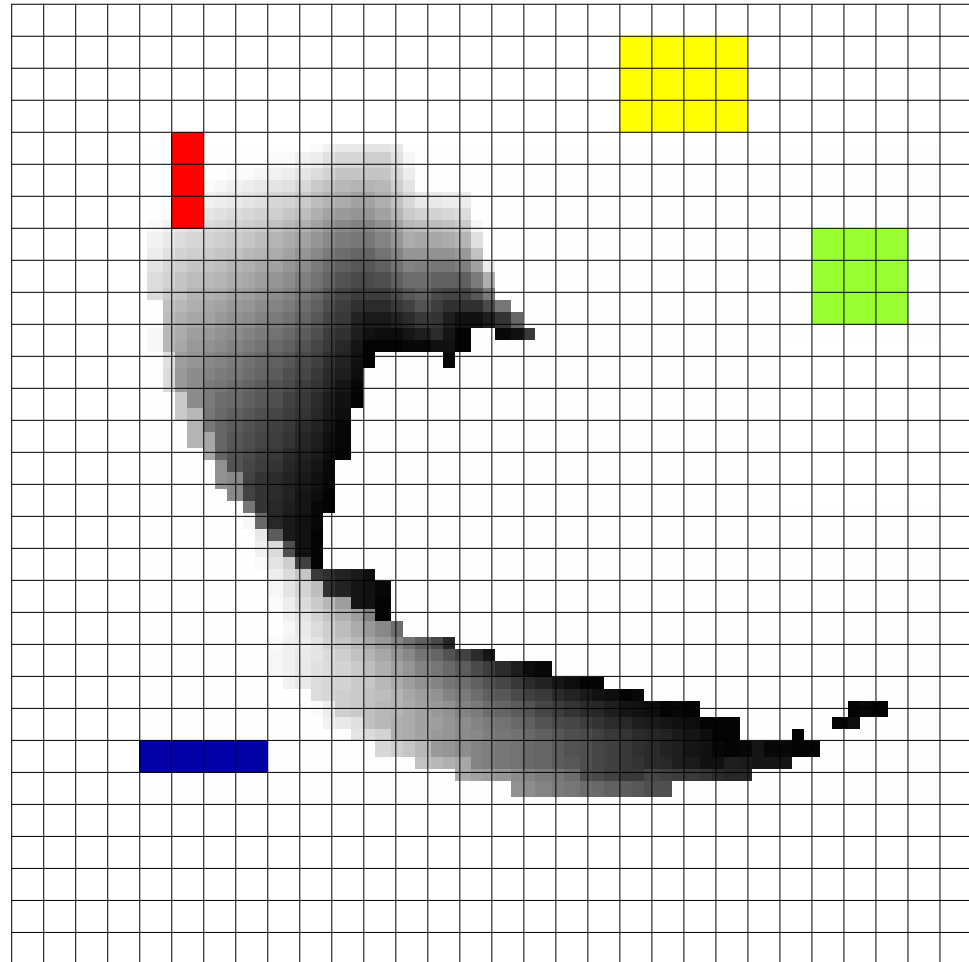
Hindernisdetektion

Lokale Hinderniskarte

- Speichert die lokale Umgebung des Rollstuhls
- Wird analog zur Bewegung des Rollstuhls verschoben
- Meßwerte „altern“
- Zellgröße 3 x 3 cm²
- Auflösung 120² Zellen
- Aktualisierung < 3 ms

Virtuelle Sensoren

- Abhängig von Rotation, Richtung und Lenkeinschlag
- Antizipation von Kollisionen
- Entfernungsmessung < 75 µs



Rechtzeitiges Anhalten



Anwendungen

SAM

- Rechtzeitiges Anhalten

SpeedWizard

- Sanftes Abbremsen und Beschleunigen

DoorWizard

- Allgemeine Hindernisvermeidung
- Einstellbare Aktivierungsdistanz

Grundverhalten

- Korridorverfolgung, Wandverfolgung, Einbiegen in eine Tür, Wenden

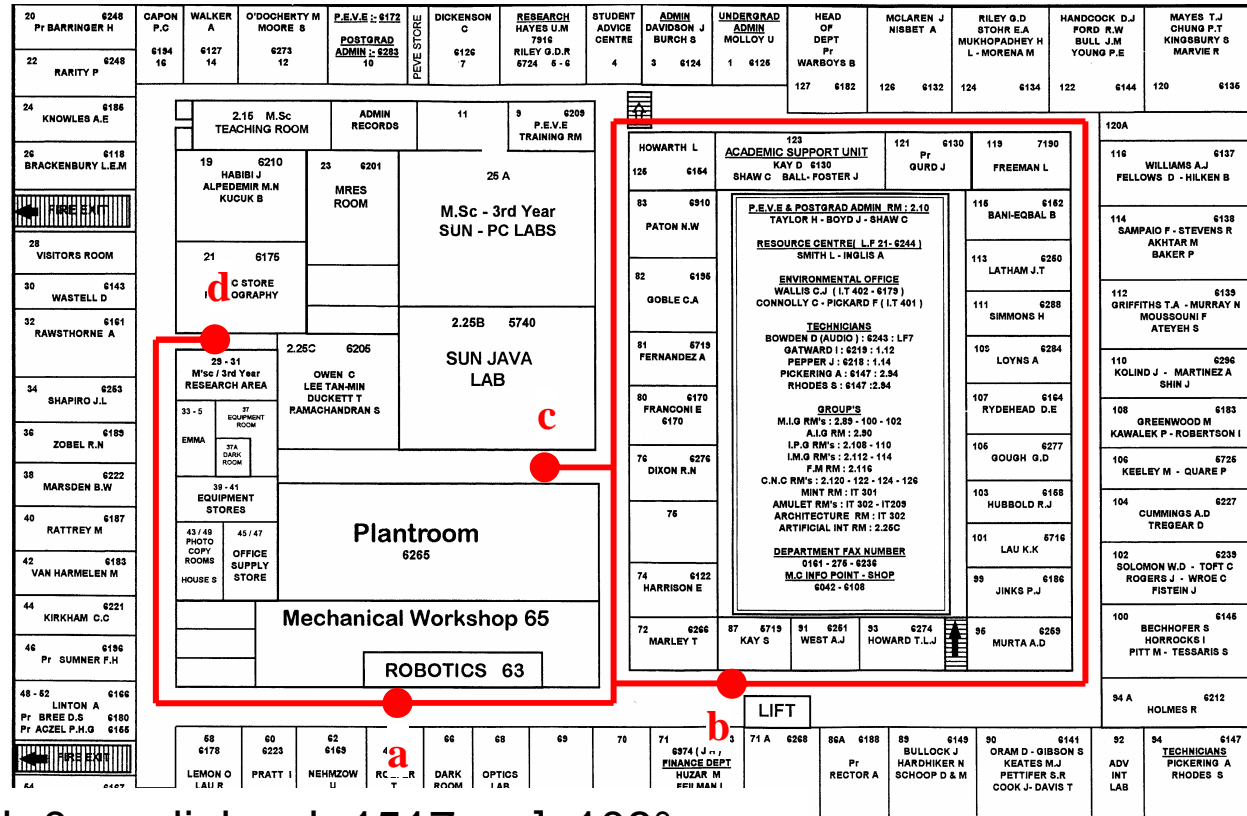
Routenverfolgung

- Routen können als Sequenz von Grundverhalten gelehrt werden

Routenverfolgung mit Landmarken



Ergebnisse



Beispiel b-c

- 1963 cm [rechts ab 0 cm, links ab 1517 cm], 108°,
- 5474 cm [rechts ab 2453 cm, links ab 4748 cm], 102°,
- 3215 cm [rechts ab 647 cm, links ab 2895 cm], 98°,
- 2983 cm [rechts ab 539 cm], 83°,
- 516 cm [stop bei 448 cm]