

Entwicklung einer Gestiksteuerung mittels Kinect für den humanoiden Roboter Nao

STUDIENARBEIT

für die Prüfung zum
Bachelor of Engineering
des Studienganges Informationstechnik
an der
Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe
von

**Lukas Essig
und
Michael Stahlberger**

Abgabedatum 12. Mai 2014

Bearbeitungszeitraum
Matrikelnummer
Kurs
Betreuer

24 Wochen
8898018, 1367912
TINF11B3
Herr Prof. Hans-Jörg Haubner

Erklärung

Gemäß §5 (3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 22. September 2011.

Ich habe die vorliegende Studienarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Ort Datum

Unterschrift

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Ziel der Arbeit | 1 |
| 1.2 | Inhalt | 2 |
| 1.3 | Umfeld & Strukturelles | 2 |
| 2 | Kinect | 4 |
| 2.1 | Kinect Hardware | 4 |
| 2.1.1 | RGB-Kamera | 5 |
| 2.1.2 | Tiefenerkennung | 5 |
| 2.1.3 | Motor | 5 |
| 2.1.4 | Microphon Array | 5 |
| 2.2 | Kinect Software | 5 |
| 2.2.1 | Der Skeletonstream | 6 |
| 2.3 | Kinect SDK | 7 |
| 2.3.1 | Funktionen des SDKs | 7 |
| 3 | Nao | 8 |
| 3.1 | Nao Hardware | 8 |
| 3.2 | Nao Software | 11 |
| 3.3 | NAOqi Framework | 15 |
| 3.3.1 | Cross - Plattform/Language | 16 |
| 3.3.2 | NAOqi - Prozess | 16 |
| 3.3.3 | Module | 18 |
| 3.3.4 | .NET SDK | 21 |
| 4 | Realisierung | 22 |
| 4.1 | Architektur | 22 |
| 4.1.1 | Interfaces | 22 |
| 4.1.2 | Klassendiagramm | 23 |
| 4.1.3 | Sequenzdiagramm: Winkelerkennung | 23 |
| 4.2 | Kinect Armerkennungs-Algorithmus | 23 |
| 4.2.1 | Shoulder Pitch | 23 |
| 4.2.2 | Shoulder Roll | 23 |
| 4.2.3 | Elbow Roll | 24 |
| 4.2.4 | Elbow Yaw | 24 |
| 4.3 | Nao Armbewegungsalgorithmus | 25 |
| 4.4 | Prototypen | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.4.1 | Erster Kinect-Prototyp | 25 |
| 4.4.2 | Erster Nao-Prototyp | 26 |
| 4.4.3 | Zweiter Prototyp | 26 |
| 4.4.4 | Endprogramm | 27 |
| 5 | Ausblick | 28 |
| 5.1 | Weiterführende Anwendungsgebiete | 28 |
| | Literaturverzeichnis | 30 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----|-----------------------------------|----|
| 2.1 | Aufbau Kinect [3] | 4 |
| 2.2 | Kinect Joints [2] | 6 |
| 3.1 | Übersicht Nao V3.2 | 9 |
| 3.2 | Überblick Choreographie | 12 |
| 3.3 | Überblick Webots | 14 |
| 3.4 | NAOqi Übersicht | 15 |
| 3.5 | NAOqi Broker | 17 |
| 3.6 | NAOqi Method-Tree | 17 |
| 3.7 | Blocking Call | 20 |
| 3.8 | Blocking Call | 20 |
| 4.1 | Erster Nao-Prototyp | 26 |
| 1 | Gelenkraum linker Arm | 29 |
| 2 | Gelenkraum rechter Arm | 30 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|----------------------------------|----|
| 3.1 | Gelenkraum linker Arm | 10 |
| 3.2 | Gelenkraum rechter Arm | 10 |

Listings

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Kommunikationsarten Module | 19 |
| 3.2 | Beispiel .NET SDK | 21 |
| 4.1 | Ermittlung des Winkels mithilfe von drei Punkten | 24 |
| 4.2 | Ermittlung des Winkels mithilfe von vier Punkten | 24 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| DHBW | Dualen Hochschule Baden-Württemberg |
| SDK | Software Development Kit |
| API | application programming interface |

Kapitel 1

Einleitung

In dieser Einleitung wird das zentrale Thema dieser Arbeit beleuchtet, beschrieben in welchem Umfeld die Arbeit entworfen wurde und strukturell erläutert, wie die Zusammenarbeit im Projekt stattgefunden hat. Zudem wird aufgezählt, wie sich diese Arbeit inhaltlich aufbaut.

1.1 Ziel der Arbeit

Zentrales Thema der Arbeit ist die Interaktion zwischen Mensch und Roboter. Dabei soll ein Modell des humanoiden Roboters Nao durch die Gestik seines Benutzers gesteuert werden. Der Roboter ahmt die Bewegungen nach, die der Benutzer zuvor ausgeführt hat. Zudem sollen bestimmte Steuergesten implementiert werden, die den Roboter in verschiedene Modi versetzen, in denen er gleiche Gesten auf verschiedene Weise interpretiert. Die Gestik-Erkennung soll mit Hilfe eines Xbox Kinect Moduls erfolgen. Von dieser Stereokamera werden bestimmte Gesten aufgezeichnet und über eine selbst implementierte Software verarbeitet und an den Nao-Roboter weitergeleitet, der diese dann nachahmt. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Bewegungen von Nao ausgeführt werden, die ihm mechanisch oder elektronisch Schaden zufügen können.

Das Vorgehen ist folgendermaßen strukturiert: Nach der Einarbeitung in die Materie Nao - Roboter und Kinect - Kamera soll die Wahl einer geeigneten Programmiersprache getroffen werden. Daraufhin muss eine Anwendung mit zwei wesentlichen Säulen konzeptioniert und implementiert werden. Erstens die Erkennung der Gesten mittels Kinect und zweitens das Empfangen der Gesten und die kinematische Umsetzung durch den Roboter. Zwischen diesen beiden Säulen muss eine geeignete Kommunikationsschicht entworfen und implementiert werden.

Der erste große Meilenstein ist die Übertragung der Armbewegung des Menschen auf den Roboter. Darauf folgend soll versucht werden auch Kopf- und Torso-bewegungen zu übertragen. Je nach dem wie der zeitliche Fortschritt nach diesen beiden Meilensteinen ist, kann auch die Steuerung der Füße und somit das Laufen implementiert werden.

1.2 Inhalt

Grundlagen (Roboter, DOF,) -> Kinect -> Nao -> Realisierung (Prototypen, Architektur, Umsetzung) -> Fazit(was hat geklappt, was fehlt,)

To do (1)

1.3 Umfeld & Strukturelles

Diese Studienarbeit mit dem Thema *Entwicklung einer Gestiksteuerung mittels Kinect für den humanoiden Roboter Nao* wurde während zwei Theoriephasen an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) am Standort Karlsruhe von Michael Stahlberger und Lukas Essig durchgeführt. Betreut wurde die Arbeit durch Herrn Prof. Hans-Jörg Haubner, sowie Herrn Michael Schneider.

Dieses Dokument wurde von den beiden Autoren in \LaTeX verfasst. Dies hat den Vorteil, dass sehr leicht gleichzeitig an der Ausarbeitung geschrieben werden kann, ohne dass Konflikte dabei auftreten.

Als Programmiersprache wurde C# gewählt, da sowohl das Kinect-Modul als auch der Nao-Roboter über eine Schnittstelle verfügen, die diese objektorientierte Sprache unterstützt. Dies macht es einfacher, die beiden Programme später zu verknüpfen.

Sowohl die \LaTeX Dokumentation, als auch der Source-Code sind mit Hilfe von Git¹ in einem Repository versioniert worden. Damit lässt sich genau verfolgen, wer wann eine Änderung durchgeführt hat und zudem lässt sich auch eine vorherige Versionen wiederherstellen. Das Repository wurde auf der Internetplattform *GitHub* gespeichert. Damit ist es möglich, von jedem Rechner auf das Repository und somit die Dateien und Dokumente zuzugreifen. *GitHub* bietet den Vorteil, dass die Zusammenarbeit an Projekten noch zusätzlich durch Management-Funktionen unterstützt werden. In diesem Fall wurden davon hauptsächlich zwei Funktionen benutzt. Einmal die *Issue*- Funktion, mit der Anforderungen, Aufgaben, Bugs etc. eingetragen und einem Bearbeiter zugeordnet werden können.

¹Software zur Versionsverwaltung von Dateien und Verzeichnissen

Zusätzlich wurde noch die *Milestone*-Funktion genutzt, mit der Projekt - Meilensteine erstellt werden können. Diese geben an, welche Funktion bzw. Anforderung bis wann erledigt sein sollten. Die Issues sind dann einem Meilenstein zugeordnet und wenn ein Issue geschlossen wird, ist sehr einfach dargestellt, zu wie viel Prozent der Meilenstein erreicht ist.

Kapitel 2

Kinect

Im folgenden Kapitel wird der Aufbau und die Funktion des Kinect Sensors erläutert. Zudem wird erläutert, welche Funktionen das Kinect SDK bereits enthält und welche noch erweitert werden mussten, um auf das gewünschte Ergebnis zu gelangen.

2.1 Kinect Hardware

Microsoft brachte im November 2010 mit dem Produkt Xbox Kinect eine neues Produkt auf den Markt. Mit diesem war es möglich, ihr eigenes Produkt Xbox 360 über eine 3D-Kamera zu steuern und Spiele zu spielen. Mit diesem Produkt konnte erstmals ein preiswerter Sensor verwendet werden, um 3D-Bilddaten auszuwerten. Im Folgenden wird auf die Hardware des Sensors näher eingegangen:

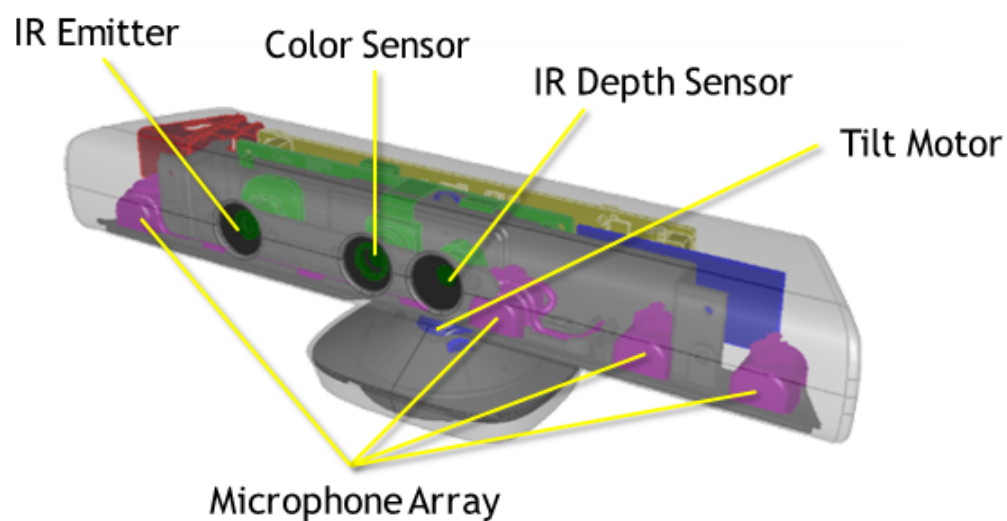


Abbildung 2.1: Aufbau Kinect [3]

Das Kinectmodul besteht technisch gesehen aus mehreren Komponenten, die es ermöglichen, die im folgenden erläuterten abstrahierten Funktionen (Skelettverfolgung, Winklextraktion, RGB-Bild) zu realisieren. [8]

2.1.1 RGB-Kamera

Ein Teil der Kinect ist die RGB Kamera, die maximal eine Auflösung von 1280 x 960 Pixeln unterstützt.

Auflösung 30 FPS bei 640x480 12 FPS bei 1280x960

Sichtfeld: 43 Grad vertikal 57 Grad horizontal

2.1.2 Tiefenerkennung

Infrarot Projektor CMOS Chip: depth camera = max resolution of 640 x 480.

To do (2) To do (3) To do (4)

2.1.3 Motor

Kippbarer Kopf

2.1.4 Microphon Array

4 Mikrofone -> Für dieses Projekt irrelevant (evtl. Sprachkommandos? Kinect Lib unterstützt Grammatik!!) Richtung d. Geräusch

[6]

Rauminformationen für Software Vorteil: Günstig, leicht zu entwickeln, da SDK vorhanden

2.2 Kinect Software

(Essenz auf dem, was Kinect für mich erledigt theorie, mathematische Berechnung tiefe und skeletonstream usw)

Da das Produkt Xbox Kinect bereits vor einigen Jahren auf den Markt kam, hatten die Entwickler Zeit, um ein SDK zu entwickeln, was alle wichtigen Programmfunktionen bereits enthält. Dies macht es einem Entwickler relativ leicht eine Anwendung zu erstellen, die bestimmte Kinect-Funktionen bereitstellt.

Die Hardware liefert folgende Werte:

- Audiosignale inkl. Richtungswert des Microphonarrays

- RGB Bildsignal der Kamera
- Tiefensignal

Für dieses Projekt sind die Audiodaten jedoch irrelevant. Wichtig sind primär die Bilddaten inklusive Tiefenwerte. Das Kinect SDK bietet bereits standardmäßig Zugriff auf diese Werte. Dabei können im Programm bestimmte Proxyobjekte registriert und abgefragt werden. Für dieses Projekt ist das Skeletonobjekt von großer Bedeutung. Anhand von Vergleichsmustern erzeugt die Software -nicht Kinect!- einen sog. Skeletonstream, der versucht die Position eines menschlichen Skeletts im Kinect Koordinatenraum abzubilden. [4]

2.2.1 Der Skeletonstream

Damit die Bewegungen eines Benutzers mittels Kinect erkannt und im Programm verarbeitet werden können, werden im Tiefenstream bestimmte Bereiche definiert und mit bestehenden Mustern verglichen. Somit können die einzelnen Gelenke des menschlichen Skeletts (Joints) erkannt und in Zusammenhang gebracht werden. Als Entwickler können diese dann in einem Skelettobjekt mit der erkannten Genauigkeit ausgelesen und verwendet werden. Für die Erkennung der Armbewegungen werden Schulter-, Ellenbogen-, Hand- und Hüftjoints benötigt (Siehe Realisierung).

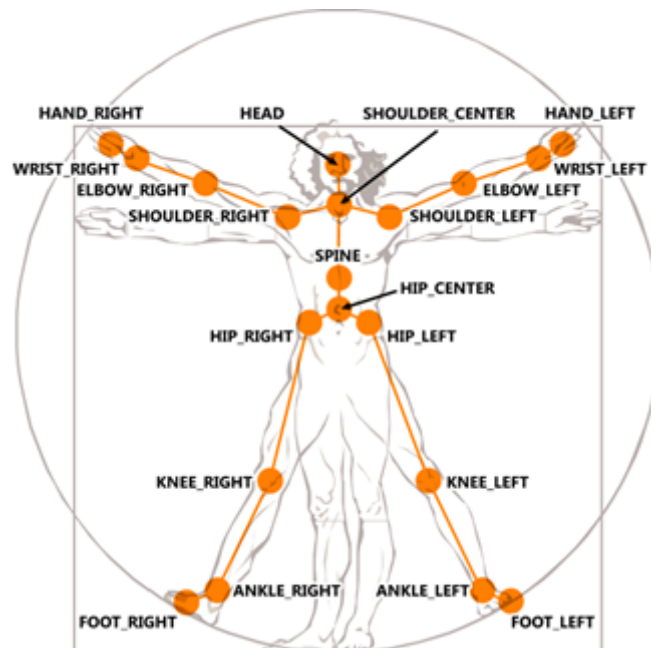


Abbildung 2.2: Kinect Joints [2]

(Technischer Hintergrund der Berechnung -> Bild mit verschiedenen Farben für Skelettbereiche, aber nicht öffentlich, da Microsoft Geheimnis)

(Bild Kinect Koordinatenraum) (Bild mehrere User im Kinectraum)

To do (5) To do (6) To do (7) To do (8)

Dieser Stream berechnet anhand der Tiefendaten und der RGB-Daten Werte für ein menschliches Skelett:

-Armwinkel -Positionen -Kinectraum...

DELME [5]

2.3 Kinect SDK

(Essenz auf der praktischen Anwendung des SDKs -> Methoden usw.)

Nach dem Erscheinen der Hardware war diese auch schnell in Entwicklerkreisen gefragt. Doch Microsoft selbst gefiel dies zunächst nicht, denn der Konzern befürchtete, dass Cheater sich an ihren Spielen zu schaffen machen würden. So gab es zunächst kein SDK von Microsoft selbst. Die Open Source Gemeinde jedoch erkannte das Potential des Produktes schneller und entwickelte (eine Schnittstelle? zu) OpenNI, einem Framework, das die Auswertung von 3D-Sensordaten verschiedenster Hersteller unterstützt. Dieses Framework bietet somit durch seine Plattformunabhängigkeit die Möglichkeit unterschiedliche Betriebssysteme mit unterschiedlichen 3D-Sensoren zu kombinieren. [8] Microsoft zog nach und gab am 17. Juni 2011 die freie Beta Version des Microsoft SDKs frei. Somit hatte nun jeder Entwickler freien Zugang zu allen Kinectfunktionen, die auch von Microsoft selbst bisher genutzt wurden. Einer der Vorteile des Kinect SDKs besteht darin, dass die Skelett-Erkennung (siehe Kapitel 2.2 Kinect Software) ohne initiale Pose möglich ist, was im Gegensatz zum OpenNI-Framework steht. [8] Da für dieses Projekt die Plattformunabhängigkeit nicht relevant ist, sowohl aber die Skeletterkennung, wurde sich für das Microsoft SDK entschieden.

2.3.1 Funktionen des SDKs

Methoden des SDKs

To do (9)

Kapitel 3

Nao

Nao ist ein humanoider Roboter des französischen Herstellers *Aldebaran Robotic*. Die erste Version des Roboters wurde 2006 vorgestellt und unter anderem mit einem Investment durch Intel weiterentwickelt. Es gibt den Roboter in verschiedenen Ausführungen mit verschiedenen verbauten Sensoren und kostet ungefähr 10.000 Euro. [1]

Im folgenden Kapitel wird der Aufbau und die Funktionen der Hardware, sowie die zugehörige Software zur Bedienung und Programmierung des Nao vorgestellt.

3.1 Nao Hardware

Der in dieser Arbeit verwendete Nao ist vom Typ *NAO V3+*, *V3.2*. Dieser Typ ist 573.2 mm hoch, 290 mm tief und 273.3 mm breit. In Abbildung 3.1 *Übersicht Nao V3.2* sind alle Sensoren und Aktoren aufgeführt.

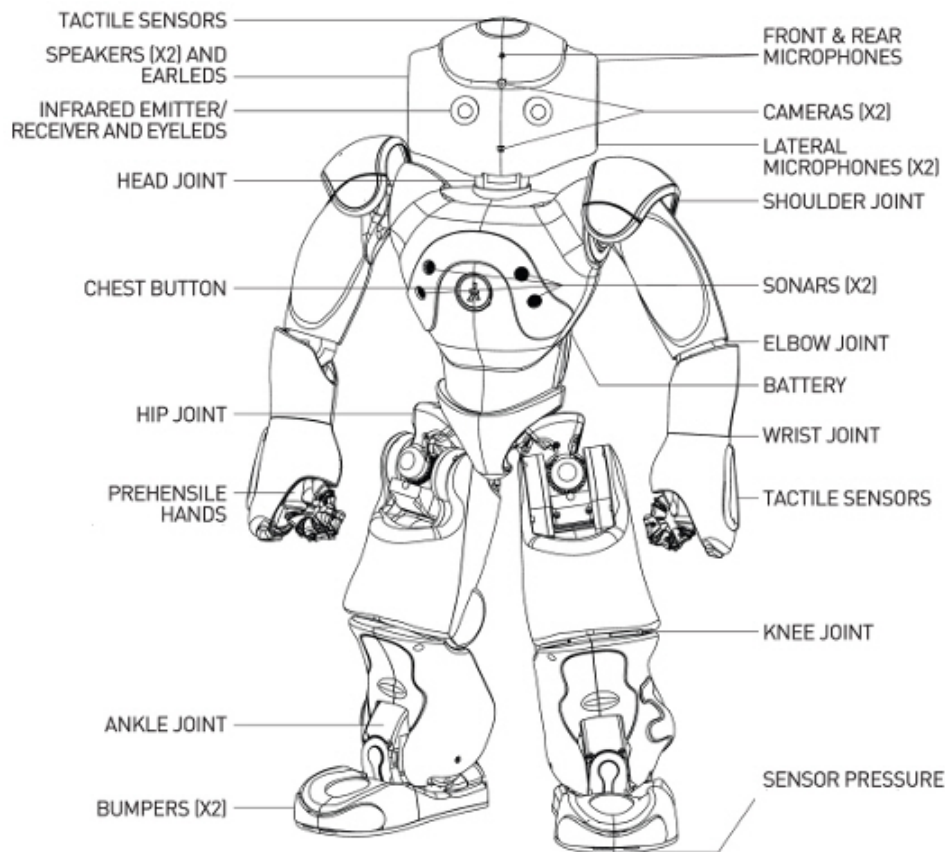


Abbildung 3.1: Übersicht Nao V3.2

Gelenke

Nao besitzt im Kopf, den beiden Armen, dem Becken und den beiden Beinen jeweils mehrere Gelenke (*Joint*, siehe Bild 3.1). Damit ist eine umfangreiche Bewegung in alle Richtungen der drei Achsen möglich. Der Kopf lässt sich in Z-Richtung drehen und in Y-Richtung neigen, damit Nao auch räumlich sehen bzw. Objekte verfolgen kann. Die Arme besitzen die gleichen Gelenke wie in einem menschlichen Körper. Dazu gehören Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk. Das Schultergelenk dient dazu, den Arm zu heben/senken und ihn zu öffnen bzw. zu schließen. Das Drehen und Öffnen/Schließen des Unterarms geschieht durch das Ellenbogengelenk in Kombination mit dem Handgelenk. Die Finger der Hand können nur als Ganzes geöffnet bzw. geschlossen werden. Das Beckengelenk wird dazu benutzt, den Torso von Nao nach vorne oder hinten zu neigen. Die Beine bestehen aus drei Gelenken: Einem Hüft-, einem Knie- und einem Fußgelenk. Die Bewegungsfreiheit der Beine ähnelt dem des menschlichen Beins, wobei keines der Gelenke in Z-Richtung gedreht werden kann.

Die Bestimmung der Gelenkpositionen erfolgt über einen magnetischen Drehwinkelgeber mit einer Auflösung von 12 Bit. Das macht beispielsweise bei einem Wert von 4096 pro Umdrehung eine Präzision von 0.1 Grad.

Gelenkraum Nao

Da primär die Arme durch Nao nachgeahmt werden sollen, wird hier kurz auf den Gelenkraum dieser eingegangen. Jedes einzelne Gelenk der beiden Arme besitzt einen Winkelbereich in dem diese bewegt werden können. Tabellen 3.1 und 3.2 zeigen den Gelenkraum für den linken bzw. den rechten Arm.

| Gelenk | Bereich (Grad) | Bereich (Radian) |
|----------------|-----------------|--------------------|
| LShoulderPitch | -119.5 to 119.5 | -2.0857 to 2.0857 |
| LShoulderRoll | -18 to 76 | -0.3142 to 1.3265 |
| LElbowYaw | -119.5 to 119.5 | -2.0857 to 2.0857 |
| LElbowRoll | -88.5 to -2 | -1.5446 to -0.0349 |
| LWristYaw | -104.5 to 104.5 | -1.8238 to 1.8238 |

Tabelle 3.1: Gelenkraum linker Arm

| Gelenk | Bereich (Grad) | Bereich (Radian) |
|----------------|-----------------|-------------------|
| RShoulderPitch | -119.5 to 119.5 | -2.0857 to 2.0857 |
| RShoulderRoll | -76 to 18 | -1.3265 to 0.3142 |
| RElbowYaw | -119.5 to 119.5 | -2.0857 to 2.0857 |
| RElbowRoll | 2 to 88.5 | 0.0349 to 1.5446 |
| RWristYaw | -104.5 to 104.5 | -1.8238 to 1.8238 |

Tabelle 3.2: Gelenkraum rechter Arm

Bilder der einzelnen Gelenke und Winkelbereiche sind im Anhang zu finden.

Aktoren

In Nao sind vier verschiedene Typen von Motoren verbaut. Diese unterscheiden sich im wesentlichen in ihrer maximalen Anzahl an Drehungen pro Minute, dem Drehmoment und der Drehzahlrückstellung. Dies ist wichtig, da nicht jedes Gelenk und der zugehörige Aktor mit der gleichen Masse belastet wird.

Elektronik & Sensoren

Das Herz von Nao ist dessen Motherboard mit einer x86 AMD CPU mit 500MHz. Der Arbeitsspeicher mit 256MB RAM und die 2GB Flash-Speicher befinden sich zusammen mit dem Prozessor im Kopf. Die Batterie mit rund 30Wh hält für die aktive Nutzung (viele Bewegungen und Sensoraktivitäten) ca. 60min und die normale Nutzung ca. 90min.

Links und Rechts am Kopf befinden sich jeweils ein Lautsprecher und ein Mikrofon. Zusätzliche Mikrofone sind am Kopf auch noch vorne und hinten angebracht. Damit ist es Nao möglich, ein Geräusch zu lokalisieren und gegebenenfalls dahin zu folgen. Um gleichzeitig die Ferne und die Nähe visuell zu verarbeiten wurde über und unter den Augen jeweils eine VGA - Kamera mit einer Auflösung von 640x480 Pixeln installiert. Die Augen selbst dienen zur Erkennung von Infrarotlicht, wobei auch hier in jedem Auge jeweils ein Sensor verbaut ist.

Auf der Brust von Nao befinden sich Ultraschallsensoren zur Distanzermittlung (je 2 Emitter und Empfänger). Diese haben eine Auflösung von 1cm und eine Erkennungsweite von 0.25m bis 2.55m. Unter 0.25m erkennt Nao nur noch, dass ein Objekt im Weg ist, aber nicht wie weit es entfernt ist.

Sensoren zur Kontakterkennung befinden sich auf dem Kopf, dem Brustbutton, auf und neben den Händen, sowie vorne an den Füßen. Unter den Füßen befinden sich zudem noch piezoresistive Drucksensoren mit einem Arbeitsbereich von 0 bis 25 Newton. Damit lässt sich unter anderem erkennen, ob Nao nur auf einem Bein oder auf unebenen Untergrund steht.

To do (10)

3.2 Nao Software

Um Nao auf einfache Weise zu programmieren, simulieren oder ihm neue Funktionen beizubringen gibt es im wesentlichen zwei Programme. Diese werden im folgenden jeweils kurz vorgestellt:

Choreographie

Choreographie ist eine multi - Plattform Desktopanwendung. Mit ihrer Hilfe ist es möglich:

- Neue Animationen und Verhalten zu erstellen,
- diese entweder auf einem simulierten oder direkt auf einem realen Roboter zu testen und
- den Roboter dabei zu überwachen und zu steuern.

Dabei steht die Einfachheit der Anwendung im Vordergrund und so ist es auch möglich sehr komplexe Verhalten (z.B. Interaktion mit Menschen, Tanzen oder E-Mails verschicken) zu implementieren ohne eine einzige Zeile Quellcode selbst zu schreiben. Zusätzlich ist die Möglichkeit gegeben, vorhandenen Code mit eigenem Python - Code zu erweitern.

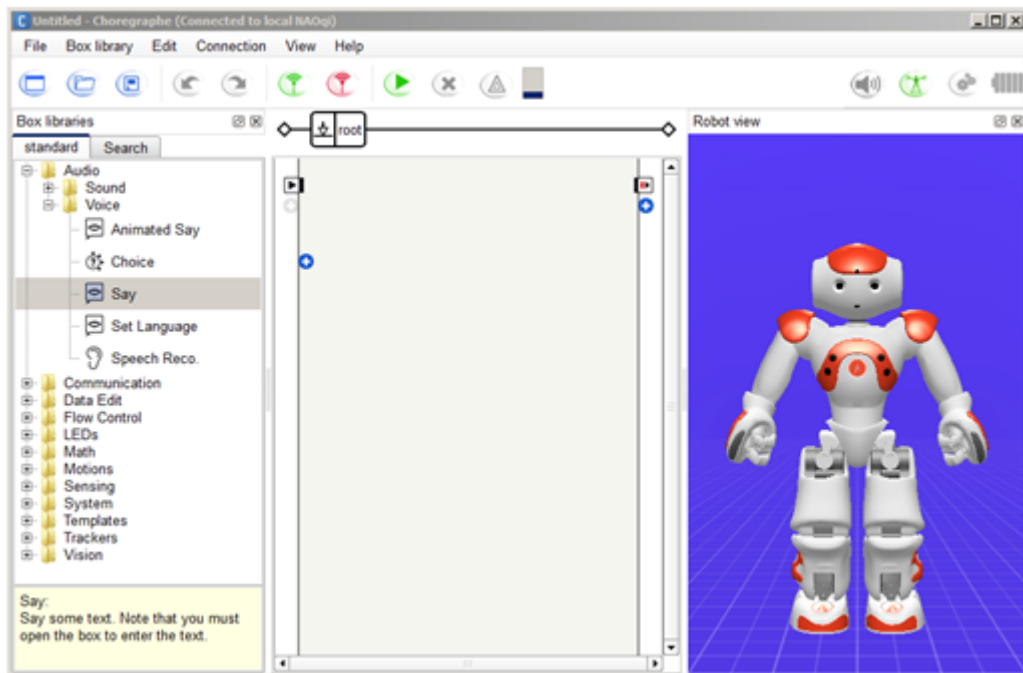


Abbildung 3.2: Überblick Choreographie

Abbildung 3.2 *Überblick Choreographie* zeigt einen Überblick über alle Subfenster und Panels innerhalb Choreographie. Wie zu sehen ist Choreographie zentral in drei Bereiche unterteilt: Links, Mitte und Rechts. Auf der linken Seite ist die sogenannte Box - Bibliothek zu finden. Dort sind alle von Haus aus gespeicherten Bewegungen und Verhalten abrufbar. Diese können per Drag&Drop in die Mitte gezogen werden. Die Mitte stellt sozusagen ein Fluss - Diagramm der einzelnen Boxen dar. So ist es möglich *graphisch* zu programmieren (Verknüpfen der Boxen). Auf der rechten Seite ist das Abbild eines Nao - Roboters zu sehen. Dies zeigt, je nach dem, einen simulierten Roboter oder die Spiegelung eines realen Naos. Durch diese graphisch einfache Programmierung können auch unerfahrene Anwender mit Nao arbeiten. So ist Nao nicht nur für die Forschung oder für Entwickler gedacht, sondern auch für den Unterricht an Schulen.

Die Programmierung des Roboters geschieht durch Verbinden von einzelnen Boxen. Es ist auch möglich ein Programm mit verschiedenen Wegen zu entwerfen oder Konditionalstrukturen (*if-else-elseif*) einzubauen. **To do** ⁽¹¹⁾

Neue Bewegungen oder Verhalten können entweder durch eigenen Python - Code oder durch vormachen integriert werden. Dazu kann über eine *Timeline* aufgenommen werden, zu welchem Zeitpunkt der Bewegung sich die einzelnen Gelenke/Körperteile befinden sollen. Anschließend kann diese aufgenommene Timeline als Verhalten in einer Box gespeichert werden.

Die Möglichkeit neue Programme erst an einer Simulation zu testen, spart erstens Akku eines realen Nao und zweitens schützt es einen realen Nao vor *schlechten* Programmen, bei denen er Schaden nehmen könnte. Ein weiterer Vorteil ist, dass zu jeder Box der Quellcode in Python sichtbar ist und sich dadurch Arbeit erspart werden kann.

Choreographie wurde in dieser Arbeit hauptsächlich dazu genutzt, sich in die Marterie Nao einzuarbeiten, seine Funktionsweise zu verstehen und zu erlernen wie er programmiert wird.

Webots for Nao

Webots für Nao erlaubt es, einen simulierten Roboter in einer virtuellen Welt zu bewegen. Die Software bietet eine sichere Umgebung um neue Verhalten zu testen, bevor sie in die reale Welt übertragen werden. Webots for Nao ist eine spezifische Auskopplung von Webots 7, einer professionellen Software zum simulieren diverser Roboter, beispielsweise KUKA - Robotern oder Lego Mindstorms. Mit Webots for Nao können jedoch keine anderen Roboter genutzt oder neue erstellt werden.

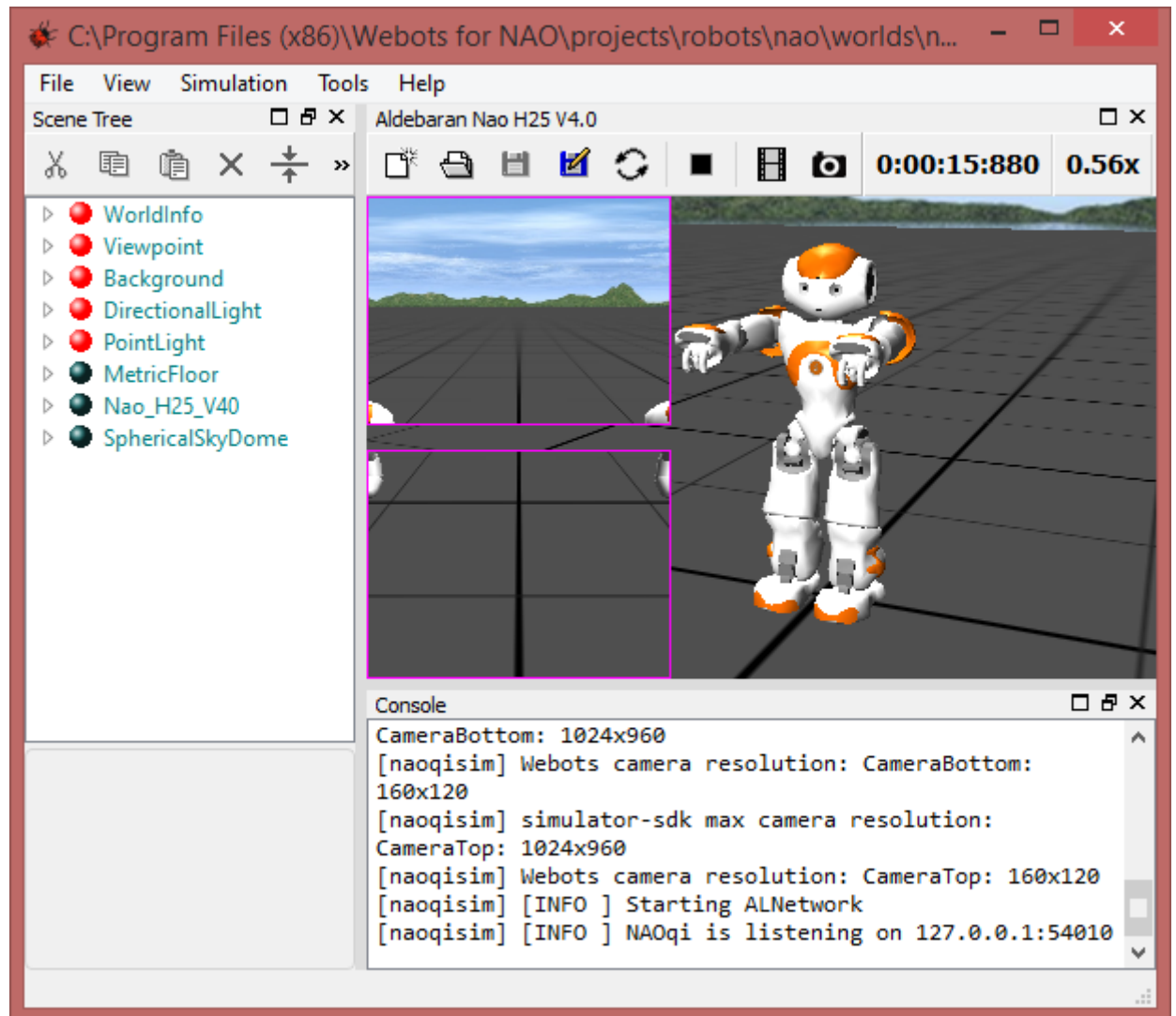


Abbildung 3.3: Überblick Webots

Bild 3.3 *Überblick Webots* zeigt einen simulierten Nao in einer virtuellen Welt. Auf der linken Seite befinden sich Reiter, die ausgeklappt werden können. Dort können Objekte in die Welt gelegt werden. Auf der rechten Seite ist Nao von Vorne und jeweils ein Ausschnitt der beiden Kameras an seinem Kopf zu sehen. Unterhalb davon ist eine Konsole, die verschiedene Angaben ausgibt, z.B. die IP - Adresse und der Port, unter dem der simulierte Nao angesprochen werden kann.

Der Unterschied zu der Simulation in Choreographie liegt darin, dass in Webots auch Elemente wie Tische, Stühle oder andere Hindernisse in die Welt gelegt werden können. So kann beispielsweise getestet werden, ob Nao Hindernissen ausweicht, wenn er auf sie zu läuft.

Webots wurde im Allgemeinen dafür genutzt, zu Testen, ob die Übertragung

der Armwinkel korrekt ist und ob diese der Bewegung durch dem Menschen entsprechen. Würden die Tests an einem realen Nao durchgeführt werden, würden seine Aktoren sehr schnell warm werden und eventuell Schaden davon nehmen.

3.3 NAOqi Framework

NAOqi ist der Name der Software die tatsächlich auf dem Roboter läuft und ihn kontrolliert. Das NAOqi Framework ist das Gerüst um Nao zu programmieren. Es spricht auf die gewöhnlichen Anforderungen in der Robotertechnik an: Parallelität (von Threads), Ressourcen, Synchronisation und Events. Das bedeutet, es kann mit allen gängigen Techniken der Software - Entwicklung bedient werden.

Dieses Framework erlaubt homogene Kommunikation zwischen verschiedenen Modulen (Bewegung, Audio, Video), homogene Programmierung und homogenes Teilen von Informationen über die verschiedenen Module hinweg.

3.4 *NAOqi Übersicht* zeigt die einzelnen Komponenten des NAOqi Frameworks:

- Cross - Plattform
- Cross - Language
- NAOqi - Prozess
- Module

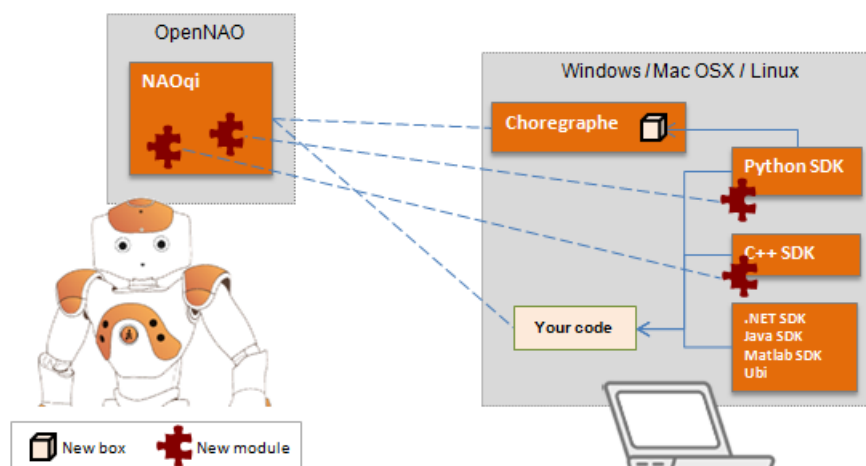


Abbildung 3.4: NAOqi Übersicht

3.3.1 Cross - Plattform/Language

Cross - Plattform

Cross - Plattform bedeutet Plattformunabhängigkeit gegenüber dem Betriebssystem auf dem programmiert werden soll. Sowohl auf Linux, Windows und auf Mac kann Code für Nao programmiert werden. Allerdings kann auf Windows und Mac nur Code auf dem Computer selbst kompiliert werden, während auf Linux der Code auch auf dem Roboter selbst programmiert werden kann.

Cross - Language

Cross - Language ist nach [7] die Eigenschaft, dass Software in C++ und in Python entwickelt werden kann. In allen Fällen, in denen die Methoden exakt gleich sind kann die application programming interface (API) (dt: Programmierschnittstelle), gleichgültig von welcher der unterstützten Programmiersprachen, aufgerufen werden. Die API ist in acht Programmiersprachen verfügbar: C++, Python, .NET (C#, Visual Basic, F#), Java, Matlab und Urbi.

Neue NAOqi Module können nur in C++ oder Python entwickelt werden, jedoch kann die Client - API mit allen Programmiersprachen angesprochen werden. Ebenso sind nur C++ und Python auf dem Roboter unterstützt, die anderen Sprachen werden nur über *Remote - Access* unterstützt. (siehe unten *Proxy*)

3.3.2 NAOqi - Prozess

Der NAOqi - Prozess der auf dem Roboter läuft ist ein *Broker* (siehe unten). Beim Start des Prozesses wird eine Konfigurationsdatei **autoload.ini** geladen, die definiert, welche Bibliotheken geladen werden sollen. Jede Bibliothek beinhaltet ein oder mehrere Module, die der Broker nutzt um deren Methoden öffentlich anzuzeigen. (siehe 3.5)

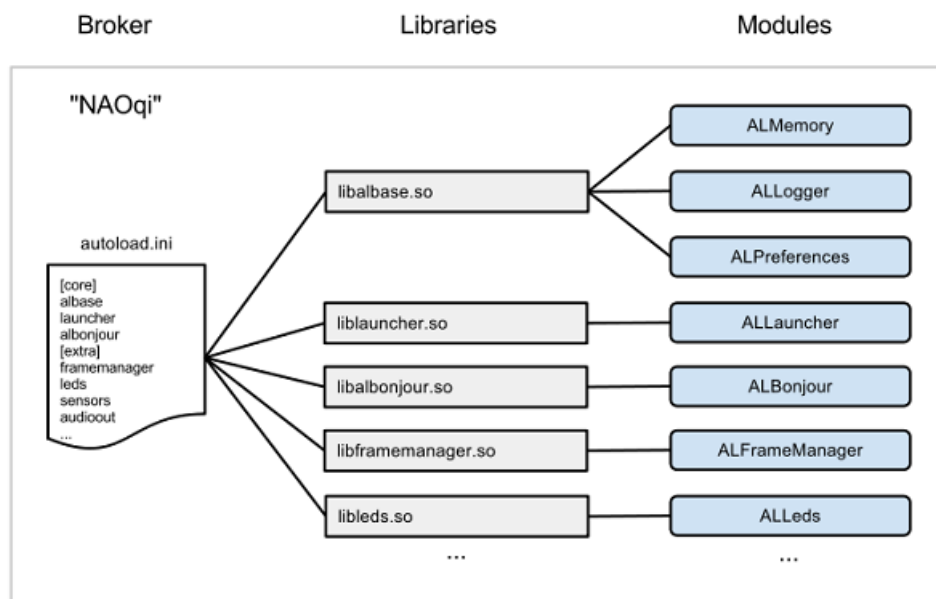


Abbildung 3.5: NAOqi Broker

Der Broker stellt einen Lookup - Service zu Verfügung, so dass jedes Modul im Baum oder verteilt im Netzwerk jede Methode finden kann, die öffentlich angezeigt wurde.

Das Laden der Module zum Start erzeugt einen Baum von Methoden, die an Module geknüpft und diese wiederum an einen Broker geknüpft sind. (siehe 3.6)

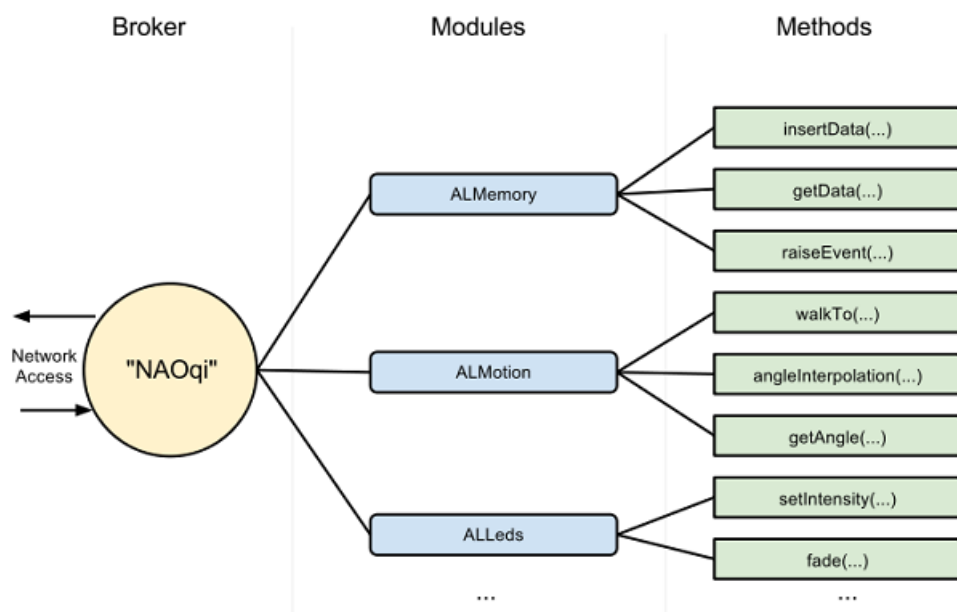


Abbildung 3.6: NAOqi Method-Tree

Broker

Der Broker ist ein Objekt, der zwei generelle Rollen einnimmt. Erstens ist das ein Verzeichnis - Dienst, mit dessen Hilfe Module und Methoden gefunden werden können und zweitens ein Netzwerk - Anschluss, der es möglich macht Methoden verknüpfter Module auch außerhalb des Prozesses aufzurufen.

Die Meiste Zeit muss sich keine Gedanken um die Broker gemacht werden, da diese ihre Arbeit selbstständig und transparent machen. Geschriebener Code kann gleich sein, ob für Aufrufe an „remote Module“ (dt.: entfernt; anderer Prozess oder anderes System) oder „lokale Module“ (gleicher Prozess).

Proxy

Ein Proxy ist ein Stellvertreter - Objekt das sich genau so verhält, wie das Modul das es repräsentiert. Wenn ein Proxy - Objekt des ALMotion Moduls instanziiert wird, erhält das Proxy - Objekt auch alle Methoden des ALMotion Moduls.

Um ein Proxy eines Moduls zu instanziiieren gibt es zwei Möglichkeiten:

- Nur den Namen des Moduls benutzen. In diesem Fall muss der auszuführende Code und das Modul das verbunden werden soll im selben Broker liegen. Dies ist ein „lokaler“ Aufruf
- Zusätzlich zum Namen des Moduls auch die IP und den Port des Broker benutzen. In diesem Fall muss das Modul im zugehörigen Broker liegen. Dies ist ein „remote“ Aufruf.

Der genaue Unterschied zwischen „remote“ und „lokalen“ Modulen wird im folgenden erklärt.

3.3.3 Module

Typischerweise ist ein Modul eine Klasse innerhalb einer Bibliothek und wird automatisch instanziiert wenn diese durch `autoload.ini` geladen wird. Neue Methoden können an Klassen gebunden werden, die von `ALModule` erben. Dadurch werden die Methoden mit ihrem Namen und ihrer Signatur dem Broker öffentlich gemacht, so dass diese anderen verfügbar wird.

Ein Modul kann, wie oben bereits erwähnt, entweder „remote“ oder „lokal“ sein.

Lokale Module sind zwei (oder mehr) Module, die im selben Prozess gestartet wurden. Sie kommunizieren miteinander lediglich über **einen** Broker. Durch

den gemeinsamen Prozess können sie sich Variablen teilen und einander Methoden ohne Serialisierung oder Netzwerkverbindung aufrufen. Dies erlaubt die schnellste Kommunikation untereinander. Lokale Module werden als Bibliothek kompiliert und können ausschließlich auf dem Roboter ausgeführt werden. Sie sind sehr schnell und effizient im Umgang mit dem Arbeitsspeicher.

Remote Module kommunizieren über das Netzwerk miteinander. Jedes remote Module benötigt einen Broker um mit anderen Modulen zu sprechen. Der Broker nutzt dabei das Netzwerkprotokoll SOAP¹ um die Kommunikation bereitzustellen. Schnelles Ansprechen von Modulen ist über ein remote Modul nicht möglich, beispielsweise bei direkter Adressierung des Arbeitsspeichers. Remote Module werden als ausführbare Dateien kompiliert und können außerhalb des Roboters aufgerufen werden. Remote Module sind einfacher zu benutzen und können dadurch von außen einfacher debuggt werden. Allerdings sind sie langsamer und weit weniger effizient wie lokale Module.

Die Kommunikation zwischen remote Modulen kann über zwei Wege erfolgen. Erstens **Broker to Broker** und zweitens **Proxy to Broker**.

Der Unterschied liegt darin, dass Broker to Broker eine wechselseitige, Proxy to Broker nur eine einseitige Kommunikation eröffnet. Bei zwei Modulen B und C kann bei Broker to Broker B Methoden von C und C Methoden von B aufrufen. Bei Proxy to Broker ist dies nur in die Richtung von B nach C möglich, nicht umgekehrt. Listing 3.1 zeigt die Implementierung beider Kommunikationsarten.

```

1  /* Broker to Broker */
2  Proxy proxy = new Proxy(<modulename>);
3  /*Proxy to Broker */
4  Proxy proxy = new Proxy(<modulename>, <ip_adress>,
    <port_number>);
```

Listing 3.1: Kommunikationsarten Module

Blocking und non - Blocking Aufrufe

Das NAOqi - Framework bietet zwei Möglichkeiten an, Methoden aufzurufen.

Abbildung 3.7 zeigt das Schema eines **Blocking calls**. Diese sind wie normale Methoden - Aufrufen. Die nächste Anweisung wird erst nach dem Ende der vorherigen ausgeführt und währenddessen ist keine Ausführung von anderem Code möglich. Alle Aufrufe können eine Exception auslösen und sollten in einen

¹Simple Object Access Protocol, dient u.a. dazu *Remote Procedure Calls* durchzuführen

try-catch - Block gepackt werden. Ebenso können die Aufrufe Rückgabewerte besitzen.

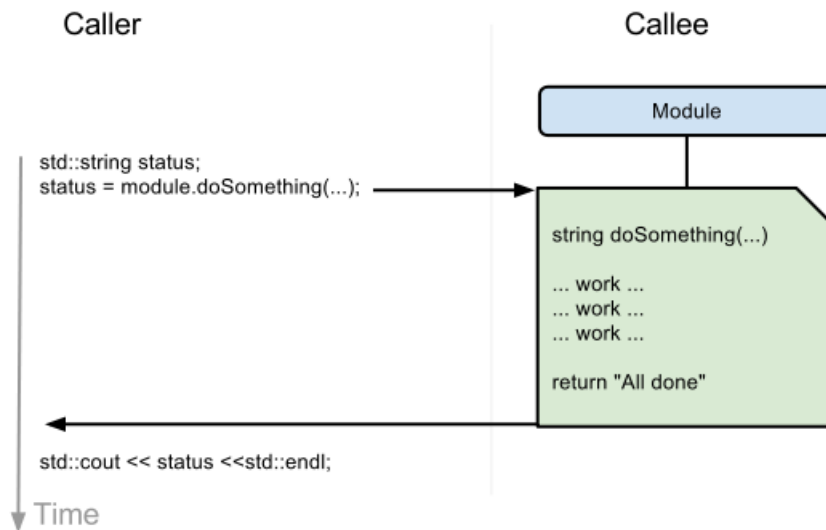


Abbildung 3.7: Blocking Call

Non - blocking calls benutzen das *post*-Objekt einer Proxy. Der Vergleich zu Bild 3.8 zeigt, dass die Ausführung der Methode in einen parallelen Thread gepackt wird. Dadurch ist es möglich andere Anweisungen zur gleichen Zeit auszuführen, z.B. Sprechen während des Laufens. Jedes *post* - Objekt erzeugt eine *taskID*. Mit dieser ID kann entweder geprüft werden ob der Thread noch läuft, ob auf ihn gewartet oder ob er gestoppt werden soll.

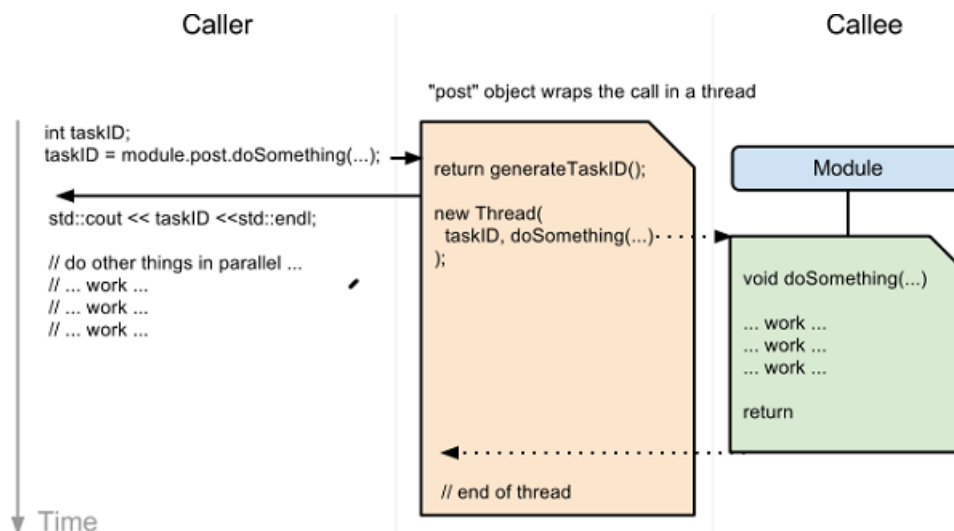


Abbildung 3.8: Blocking Call

3.3.4 .NET SDK

Wie bereits in Kapitel 1 *Einleitung* erwähnt, wurde als Programmiersprache C# gewählt.

Das Benutzen des .NET SDK ist sehr einfach gestaltet. Dazu muss dieses je nach .NET - Version (2/4) installiert werden. In unserem Fall ist das .NET Version 4, da mit *Microsoft Visual Studio 2013* entwickelt wurde. Das SDK beinhaltet Auto - Vervollständigung und nahezu jede NAOqi - Methode kann damit aufgerufen werden.

Listing 3.2 zeigt ein einfaches Beispiel zur Benutzung von NAOqi innerhalb C#. In Zeile eins wird angegeben, dass der Namespace von NAOqi benutzt wird. Damit dies möglich ist, muss davor die `naoqi.dll` als Verweis dem Projekt hinzugefügt werden. Zeile sieben zeigt die Erzeugung eines Proxy - Objekts vom Typ *TextToSpeech*. Da im Konstruktor eine IP - Adresse und ein Port angegeben wird, handelt es sich hier um eine Proxy to Broker Kommunikation. Auf dem Proxy - Objekt wird in Zeile acht eine Methode mit dem Parameter "Hello World" als blocking call aufgerufen. Das Ergebnis der Methode ist die sprachliche Ausgabe des Strings Hello World durch den Roboter.

```
1 using Aldebaran.Proxies;
2
3 class Program
4 {
5     static void Main(string[] args)
6     {
7         TextToSpeechProxy tts = new
8             TextToSpeechProxy("<IP OF YOUR ROBOT>", 9559);
9         tts.say("Hello World");
10 }
```

Listing 3.2: Beispiel .NET SDK

Kapitel 4

Realisierung

In diesem Kapitel wird näher auf das Zusammenspiel von Sensorik (Kinect) und Aktorik (Nao) eingegangen. Zunächst wird die Idee der Softwarearchitektur vorgestellt. Im Anschluss daran, wird auf die entworfenen Algorithmen näher eingegangen.

To do ⁽¹²⁾Wahl Bibliothek, warum?... **To do** ⁽¹³⁾

4.1 Architektur

Die Architektur der Anwendung kann grob in zwei Teilbereiche gegliedert werden, den Sensorik- und den Aktorik-Bereich. Der Sensorteil ist dafür zuständig, die entsprechenden Gesten des Benutzers zu ermitteln und zu verarbeiten. Der Aktorteil der Anwendung ist dafür zuständig die Werte entsprechend auf die Wertebereiche des Nao-Koordinatensystems zu transformieren und diese dem Roboter zu übermitteln.

4.1.1 Interfaces

Als Schnittstelle zwischen der Erkennung und der Ausführung der Armpositionen wird essenziell die Methode *updateAngles* vom Interface *ISkeletonAngles* verwendet. Diese stellt alle benötigten Winkel wie Shoulder Pitch, Shoulder Roll, Ellbow Roll, Elbow Yaw bereit. Somit kann dieses Interface von allen Klassen implementiert werden, die immer die aktuellen Werte benötigen, wie der NaoHandler und die GUI.

4.1.2 Klassendiagramm

4.1.3 Sequenzdiagramm: Winkelerkennung

To do (14)

4.2 Kinect Armerkennungs-Algorithmus

Ein wesentlicher Teil des Programmes besteht darin, die Gesten einer Person, die sich vor dem Kinect-Sensor befindet, zu erkennen und in die passenden Winkelwerte für den Roboter umzurechnen. Hierfür wird mathematisch gesehen das Kreuzprodukt der passenden Knochen errechnet, um die passenden Winkel zur Steuerung des Nao-bots zu erhalten.

Um einen Arm des Roboters zu steuern, bedarf es folgender Winkel:

- Shoulder Pitch
- Shoulder Roll
- Elbow Roll
- Elbow Yaw

4.2.1 Shoulder Pitch

Der Shoulder Pitch des menschlichen Skelettes kann durch die Joints **Hip, Shoulder und Elbow** errechnet werden. Dabei werden zwei Vektoren aufgespannt. Ein Vektor verbindet den Punkt *Hip* mit dem *Shoulder* Punkt, der andere Vektor stellt den Oberarm dar und verbindet den Punkt *Shoulder* mit dem Punkt *Elbow*. Dabei alle Joints nur von einer Seite des Körpers, also z.B. *HipRight*, *ShoulderRight*, *ElbowRight* extrahiert.

4.2.2 Shoulder Roll

Der Shoulder Roll Winkel kann nicht mit drei aneinander liegenden Gelenken ermittelt werden. Deshalb benutzt man jeweils zwei Hilfs-Vektoren, die im Skelett nicht anatomisch verbunden sind. Der erste Vektor wird durch die Hüfte aufgespannt, dies betrifft die Joints *HipRight* und *HipLeft*. Der andere Vektor wird analog zum Oberarm aufgespannt, dies betrifft die Joints *Shoulder* und *Elbow*.

4.2.3 Elbow Roll

Dieser Winkel entspricht der Beugung des Ellenbogens. Dafür notwendig sind die Joints *Shoulder*, *Elbow* und *Hand*. Dabei entsprechen die Vektoren dem Oberarm (Shoulder-Elbow) und dem Unterarm (Elbow-Hand) des menschlichen Skelettes.

4.2.4 Elbow Yaw

Dieser Winkel wird über die Gelenke Shoulder, Hip, Elbow und Hand berechnet. Der erste Vektor wird von Schulter zur Hüfte aufgespannt und der zweite Vektor entspricht dem Unterarm.

Nach der Erstellung dieser Vektoren wird eine Methode aufgerufen, die das Kreuzprodukt der Vektoren errechnet und somit den jeweiligen Winkel zurück liefert.

```
1 public static float getAngle(Vector3D a, Vector3D b,
   Vector3D c)
2 {
3     Vector3D bone1 = a - b;
4     Vector3D bone2 = c - b;
5
6     bone1.Normalize();
7     bone2.Normalize();
8
9     float dotProduct =
       (float)Vector3D.DotProduct(bone1, bone2);
10
11     return (float)Math.Acos(dotProduct);
12 }
```

Listing 4.1: Ermittlung des Winkels mithilfe von drei Punkten

Da die Methode auch mit vier Gelenken (Shoulder Roll, Elbow Yaw) durchgeführt werden kann, existiert auch folgende Methode:

```
1 public static float getAngle(Vector3D a, Vector3D b,
   Vector3D x, Vector3D y)
2 {
3     Vector3D bone1 = a - b;
```



```

4      Vector3D bone2 = x - y;
5
6      bone1.Normalize();
7      bone2.Normalize();
8
9      float dotProduct =
          (float)Vector3D.DotProduct(bone1, bone2);
10
11     return (float)Math.Acos(dotProduct);
12 }

```

Listing 4.2: Ermittlung des Winkels mithilfe von vier Punkten

To do (15)

4.3 Nao Armbewegungsalgorithmus

To do (16)

4.4 Prototypen

Im Rahmen der Entwicklung des finalen Endprogramms wurden mehrere Prototypen entwickelt um sich erstens in die einzelnen SDKs einzuarbeiten und zweitens die Prototypen zu erweitern und zu vereinen. Diese Prototypen werden hier vorgestellt.

4.4.1 Erster Kinect-Prototyp

Anhand der obigen Überlegungen wurde der erdachte Algorithmus zunächst anhand eines Prototyps implementiert. Dieser sollte zunächst dazu dienen, das Microsoft Kinect SDK näher kennen zu lernen^{**To do** (17)}. Der erste Prototyp erfüllte folgende Funktionen:

-Kinect SDK Library -(Connect-Disconnect von Kinect) -Winkelerkennung des Benutzers mit Anzeige in Grad -Anzeige des Kamerabildes mit Gelenkkennzeichnung von Kopf und Armen ^{**To do** (18)}

4.4.2 Erster Nao-Prototyp

Zur Einarbeitung in das Nao-SDK wurde eine Anwendung erstellt, die verschiedene Armwinkel an den Roboter übermitteln können.

In Bild 4.1 *Erster Nao-Prototyp* sind verschiedene Eingabefelder zu sehen. In die oberste wird die IP - Adresse eingetragen, die dem zu benutzenden Nao (hier: lokal in Webots) entspricht. Bei einem Klick auf den Button *Connect* wird im Hintergrund ein neuer Proxy geöffnet. Wenn die Verbindung erfolgreich aufgebaut wurde, wird auch der Button *Move* klickbar.

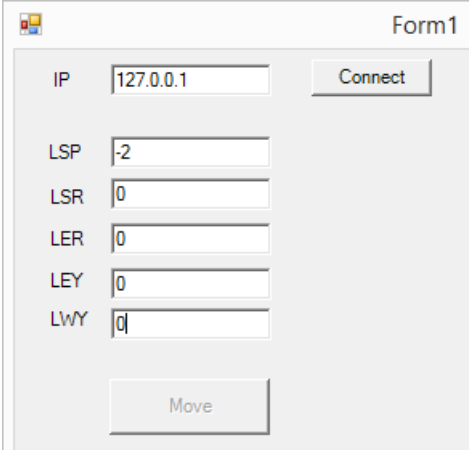
The image shows a graphical user interface window titled 'Form1'. It contains several input fields and two buttons. The first row has an 'IP' label followed by a text box containing '127.0.0.1' and a 'Connect' button. Below this are five more rows, each with a label and a text box: 'LSP' with '-2', 'LSR' with '0', 'LER' with '0', 'LEY' with '0', and 'LWY' with '0'. At the bottom of the form is a 'Move' button. The window has a standard Windows-style title bar with a small icon on the left.

Abbildung 4.1: Erster Nao-Prototyp

In die anderen Felder müssen die einzelnen Winkel (im Bogenmaß) für die Gelenke (LSP = LeftShoulderPitch, LSR = LeftShoulderRoll, usw.) eingetragen werden. Bei Klick auf den Button *Move* werden die einzelnen Winkel des linken Arms in die Position der eingetragenen Werte gefahren. In diesem Fall hebt der Roboter den linken Arm nach oben an, da *LSP* mit -2rad definiert ist und dies im Nao - Gelenkraum einem Winkel von -115° entspricht (siehe Kapitel 3.1 und Bild 1).

Ist ein angegebener Winkel nicht im Gelenkbereich wird die komplette Bewegung nicht ausgeführt. (gilt nur für diesen Prototyp)

4.4.3 Zweiter Prototyp

Anhand der ersten Prototypen wurde das nun erworbene Wissen in eine gemeinsame Architektur eingebettet (Siehe Kapitel Architektur). Als Verbesserungen wurden alle benötigten Winkel auf zwei separaten Fenstern angezeigt, eines für jeden Arm. Auf der GUI wird nun das komplette Skelett über das RGB-Bild gelegt. **To do** (19)

4.4.4 Endprogramm

Um den effektiven Algorithmus der Winkelerkennung noch effizienter zu gestalten wurde noch ein Mittelwertsfilter implementiert, um die Ausreißer in den erkannten Winkeln zu eliminieren und somit die Messungenauigkeit der Gelenkpositionen zu verringern.

To do (20)

Kapitel 5

Ausblick

Schluss

5.1 Weiterführende Anwendungsgebiete

Es stellt sich nun die Frage, welchen technischen Nutzen die Teleoperation innerhalb der Gesellschaft finden könnte. Zunächst gibt es ein großes Anwendungsgebiet in der Medizin....

Anhang

Gelenkraum Arme

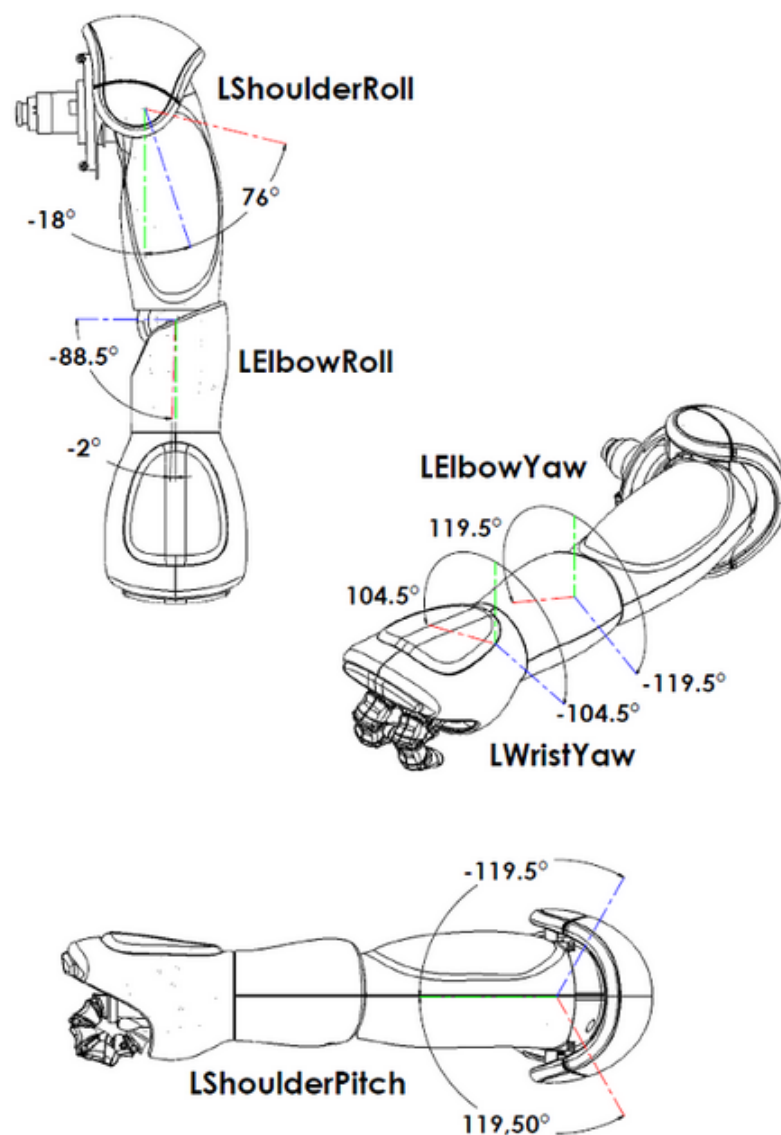


Abbildung 1: Gelenkraum linker Arm

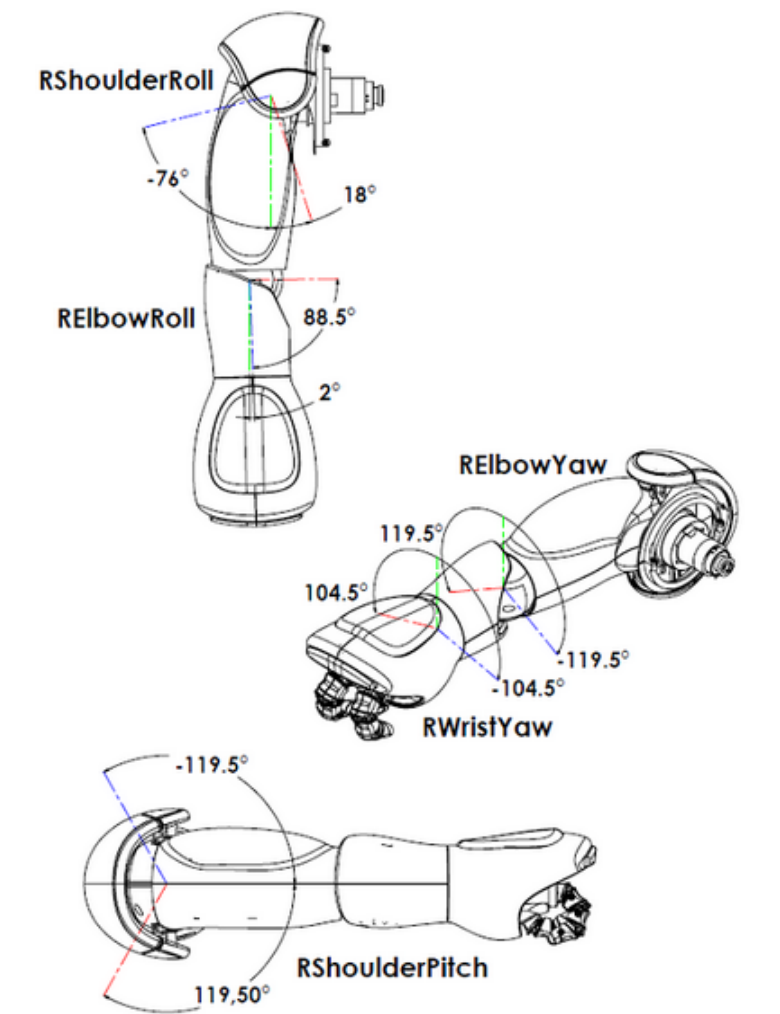


Abbildung 2: Gelenkraum rechter Arm

Literaturverzeichnis

- [1] Wikipedia contributors. *Nao (Roboter)*. [http://de.wikipedia.org/wiki/Nao_\(Roboter\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Nao_(Roboter)), November 2013.
- [2] Microsoft Corporation. *JointType Enumeration*. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/microsoft.kinect.jointtype.aspx>, Februar 2014.
- [3] Microsoft Corporation. *Kinect for Windows Sensor Components and Specifications*. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>, Februar 2014.
- [4] Tam Hanna. *Microsoft KINECT : Programmierung des Sensorsystems*. dpunkt-Verl., Heidelberg, 1. Aufl. edition, 2013.
- [5] Joachim Hertzberg. *Mobile Roboter : Eine Einführung aus Sicht der Informatik*. Springer, Berlin, 2009.
- [6] Abhijit Jana. *Kinect for Windows SDK Programming Guide*. Packt Pub, Birmingham, 2012.
- [7] Aldebaran Robotics. *NAO Documentation*. <https://community.aldebaran-robotics.com/doc/1-14/index.html>, Juni 2013.
- [8] Jarrett Webb. *Beginning Kinect programming with the Microsoft Kinect SDK*. Apress, New York, 2012.

To do...

- ☐ 1 (p. 2): Inhalt der Studienarbeit
- ☐ 2 (p. 5): Triangulation
- ☐ 3 (p. 5): PrimeSense
- ☐ 4 (p. 5): Bild Triangulation
- ☐ 5 (p. 7): SDK Funktionen erklären: skelton, mehrere user, deep stream, color stream
- ☐ 6 (p. 7): Screenshot von Deep Stream (Kinect Studio)
- ☐ 7 (p. 7): Unterschied Microsoft SDK und Freie Implementierung OpenNI
- ☐ 8 (p. 7): Bild von Kinect-Koordinatensystem -> Bezug auf Nao
- ☐ 9 (p. 7): evtl. vergleich SDK OpenNI?
- ☐ 10 (p. 11): vllt. einzelne Bilder rein?
- ☐ 11 (p. 12): Bild Choreographie Programmierung
- ☐ 12 (p. 22): (
- ☐ 13 (p. 22): Laborbedingungen Steuerungen, Vor- und Nachteile der Bedienung
- ☐ 14 (p. 23): Architekturidee: Input, Verarbeitung(evtl. Filter->Probleme Ruckeln?), Output,
- ☐ 15 (p. 25): Methode beschreiben
- ☐ 16 (p. 25): Listings Algos Armbewegung
- ☐ 17 (p. 25): getrennt zusammen?

- ☐ 18 (p. 25): Bild
- ☐ 19 (p. 26): Screenshot
- ☐ 20 (p. 27): Screenshot von Prototypprogramm