

Hochschule Darmstadt
- Fachbereich Informatik -

Untersuchung der Offenen Schnittstellen des Ur5 Roboters anhand
eines Anwendungsbeispiels

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science
(B.Sc.)

vorgelegt von

Andreas Collmann

Referent: Prof. Dr. Horsch
Korreferent: Prof. Dr. Akelbein

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Darmstadt, den 28.03.2014

Abstract

Um die Vorteile des Kollaborativen Arbeitens von Menschen und Robotern anzuwenden, wird im Zuge dieser Arbeit der für die Kollaboration zugelassene Roboter UR5 der Firma Universal Robots untersucht. Es werden die Möglichkeiten diesen Roboter zu programmieren untersucht. Die Untersuchung erfolgt aufgrund einiger Kriterien, die auf den Einsatz mit Roboter Mensch Kollaboration zielen. Die Schnittstellen des UR5 Roboters werden untersucht und dokumentiert. Die Ergebnisse dieser Arbeit, fassen eine Entscheidungsfindung zusammen, welche Schnittstelle zu welchem Anwendungsfall am besten zu wählen ist.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	10
1.1. Fachliche Umgebung	10
1.2. Motivation und Ziel des Projektes	10
1.3. Aufgabenstellung	11
1.4. Einordnung in die Themenfelder der Informatik	11
2. Grundlagen	12
2.1. Roboter-Mensch-Kollaboration	12
2.1.1. Richtlinien	12
2.2. UR5 Roboter	13
2.2.1. Kinematik	13
2.2.2. Peripherie	13
2.2.3. Datensicherung	15
2.3. Programmierschnittstellen vom UR5	15
2.4. Kriterien für die Bewertung der Schnittstellen	15
2.5. URControl	16
2.5.1. Konfiguration des URControllers	17
2.5.2. Echtzeit Schnittstelle	17
2.5.3. Secondary und Primary Schnittstelle	17
2.5.4. Polyscope	18
2.6. C-API	19
2.6.1. Kontrollstruktur	19
2.6.2. Bewegungsprofile	20
3. Evaluierungskonzept	21
3.1. Anwendungsbeispiel	21

3.2.	Speichern der Anwendungsdaten	21
3.2.1.	Speichern über Polyscope und URScript	21
3.2.2.	Speichern über Eigene API	22
4.	Realisierung	23
4.1.	C-API	23
4.1.1.	Beispielanwendung	23
4.1.2.	Aufgetretene Probleme	25
4.2.	Polyscope	25
4.2.1.	Programmierung	25
4.2.2.	Benutzer Interaktion	26
4.2.3.	Test und Fehlersuche im Programm	27
4.2.4.	Aufwand der Programmierung	28
4.2.5.	TCP Server mit Datenbank zum dauerhaften speichern der Daten	28
4.3.	URScript	28
4.3.1.	Laden des Scripts auf den Controller	28
4.3.2.	Programmierung	29
4.3.3.	Test und Fehlersuche im Programm	29
4.3.4.	Benutzer Interaktion	29
4.3.5.	Aufwand der Programmierung	30
4.4.	Anwendung mit eigener API	30
4.4.1.	Adapter zur Secondary Schnittstelle	30
4.4.2.	Programmierung mit Adapter	30
4.4.3.	Benutzer Interaktion	31
4.4.4.	Test und Fehlersuche im Programm	31
4.4.5.	Aufwand der Programmierung	31
5.	Ergebnis	32
5.1.	Vergleich der Schnittstellen	32
5.2.	Nicht erreichte Ziele	32
6.	Fazit	33
6.1.	Zusammenfassung	33
6.2.	Ausblick	33

A. Literaturverzeichnis	34
B. Glossar	35
C. Quellcode	36
C.1. Speichern der Daten über TCP in der Datenbank	36

Abbildungsverzeichnis

2.1. UR5 Roboter	14
2.2. Schichten der Software Schnittstellen	16
2.3. Schema des Datenpackets gesendet von der Secondary Schnittstelle	18
4.1. Programm Baum in Polyscope	26
4.2. Popup in Polyscipe	27

Tabellenverzeichnis

Listings

2.1. Pfade Der Ur5 Relevanten Dateien	15
2.2. Beispiel der Kontroll Struktur	19
4.1. Initialisierung der einzelnen Gelenke	24
4.2. Interpolation eines Berechneten Weges	24
4.3. Kleines Beispielprogram in URScript	29

1. Einleitung

1.1. Fachliche Umgebung

Hauptaugenmerk dieser Arbeit ist es die Möglichkeiten der Roboter-Mensch-Kollaboration in der Industrie, Medizin, Schule mit diesem Roboter zu prüfen. Inwiefern der Mensch mit einem heutigen Roboter mit entsprechenden Richtlinien programmiert werden kann um in den entsprechenden Feldern mit dem Menschen zusammen zu arbeiten.

1.2. Motivation und Ziel des Projektes

In der Industrie werden Roboter in den Fertigungsanlagen eingesetzt. Dies geschieht meist in Koordination mit anderen Robotern. In der Nähe dieser Roboter, darf sich kein Mensch aufhalten, die Roboter sind umhaust, sprich in einem speziellen Bereich abgesichert, damit keine Unfälle passieren können. Auf diese Weise kann man sehr effizient über automatisierte Fließbandstraßen Produkte herstellen.

Wenn jedoch eine sehr filigrane Arbeit gefragt ist, muss das Werkstück von einem Menschen bearbeitet werden, da der Mensch wesentlich bessere Fähigkeiten hat, auf Probleme zu reagieren oder Korrekturen vorzunehmen. In diesem Fall wird die Fließbandstraße unterbrochen. Das Produkt muss aus dem umhausten Bereich gebracht werden, wo es von einem Menschen bearbeitet werden kann.

Für die Produktion wäre es viel sinnvoller und zeitsparender, wenn Roboter für den Menschen so sicher sind, dass keine Trennung zwischen Mensch und Robotern existiert.

In dem Bereich Pflege und der Medizin, müssen oft hebearbeiten ausgeführt werden. Dies führt dazu, dass die Menschen in solchen Berufen im späteren Alltag mit Rückenproblemen oder ähnlichen leiden müssen. Roboter, die eingesetzt werden um diese Lasten abzunehmen, würde die Arbeit erleichtern und Verletzungen

vorbeugen.

Es soll untersucht werden inwiefern die Zusammenarbeit von Robotern und Menschen mit einem Roboter der die Sicherheitsauflagen erfüllt, realisiert werden kann.

1.3. Aufgabenstellung

Es soll ein Anwendungsprogramm für alle möglichen Programmierschnittstellen für den Ur5 Roboter von Universal Robots entwickelt werden. Dieses Anwendungsprogramm soll so ausgelegt sein, dass es als eine Beispielanwendung einer Roboter-Mensch Kollaboration ist. Diese verschiedenen Programme werden miteinander verglichen. Es soll eine Entscheidungshilfe gegeben werden, für welchen Anwendungsfall, welche Schnittstelle am besten geeignet ist.

Die Programmierschnittstellen sollen möglichst gut dokumentiert werden.

1.4. Einordnung in die Themenfelder der Informatik

Die Schnittstellen werden mit den Standard Programmiersprachen C/C++ und Python programmiert. Hinzu kommt noch von der eigens von Universal Robots entwickelte URScript Sprache. Da versucht wird den Roboter von einem anderen Rechner zu steuern, wird auch Netzwerkprogrammierung benötigt. Es muss ein kleines Protokoll entwickelt werden, mit dem der Roboter kommunizieren kann um Anwenderdaten zu speichern.

2. Grundlagen

2.1. Roboter-Mensch-Kollaboration

Man unterscheidet die Arbeiten mit einem Roboter unter mehrere Arten. Roboter die mit anderen Robotern gleichzeitig arbeiten nennt man Kooperation zwischen Robotern. Der Mensch ist in diesem Arbeitsumfeld nicht dabei und kann nur von außen einfluss nehmen.

Als nächstes gibt es die Kollaboration zwischen dem Roboter und dem Mensch. Hier wird auch eine Unterteilung vorgenommen die unterschiedliche Richtlinien erfordern.

- Sicherheit, wenn der Mensch den Kollaborationsraum betritt.
- Dauerhafte Überwachung des Abstands zwischen Mensch und Roboter, der mit reduzierter Geschwindigkeit arbeitet.
- Verminderte Geschwindigkeit. Führung des Roboters durch den Mensch. Sensoren erfassen die Kräfte, die vom Menschen ausgeführt werden und übertragen sie auf den Roboter.
- Beschränkung der im Roboter ausgeführten Energie. Überwachung des Roboters auf Kollision und sofortigem Stop

2.1.1. Richtlinien

In so gut wie allen Fällen sind Roboter in der Industrie in einem extra abgesicherten Bereich umzäunt, damit kein Arbeiter sich verletzen kann. Diese Roboter sind umhaust. Es ist nicht möglich in einem gemeinsamen Arbeitsbereich zu kollaborieren. Damit Menschen im Arbeitsbereich mit Robotern arbeiten dürfen müssen diese

Roboter bestimmte Sicherheitsrichtlinien entsprechen. Der Roboter darf unter keinen Umständen eine Lebensbedrohliche Gefahr darstellen. Die Norm International Organization for Standardization (ISO) 10218

2.2. UR5 Roboter

Die Dänische Firma Universal Robots hat den leichten UR5 und mittelgroßen UR10 Roboter hergestellt mit den erfüllbaren Normen, um mit diesem Roboter zu kollaborieren. Man kann sich im laufenden Betrieb in der Nähe aufhalten um Wegpunkte zu Teach oder auch gleichzeitig an einem Werkstück zu arbeiten. Im Folgenden Kapitel werden die Eigenschaften des UR5 Roboters erörtert.

2.2.1. Kinematik

Der Roboter besitzt 6 Gelenke die ihm ermöglichen einen 360° Arbeitsbereich mit einem Radius von ca 85cm zu ermöglichen. Gesteuert wird er von einem Linux Rechner, der sich in der Nähe befindet. Die Festplatte für das System ist eine Speicherkarte, die leicht ausgetauscht werden kann.

Um den Rechner anzusprechen existiert bei Lieferung ein Touch Tablet, das für das Linux System den Visuellen Output gibt. Bei Start wird auch automatisch die Software für den Roboter gestartet. Die Software nennt sich Polyscope und wurde in Java geschrieben. Diese Software verbindet sich per TCP/IP auf den ???. Ein Server Programm das die Schnittstelle von dem Linux System zu dem Roboter Controller auf dem Rechner herstellt.

Die Polyscope Software läuft im normalen Modus und den Administrativen Modus. Der Normale Modus ermöglicht es Programme zu erstellen, laufen zu lassen und Grundeinstellungen vorzunehmen. Außerdem kann ein Software Update der Polyscope Software gemacht werden.

2.2.2. Peripherie

Zwei Arten von Updates sind hier zu unterscheiden. Zum einen kann das Linux System geupdatet werden. Auf normalem Wege über den Paketmanager des Systems,



Abbildung 2.1.: Abbildung zeigt den UR5 Roboter von universal Robots

oder wenn man das neuste Image von Universal Robots runterläd und dann das System neu aufspielt. Hier ist jedoch zu beachten, dass dabei alle Daten verloren gegangen werden. Deshalb sollte eine Datensicherung vorgenommen werden. Wie dies geschieht wird im darauf folgenden Unterkapitel beschrieben(2.2.3).

Updates für dem Roboter müssen allerdings manuell gemacht werden. Hierfür müssen die aktuellen Updates von der Homepage von Universal Robots heruntergeladen werden. Die Update-Datei muss mit der dateiendung .urup auf einen USB Stick mit einem FAT32 Dateisystem abgelegt werden.

Nachdem der USB Stick an das Linux System angeschlossen ist, kann von der Polyscope Software das Update ausgeführt werden. Einstellungen->Updates.

Im Administrativen Modus können nach dem Update die Firmware's der einzelnen Gelenkcontroller geupdatet werden. Die werden im Update mitgeliefert. Die einzelnen Schritte sind in den Dokumentationen beiliegend auf der CD zu finden.

2.2.3. Datensicherung

Die Daten des Roboters sind abgelegt in root verzeichniss unter

```
1 /root/.urcontrol      #Konfigurationsdateien des Ur5Roboters
2 /programs             #alle geschriebenen Programme unter Polyscope
```

Listing 2.1: Pfade Der Ur5 Relevanten Dateien

Es ist möglich die Dateien per USB Stick zu sichern oder über Programme wie "SCP" über das Netzwerk zu Kopieren.

2.3. Programmierschnittstellen vom UR5

Der Ur5 Roboter kann auf drei Ebenen angesprochen werden.

- Polyscope
- URscript
- C-API

2.4. Kriterien für die Bewertung der Schnittstellen

Die Schnittstellen werden wie folgt bewertet:

- Programmierbarkeit
- Interaktion mit Programm,
- Möglichkeit zu Debuggen und Testbarkeit

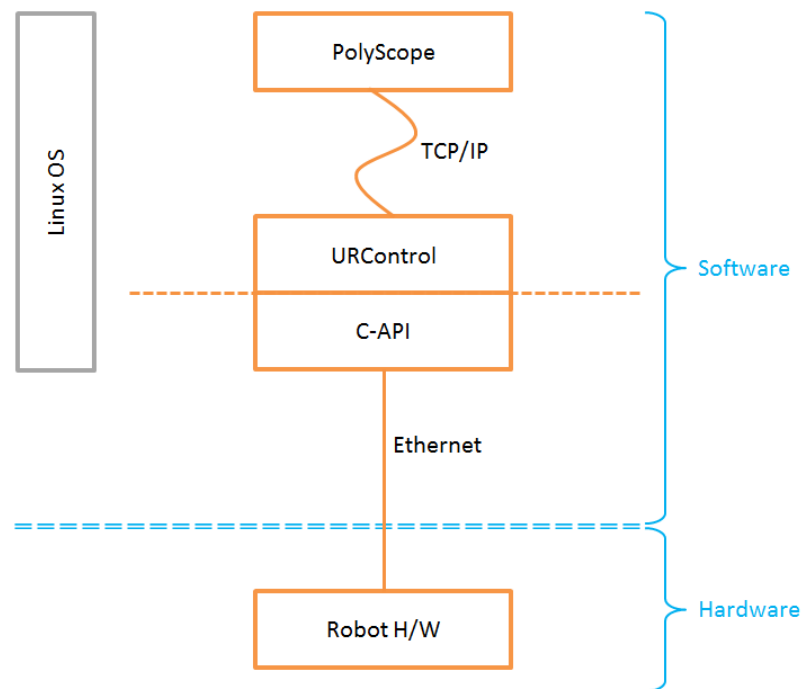


Abbildung 2.2.: Übersicht über die Schichten der bestehenden Software Schnittstellen des Ur5 Roboters

- **Aufwendung**

Wie schwer ist es ein Programm für die einzelnen Schnittstellen zu entwickeln. Kann der Mensch das Programm Intuitiv bedienen? Wichtig hierbei ist, dass der Mensch mit dem Roboter Kommunizieren kann. Dies geschieht am besten, wenn der Mensch nicht Kryptisch was eingeben muss. Der Mensch braucht Anwenderfreundliche Programme.

Beim Entwickeln von Programmen ist es wichtig, dass der Entwickler Fehler im Programm entdeckt um diese schnell zu beheben. Je Größer und Komplexer das Programm wird, desto schwieriger wird es Fehler zu entdecken.

2.5. URControl

Der URController eine Server Anwendung die auf dem Rechner des Roboters läuft. Dieser Controller dient als Schnittstelle von der Roboter Hardware und der Software

die den Roboter ansteuern wollen.

2.5.1. Konfiguration des URControllers

Den URController kann man bevor er gestartet wird in einer Konfigurationsdatei konfigurieren. Hier werden wichtige Einstellungen vorgenommen, die zu den jeweiligen Modellen der Ur5 oder Ur10 Serie gehören. Folgend ist ein ausschnitt der Konfigurationsdatei zu sehen

```
1 [Config]
2 # masterboard_version, 0 = Zero-series, 1 = One-series,
3 # 3 = Pause function enabled, 4 = first cb2 version, 5 = ur10 support added
4 masterboard_version = 4
5 dump_bytecode_on_exception = 1
6
7 [Hardware]
8 controller_box_type = 2 # 1=CB1, 2=CB2UR5, 3=CB2UR10
9 robot_type = 1 # 1=UR5, 2=UR10
10 robot_sub_type = 1
```

2.5.2. Echtzeit Schnittstelle

Die Echtzeit Schnittstelle ist eine TCP Schnittstelle, die im 125Hz Takt Nachrichten an die Clients sendet. Diese Schnittstelle empfängt keine Daten von den Clients. Diese Nachrichten müssen von den Clients analysiert und zerlegt werden. Die Daten werden in einer bestimmten form gesendet

TODO !! listing echtzeit schnittstelle

Die Client Anwendung muss nun dieses Packet parsen(Parser: Informationen zerlegen und entsprechend interpretieren.) Wie Die einzelnen Packete aussehen sind im Anhang mitgeliefert Für die Programmiersprache C wurde ein ein Parser dafür geschrieben.

2.5.3. Secondary und Primary Schnittstelle

Das Secondary Interface ist eine Transmission Control Protocol / Internet Protocol (TCP/IP) Schnittstelle, die in einem 60Hz Takt Nachrichten über den Roboter an Verbundene Rechner sendet. Die Nachrichten beinhalten Informationen wie z.B. den Roboter Status, die Positionen der einzelnen Joints. Die volle Beschreibung welche Informationen gesendet werden ist im anhang zu finden.

Zusätzlich, kann die Secondary Schnittstelle Befehle von Verbundenen Rechnern empfangen. Diese Befehle können URScript Befehle sein. Ein ganzes Programm aus URScript Befehlen oder spezielle zugelassene Befehle die den Roboter Status verändern.

4 bytes (int)	Length of overall package
1 byte (uchar)	Robot MessageType
4 bytes (int)	Length of Sub-Package
1 byte (uchar)	Package-Type
n bytes	Content...
4 bytes	Length of Sub-Package
1 byte	Package-Type
n bytes	Content...
	...

Abbildung 2.3.: Grobe Darstellung wie das Nachrichten Packet gesendet von der Secondary/Primary Schnittstelle.

2.5.4. Polyscope

Polyscope ist eine Anwendung die auf dem Roboter-Rechner läuft. Die Anwendung verbindet sich per [TCP/IP](#) auf den URControl([2.5](#)) und sendet URScript Befehle an den Roboter um diesen zu steuern. Diese Anwendung wird auf dem Tablet angezeigt. Hierüber kann man per Touch eingabe ein neues Universal Robot Programm ([URP](#)) Programm erstellen. Dieses Programm wird zur Laufzeit in ein Script umgewandelt. Die Polyscope Software schickt nun in Schritten die einzelnen Script-Befehle an den URControl, der diese ausführt. Im Programmbaum kann eingesehen werden an welchem Schritt das Programm sich befindet.

2.6. C-API

Die C-Application programming interface ([API](#)) ist von dem Hersteller Universal Robots ([UR](#)) eine zur Verfügung gestellte C ([Library](#)) mit einer Header Datei, die etwaige Funktionen der Library erklärt. Die Header Datei enthält nicht alle Funktionen, somit sind nicht alle zugänglich. Die C-[API](#) erlaubt es einen eigenen Controller für den Roboter zu entwickeln. Der für den Roboter zur Verfügung gestellte Controller mit der Polyscope Software und eine Anwendung, die die C-[API](#) benutzt, kann aber nicht gleichzeitig laufen. Es schließen sich also die Programmiersprache URScript und ein eigener Controller zunächst aus. Es könnte ein eigener Controller entwickelt werden, der die Befehle in URScript selbst interpretiert und diese wie bei dem URControll ausführt. So könnte man die vorhandene Sprache nehmen und diese sogar erweitern.

2.6.1. Kontrollstruktur

Die C-[API](#) ermöglicht es eine Verbindung zum Roboter zu öffnen und über eigene Funktionen Befehle abzuschicken. Dies erfolgt in einem streng festgelegten Muster.

```
1  while(!endcondition) { // At ROBOT_CONTROLLER_FREQUENCY times per second
2      robotinterface_read_robot_state_blocking();
3      robotinterface_get_actual_positions(&positions);
4      // >>> various calculations <<<
5      robotinterface_command_position_velocity_acceleration( xxx, yyy, zzz);
6      robotinterface_send_robot_command();
7  }
```

Listing 2.2: Beispiel der Kontroll Struktur

die Funktion `robotinterface_read_state_blocking()` startet den Bereich in dem Datenabfragen an den Roboter gestellt werden können. Daten wie zb. Temperatur der Motoren, der Stand der Gelenke, die Geschwindigkeit der Gelenke, etc. in der Dokumentation beiliegend zu dieser Arbeit sind alle Daten noch einmal aufgelistet. Nachdem die Daten abgefragt wurden, kann mit C-[API](#) Funktionen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigungswerte übermittelt werden, die der Roboter durch seinen Regler auszuführen versucht.

Es können jedoch keine Wegpunkte festgelegt werden, die dann automatisch vom Roboter angefahren werden. Dies muss der Entwickler selbst berechnen. Es gibt mehrere Verfahren, in dieser Arbeit sind Point to Point ([PTP](#))-Verfahren und Linear Verfahren(siehe Kapitel [2.6.2](#)) getestet worden. In der beiliegenden Dokumentation

ist aufgeführt wie man dies möglicherweise berwerkstelligen könnte.

Zum Abschluss wird die Function `robotinterface_send()` aufgerufen die dafür sorgt, dass der Acht Millisekundentakt eingehalten wird und die Befehle an den Roboter weiterleitet. Falls die Acht Millisekunden überschritten werden, wird der Roboter in einen Sicherheitsmodus gesetzt und der Roboter wird angehalten.

Wenn so etwas im UR-Kontroller passiert, kann der Anwender diese wieder abschalten wenn alles in Ordnung ist. Dies muss mit der C-API selbst geschrieben werden. Die C-API liefert hierfür auch Funktionen. Das die richtigen Richtlinien aber auch eingehalten werden, muss von dem Wechsel des Sicherheitsmodus in den normalen Modus eine Benutzerabfrage verlangt werden.

2.6.2. Bewegungsprofile

PTP Verfahren

Um den Roboter bestimmten Wegpunkten abfahren zu lassen, muss man die Bewegungsprofile selbst berechnen und über die C-API an den Roboter im 125Hz Takt übergeben. Das PTP Verfahren setzt dabei voraus das die einzelnen Positionen der Gelenke bekannt sind. Der Wert ist angegeben in radiant. Die Zielposition

Linear Verfahren

Das Lineare Verfahren bedeutet eine Bewegung des Roboters von dem TCP Punkt aus. Sie verfährt Linear, bedeutet das die Orientierung des TCP Punktes sich nicht ändert. Da in diesem Verfahren die Berechnung der Position des TCP Punktes verwendet wird, ist es nötig die Position des TCP im Raum zu kennen um eine Strecke zu einem Ziel Punkt abfahren zu können. Der Roboter kann aber nur Positionen die der Sechs Gelenke verarbeiten. Es muss also eine umrechnung stattfinden. Diese umrechnung wird Inverse Kinematic genannt. Die Berechnung für die Inverse Kinematic ist von einem anderen Projekt entnommen worden.

3. Evaluierungskonzept

3.1. Anwendungsbeispiel

Das Anwendungsbeispiel ist ein Kinderspiel. Dieses Spiel soll die motorischen Fähigkeiten bei Kindern verbessern. Gegeben ist eine Kugel mit Löchern aus verschiedenen Formen (Kreis, Oval, Viereck, Trapez, etc.). Zu diesen Formen existieren die entsprechenden Klötzchen, die entsprechend groß sind und die Form der Löcher besitzen. Die Aufgabe des Spielers ist es, alle Klötzchen in die entsprechende Form zu drücken, bis alle in der Kugel sind.

Die Kugel wird an den Kopf des Roboterarms befestigt. Es soll eine Anwendung entwickelt werden, die für den entsprechenden Spieler die Höhe des Roboters einstellt. Der Spieler soll die Möglichkeit haben, diese Startposition zu verstellen und für sich zu speichern. Bei einem bestimmten Knopfdruck soll der Roboter das Loch für die jeweils nächste Form so ausrichten, damit der Mensch das Klötzchen nur noch einwerfen braucht.

3.2. Speichern der Anwendungsdaten

Um auf bestimmte Menschen zugeschnittene Bewegungsabläufe zu machen, muss der Roboter Daten über den Anwender kennen. Diese sollten persistent gespeichert werden, damit bei einem Wechsel des Anwenders die Daten nicht verloren gehen. Daten der Anwender sind z.B. Name, Alter, bestimmte Positionen im Roboterprogramm, etc.

3.2.1. Speichern über Polyscope und URScript

In der Polyscope Software oder in einem URScript Programm, können Daten, die von den Benutzern erstellt oder erhoben werden, nicht persistent gespeichert werden.

Hierzu muss eine zweite Anwendung entwickelt werden, auf die sich das URScript oder URP Programm verbindet und die Daten zum persistenten speichern versendet.

In Polyscope und URScript muss sehr aufwendig mit den vorhandenen Script Befehlen eine Socket Verbindung aufgebaut werden. Damit diese Zwei Programme miteinander Kommunizieren können muss ein gemeinsames Protokoll mit bestimmten Befehlen festgelegt werden. Es ist möglich Text, Zahlen oder Dezimalzahlen zu versenden und zu empfangen. Es kann nur eins dieser drei Typen versendet, von dem aber beliebig viele.

3.2.2. Speichern über Eigene API

Mit der Eigenen API muss keine zweite Software entwickelt werden, da die API auf einem Client Rechner läuft und dort die Daten persistent gespeichert werden können. Es muss im Anwendungsprogramm eine Verbindung zu einer Datenbank aufgebaut werden und dort können die Daten gespeichert werden.

4. Realisierung

4.1. C-API

In folgendem Kapitel wird beschrieben wie die C-API genutzt werden konnte, um dem Roboter bestimmte Wegpunkte abzufahren.

4.1.1. Beispielanwendung

Es konnte eine Anwendung erstellt werden, dass den Roboter Initialisiert und dann in einer Schleife die Positions, Geschwindigkeits und Beschleunigungsdaten sendet. Es konnte ein Bewegungsprofil errechnet werden, dem der Roboter gefolgt ist. Bevor man Daten vom Roboter Abfragen kann, muss eine Verbindung zum Roboter hergestellt werden, diesem einen hochfahren und initialisieren lassen. Folgend werden diese Vorgänge beschrieben.

Mit dem Befehl `robotinterface_open()` kann die Verbindung zum Roboter hergestellt werden.

Um sicher zu gehen das die Verbindung offen ist, wird in einer Schleife eine bestimmte Zeit, immer wieder abgefragt ob der Roboter verbunden ist. Falls dies nicht funktioniert, wird der Vorgang abgebrochen und das Program sollte beendet werden. Es kommt vor, dass der Roboter beim starten noch in einem Sicherheitsmodus ist. Wenn dies der Fall ist, muss der Modus abgestellt werden. Dies geht mit der Funktion `robotinterface_unlock_security_stop();`.

Auch hier wird zur Sicherheit eine bestimmte Zeitschleife der Befehl wiederholt an den Roboter gesandt. Wenn der Roboter dennoch in dem Sicherheitsmodus ist, ist es möglich, dass der Notausschalter am Touch Panel aktiviert ist. Nachdem die Verbindung offen ist, muss der Roboter mit Strom versorgt werden. Mit dem Befehl `robotinterface_power_on_robot()` kann das bewerkstelligt werden. Auch hier wird eine bestimmte Zeitschleife abgewartet, bis der Roboter hochgefahren ist. Abgefragt werden kann dies mit der Funktion `robotinterface_is_power_on_robot()`.

Nun wird der Roboter Initialisiert. Der Roboter geht nach dem Starten automatisch in den initialize Modus. Jeder einzelne Joint muss nun solange in eine Richtung bewegt werden, bis der Joint in den normalen Modus übergeht. Um die Gelenke zu bewegen, wird eine Geschwindigkeitsvorgabe an den Roboter gesandt. (siehe Listing 4.1)

```
1 puts("Initializing robot");
2 /// Set zero velocity and acceleration as guard
3 int j;
4 for (j=0; j<6; ++j) {
5     pva_packet.velocity[j] = 0.0;
6     pva_packet.acceleration[j] = 0.0;
7 }
8 do {
9     ++i;
10    robotinterface_read_state_blocking();
11    int j;
12    for (j=0; j<6; ++j) {
13        // initialize_direction is 1 or -1. it determines in which direction the
14        // joint is moving during the initialization
15        pva_packet.velocity[j] = ((robotinterface_get_joint_mode(j) ==
16            JOINT_INITIALISATION_MODE) ? (initialize_direction)* 0.1 : 0.0;
17    }
18    robotinterface_command_velocity(pva_packet.velocity);
19    robotinterface_send();
20 } while (robotinterface_get_robot_mode() == ROBOT_INITIALIZING_MODE &&
21     exit_flag == false);
22 puts(" Done!");
```

Listing 4.1: Initialisierung der einzelnen Gelenke

Nachdem die Initialisierung abgeschlossen ist, muss wie in Listing 2.2 eine Schleife mit der vorgegebenen Struktur durchlaufen werden, bis das Programm beendet, oder die Verbindung zum Roboter geschlossen werden soll. Wenn dies nicht so gemacht wird, geht der Roboter automatisch in den Sicherheitsstop, da nicht innerhalb von 8 Millisekunden Nachrichten an den Roboter gesendet wurden.

Innerhalb der beiden Befehlen “robotinterface_read_state_blocking()” und “robotinterface_send()” kann nun eine Interpolation berechnet werden und die Vorgaben für Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung an den Roboter gesandt werden (siehe Listing 4.2).

```
1 // loop through interpolation length
2 for(i=0; i < move_pva_packet.interpolations+1; i++){
3     robotinterface_read_state_blocking();

5     // abort interpolation if Robot is in securitystop mode
6     if(robotinterface_is_security_stopped()) {
```



```
7     robotinterface_get_actual_current(currents_actual);
8     robotinterface_command_empty_command();
9     robotinterface_send();
10    break;
11    }

13    // get current time of interpolation
14    move_pva_packet.point_in_time= (double) i * T_IPO;

16    // interpolate with sinoide profile and write result in variable
17    move_pva_packet
    interpolation_sin_ptp(&move_pva_packet);

19    // write the triple to robot
20    robotinterface_command_position_velocity_acceleration(move_pva_packet.pva.
        position,
21                                                         move_pva_packet.pva.
        velocity,
22                                                         move_pva_packet.pva.
        acceleration);

23    // send command to robot
24    robotinterface_send();
25    }
```

Listing 4.2: Interpolation eines Berechneten Weges

4.1.2. Aufgetretene Probleme

Der Roboter geht ab einem bestimmten Winkel in den Sicherheitsstop. Die Abweichung der Stromstärke wird zu groß. Dies kann analysiert werden, wenn man sich den Durchschnitt der Soll und Ist Werte der Stromstärke ansieht. Die Abweichung ist besonders beim 2. Gelenk hoch, da dieses am meisten Gewicht tragen muss und dort die Erdanziehung am meisten wirkt. Deswegen wird angenommen, dass der Regler nicht die Dynamik der Gravitation mitrechnet. Dies kann man auch beobachten, wenn man in den Roboter immer die aktuellen Istwerte mit übergibt. Der Roboter sackt zusammen und nur ein Notaus kann vor Schädigungen schützen.

4.2. Polyscope

4.2.1. Programmierung

Die Programmierung findet meist nur auf dem Touch Tablet statt. Ein neues Programm fängt mit einem leeren Ereigniss Baum an. Es kann per touch eingabe alle

möglichen Funktionen, die die Script Sprache bietet dem Baum Hinzugefügt werden. Wenn das Programm abläuft, werden von der Wurzel an die Befehle abgearbeitet. Wie in Abbildung ?? zu sehen ist, ist die Ansicht des Programmbaumes sehr unübersichtlich.



Abbildung 4.1.: Ein Ausschnitt aus einem Programm Baum in Polyscope

Es ist möglich andere Script Dateien in das Programm einzufügen. Dazu gibt es ein Feld "Script". Das Script Programm muss sich auf dem Linux Rechner befinden. Es ist also nötig das Script Programm auf einem anderen Rechner zu programmieren und bei jeder Änderung auf den Linux Rechner des Roboters zu senden.

Alternativ zu dem Touch Tablet, könnte der Xserver von dem Linux Rechner auf ein anderen Rechner umzuleiten um dort mit dem Program per Maus und Tastatur zu arbeiten. Dies wurde aber noch nicht getestet.

Eine andere Möglichkeit ein Programm unter Polyscope zu programmieren gibt es nicht.

4.2.2. Benutzer Interaktion

Die Möglichkeiten zur Interaktion mit dem Benutzer sind sehr begrenzt. Die Software und die URScript Sprache lassen es zu, dass auf dem Touch Tablet Popup

Nachrichten auftauchen. Wenn man mit dem Benutzer Interagieren will, gibt mehrere Arten dieser Popups. Als Nachricht, ja/nein Fragen, oder Text abfragen. Der Benutzer kann dann mit einem Text oder wählen zweier ja/nein buttons antworten. In Abbildung ?? ist als Beispiel eine Nachricht und eine Ja/Nein Popup zu sehen.



Abbildung 4.2.: Abbildung zeigt Zwei verschiedene Arten von Popups in Polyscope

Kompliziertere Menüs sind mit dieser Methode nicht möglich. Wenn ein Programm erstellt werden soll, bei dem der Benutzer viele eingaben machen muss, ist es mit Polyscope sehr schwer das zu realisieren.

4.2.3. Test und Fehlersuche im Programm

Bevor Polyscope ein Programm ablaufen lässt wird das Script auf die richtige Syntax geprüft. Sollte ein Fehler vorhanden sein wird dies beim Start als Popup angezeigt. Fehler die in Abschnitten mit Touch hinzugefügt wurden, können jedoch nicht lokalisiert werden. Nur in extra eingefügtem Script Code kann grob lokalisiert werden, was für ein Fehler aufgetreten ist, weil dieser Teil extra geprüft wird.

Da das Programm mit dem Touch Panel ausgeführt werden kann, ist es möglich während der Programmierung das Programm ablaufen zu lassen. Es kann sehr schnell getestet werden ob die gewünschten Einstellungen dem Ergebniss entsprechen. Bei Großen Programmen mit vielen Benutzeranfragen, kann dies jedoch viel Zeit in anspruch nehmen. Es muss von einem Benutzer bei Jeder Anfrage eines Popups von Hand geantwortet werden.

4.2.4. Aufwand der Programmierung

Kleine Programme in Polyscope sind sehr schnell geschrieben. Mit dem Touch Panel kann sehr schnell eine kleine Kontrollstruktur aufgebaut werden. Das Tablet hat jedoch große Nachteile. Wie in abbildung ?? zu sehen ist der Bereich für den Programm Baum sehr klein. Wenn ein Programm nun 1000 Befehle enthält, ist es nicht möglich ein Überblick zu halten. Auch ist es sehr aufwändig zu bestimmten Bereichen hinzuspringen, da das Touch Tablet nicht genau ist. Möglich ist es geschriebene Bereiche auf Scriptdateien zu verschieben, die dann im Polyscope Programm verwendet werden.

4.2.5. TCP Server mit Datenbank zum dauerhaften speichern der Daten

Um mit Polyscope und URScript erhobene Daten zu Speichern wurde ein kleiner TCP Server geschrieben, der eine verbindung zulässt und Daten in einer Datenbank Speichert. Die Daten sind Objectorientiert, und werden von dem Server erstellt. In Polyscope und URScript gibt es keine Objectorientierung, deshalb muss dort alles nacheinander angefragt werden.

4.3. URScript

Die URScriptsprache ist sehr stark an Python gelent. Es wird auf Einrückung des Textes geachtet. Das Manual von Univeral Robots umfasst alle nötigen Funktionen um Komplexe Aufgaben zu Erfüllen.

4.3.1. Laden des Scripts auf den Controller

Das Script kann nicht direkt auf dem Rechner über die Polyscope Software ausgeführt werden. Um ein selbst geschriebenes Programm in URScript auszuführen ist es nötig sich mit dem Sec ondary Interface des URControllers [2.5.3](#) per TCP zu verbinden und dann die Einzelnen Zeilen der Script Datei an den Controller zu senden.

Es ist möglich einzelne Befehle oder ein großes Program auszuführen. Um einzelne Befehle auszuführen, werden diese nacheinander versendet. Ein ganzes Programm

wird versendet, indem wie in Listing ?? gezeigt eine Funktion die ganzen Befehle umschließt. Der Controller führt diese Funktion aus, sobald diese mit dem “end” abgeschlossen ist.

```
1 def myProg():
2     popup("hello world", "test", False, False)
3     set_digital_out(1, True)
4     movej([0.23, 1.23, 0.343, 0.34, 0.0, 0.0], a=0.5, v=0.3)
5 end
```

Listing 4.3: Kleines Beispielprogram in URScript

4.3.2. Programmierung

Programmiert werden kann das Script mit allen vorhandenen Textverarbeitungsprogrammen. Vorteilhaft ist es, wenn das Programm **Syntax Highlighting!** (**Syntax Highlighting!**) für Python beherrscht. Da URScript sehr stark an Python angelehnt ist, hilft dies ein wenig den Überblick zu behalten.

4.3.3. Test und Fehlersuche im Programm

Nach dem senden des Programms an den URController ist die einzigste Möglichkeit zu sehen ob das Programm fehler enthält, wenn der Controller kein “Programm läuft” Bit setzt. Man erhält keine Nachrichten was nicht in Ordnung ist, falls das Scriptprogramm nicht abläuft.

4.3.4. Benutzer Interaktion

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.3.5. Aufwand der Programmierung

4.4. Anwendung mit eigener API

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.4.1. Adapter zur Secondary Schnittstelle

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.4.2. Programmierung mit Adapter

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.4.3. Benutzer Interaktion

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.4.4. Test und Fehlersuche im Programm

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

4.4.5. Aufwand der Programmierung

5. Ergebnis

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

5.1. Vergleich der Schnittstellen

TODO !! Tabellen vergleich

5.2. Nicht erreichte Ziele

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

6. Fazit

[5.2](#) Nicht erreichte Ziele.

6.1. Zusammenfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

6.2. Ausblick

Literaturverzeichnis

[DJAN-2013] Name1, Vorname1[; Name2, Vorname2; ...]: Titel [: Untertitel].
[Auflageneigenschaften] Verlags(kurz)bezeichnung, Verlagsort,
Jahr der Auflage. [S. xx - yy.] (Buch)

B. Glossar

Syntax Highlighting : Zur Verbesserung der Lesbarkeit und der Übersicht, wird in einem Textverarbeitungsprogramm der Programmcode unterschiedlich dargestellt. Meist mit unterschiedlichen Farbwerten. Der Entwickler sieht mit einem Blick ob er es mit Textvariablen, Zahlenwerten zu tun hat.

ISO International Organization for Standardization: Die ISO ist eine Internationale Vereinigung um standardisierte Normen in der Industrie zu erarbeiten und festzulegen. Jedes Land, das Mitglied ist, muss sich an diese Normen halten. Es gibt fast kein Land, das nicht Mitglied ist.

PTP Point to Point: PTP in Deutsch auch Punktsteuerung genannt, ist die einfachste Methode um einen Roboter auf einen anderen Zielpunkt zu fahren.

API Application programming interface: Eine Schnittstelle um eine Software mit einer anderen Software zu verbinden. Die Schnittstelle in Form eines Programmteils wird öffentlich gemacht und gut dokumentiert. Die Externe Software benutzt diesen Programmteil um die Software mit der Schnittstelle zu nutzen.

URP Universal Robot Program: URP ist eine Dateiendung für ein Programm geschrieben über die Polyscope Software.

UR Universal Robots: UR ist eine dänische Firma die den UR5 Roboter herstellt.

Library : Eine Library, oft auch Modul genannt, ist in der Informatik eine Kapselung von Programmcode der wiederverwendet werden kann.

TCP/IP Transmission Control Protocol / Internet Protocol: TCP/IP ist beinhalten mehrere Netzwerkprotokolle, die es ermöglichen, dass man mehrere Rechner vernetzen und Nachrichten austauschen lassen.

C. Quellcode

C.1. Speichern der Daten über TCP in der Datenbank