



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	8
1.1. Fachliche Umgebung	8
1.2. Motivation und Ziel des Projektes	8
1.3. Aufgabenstellung	9
1.4. Einordnung in die Themenfelder der Informatik	9
2. Grundlagen	10
2.1. Roboter-Mensch-Kollaboration	10
2.1.1. Richtlinien	10
2.2. UR5 Roboter	11
2.2.1. Kinematik	11
2.2.2. Peripherie	12
2.2.3. Datensicherung	13
2.3. Programmierschnittstellen vom UR5	13
2.3.1. Kriterien für die Bewertung der Schnittstellen	14
2.4. URControl	15
2.4.1. Konfiguration des URControllers	15
2.4.2. Echtzeit Schnittstelle	15
2.4.3. Secondary und Primary Schnittstelle	16
2.4.4. Polyscope	17
2.5. C-API	18
2.5.1. Kontrollstruktur	18
2.5.2. Bewegungsprofile	19
2.6. Eigene Adapter Schnittstelle aufbauend auf URScript	19
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.	Interpolation	25
4.1.3.	Aufgetretene Probleme	25
4.2.	Polyscope	26
4.2.1.	Programmierung	26
4.2.2.	Benutzer Interaktion	27
4.2.3.	Test und Fehlersuche im Programm	28
4.2.4.	Aufwand der Programmierung	28
4.2.5.	TCP Server mit Datenbank zum dauerhaften speichern der Daten	29
4.3.	URScript	29
4.3.1.	Laden des Scripts auf den Controller	29
4.3.2.	Programmierung	30
4.3.3.	Test und Fehlersuche im Programm	30
4.3.4.	Benutzer Interaktion	30
4.3.5.	Aufwand der Programmierung	31
4.4.	Anwendung mit Adapter zu URScript	31
4.4.1.	Adapter zur Secondary Schnittstelle	31
4.4.2.	Programmierung mit Adapter	33
4.4.3.	Benutzer Interaktion	33
4.4.4.	Test und Fehlersuche im Programm	33
4.4.5.	Aufwand der Programmierung	34
5.	Ergebnis	35
5.1.	Vergleich der Schnittstellen	37
5.2.	Nicht erreichte Ziele	37
6.	Fazit	38
6.1.	Zusammenfassung	38

6.2. Ausblick	38
A. Literaturverzeichnis	39
B. Glossar	40
C. Quellcode	43
C.1. Speichern der Daten über TCP in der Datenbank	43

Abbildungsverzeichnis

2.1. UR5 Roboter	11
2.2. Schichten der Software Schnittstellen	14
2.3. Schema des Datenpackets gesendet von der Secondary Schnittstelle	17
4.1. Soll und Ist Werte der Position	26
4.2. Programm Baum in Polyscope	27
4.3. Popup in Polyscipe	28
4.4. Selbsterstelltes GUI zur Steuerung des UR5 Roboters	33

Tabellenverzeichnis

5.1. Zusammenfassung der Evaluierungskriterien für C-API und Polyscope	35
5.2. Zusammenfassung der Evaluierungskriterien für URScript und Eigener Adapter	36

Listings

2.1. Pfade Der UR5 Relevanten Dateien	13
2.2. Ausschnitt aus der Datei urcontrol.conf zur vorkonfigurierung des UR5 Roboters	15
2.3. Umwandlung der Byte-Order für Packet über die Echtzeit-Schnittstellen	16
2.4. Beispiel der Kontroll Struktur	18
4.1. Initialisierung der einzelnen Gelenke	24
4.2. Interpolation eines Berechneten Weges	24
4.3. Kleines Beispielprogram in URScript	30
4.4. Ausschnitt zeigt Funktionen die Scriptbefehle in der Adapter Klasse umgesetzt	31
4.5. Ausschnitt zeigt die Abarbeitung der Queue	32

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 filigranere 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 leben 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 Teachen oder auch gleichzeitig an einem Werkstück zu arbeiten. Im Folgenden Kapitel werden die Eigenschaften des UR5 Roboters erörtert.

2.2.1. Kinematik



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

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. Beim starten des Systems 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 Packetmanager des Systems, oder wenn man das neuste Image von Universal Robots runterlädt 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(??).

Updates für den 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 Linuy 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

In dieser Arbeit wird versucht über alle Ebenen den Roboter anzusprechen. Es wird außerdem aufbauend auf URScript ein eigener Adapter entwickelt, um eine neue Möglichkeit zu untersuchen, um den Roboter anzusteuern. Der Adapter wird für die Programmiersprache Python entwickelt. Gründe hierfür werden im Kapitel für diese Schnittstelle erörtert(siehe [2.6](#))

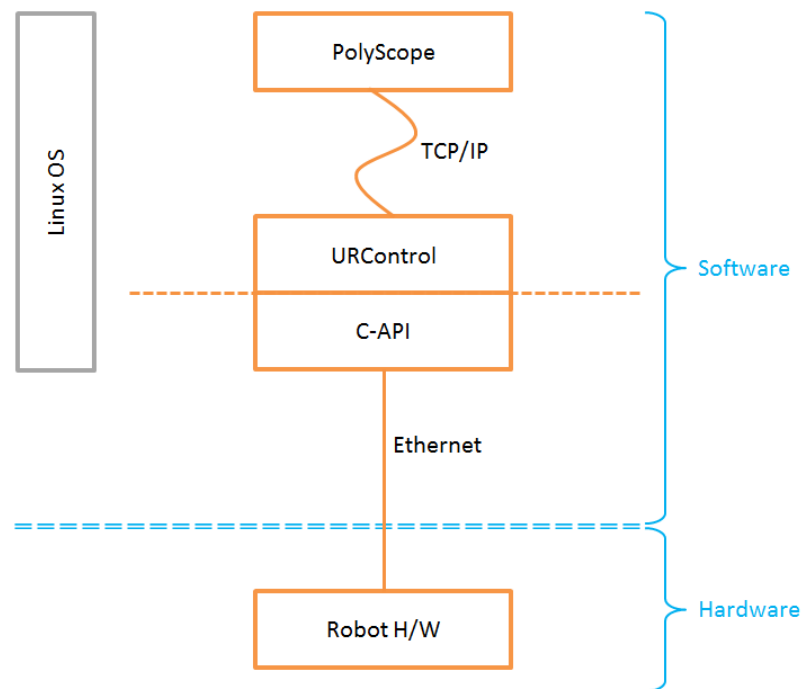


Abbildung 2.2.: Übersicht über die Schichten der bestehenden Software Schnittstellen des Ur5 Roboters

2.3.1. Kriterien für die Bewertung der Schnittstellen

Die Schnittstellen werden wie folgt bewertet:

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

2.4. 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.

2.4.1. 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
```

Listing 2.2: Ausschnitt aus der Datei urcontrol.conf zur vorkonfigurierung des UR5 Roboters

2.4.2. Echtzeit Schnittstelle

Die Echtzeit Schnittstelle ist eine [TCP/IP](#) Schnittstelle, die im 125Hz Takt Datenpakete an die verbundenen Clients sendet. Diese Schnittstelle kann keine Daten von den Clients empfangen. Wenn man diese Datenpakete auslesen will, muss man die einzelnen Datentypen in dem Packet [parsen](#). Eine Besonderheit ist noch,

dass die Byte-Reihenfolge der Datenpakete im **Big-Endian Format!** über das Netzwerk übertragen werden. Da der Unix Rechner und der Client Rechner die Byte-Reihenfolge **Little-Endian Format!** benutzen, muss diese für die einzelnen Datentypen umgewandelt werden. Hierfür wurde in C ein Struct geschrieben und eine Funktion die das Datenpaket für das Struct in die richtige Byte Reihenfolge umwandelt.

```
1 struct ur5_data_rci * parse_ur5_realtime_ci(struct ur5_realtime_ci *ur5_rci,
    char *buf){
2     // ur5_rci points to the struct that will contain the data of the package
3     // buf is the recieved Package from the Real Time Interface
4     ur5_rci = (struct ur5_realtime_ci*) buf;

6     // the first 4 Byte are the message length of the package. the rest of the
        packages are 8 Bytes long so we can just iterate over all variables in
        the package
7     ur5_rci->length = ntohl(ur5_rci->length);
8     int i;
9     for (i = 0; (i < (sizeof(ur5_rci->data_union.data_packed)/sizeof(double)));
        i++){
10         ur5_rci->data_union.data_packed[i] = htobe64(ur5_rci->data_union.
            data_packed[i]);
11     }
12     return &ur5_rci->data_union.data;
13 }
```

Listing 2.3: Umwandlung der Byte-Order für Packet über die Echtzeit-Schnittstellen

In der Dokumentation beiliegend in der CD ist eine komplette Beschreibung, wie die Schnittstelle angesprochen wird und wie die Daten benutzt werden, um den Roboter zu analysieren. Im anhang ab ?? sind Beispiele von Bewegungsprofilen, die von der Echtzeit Schnittstelle ausgelesen wurden, um zu erfahren wie der URController im gegensatz zu der Software mit der C-API die Bewegungsprofile berechnet.

2.4.3. Secondary und Primary Schnittstelle

Das Secondary Interface ist eine **TCP/IP** Schnittstelle, die in einem 60Hz Takt Nachrichten über den Roboter an Verbundene Clients sendet. Die Nachrichten beinhalten Informationen wie z.B. den Roboter Status oder die Positionen der einzelnen Joints. Die komplette Beschreibung welche Informationen gesendet werden sind im Anhang(siehe ??).

Zusätzlich, kann die Secondary Schnittstelle Befehle von Verbundenen Rechnern empfangen. Diese Befehle können URScript Befehle sein. Ein ganzes Programm

in URScript geschrieben oder spezielle zugelassene Befehle die den Roboter Status verändern.

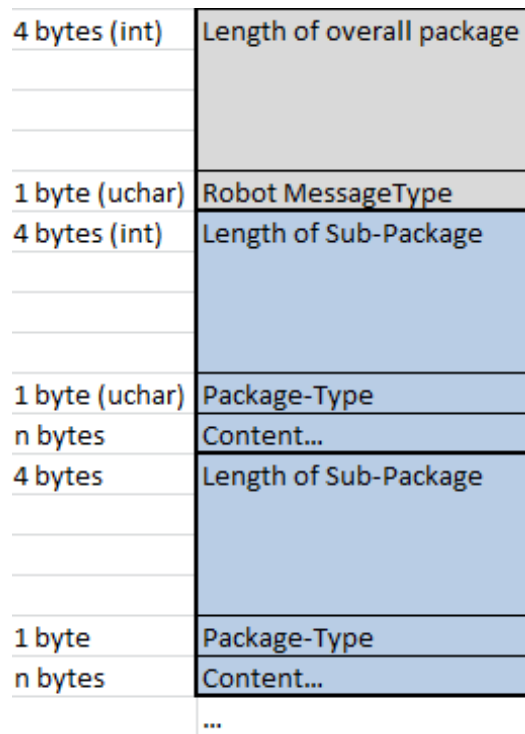


Abbildung 2.3.: Grobe Darstellung wie das Nachrichten Packet gesendet von der Secondary/Primary Schnittstelle.

2.4.4. Polyscope

Polyscope ist eine Anwendung die auf dem Roboter-Rechner läuft. Die Anwendung verbindet sich per [TCP/IP](#) auf den URControl(2.4) und sendet URScript befehle an den Roboter um diesen zu steuern. Diese Anwendung wird auf dem Tablet angezeigt. Hierrüber kann man per Touch eingabe ein neues [URP](#) Programm erstellen. Dieses Programm wird zur Laufzeit in ein Script umgewandelt. Die Polyscope Software schickt nun in Schritten die einzelnen Scriptbefehle an den URControl, der diese ausführt. Im Programmbaum kann eingesehen werden an welchem Schritt das Programm sich befindet.

2.5. C-API

Die C-Application Programming Interface (**C-API**) ist von dem Hersteller **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.

2.5.1. 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 2.4: 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 ??) 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 Millisekudentakt 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 URController 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.

2.5.2. 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 Tool Center Point (TCP) Punkt aus. Die Bewegung des Roboters wird so berechnet, dass der TCP sich Linear zum Zielpunkt bewegt.(siehe Abbildung ??) Um die Berechnung durchzuführen muss die die Position des TCP im Raum(Karthesische Koordinaten) bekannt sein, um eine Strecke zu einem Zielpunkt abfahren zu können. Der UR5 Roboter kann aber nur Positionen in Achs-Ebene verarbeiten. Deswegen muss zuerst eine Berechnung von Achs-Ebene in Karthesische Koordinaten und nach der Berechnung der Strecke wieder zurück auf Achs-Ebene erfolgen.

2.6. Eigene Adapter Schnittstelle aufbauend auf URScript

Das Secondary Interface(2.4.3) kann benutzt werden um einzelne Scriptbefehle an den Roboter zu senden. Auf diesem Prinzip aufbauend, kann ein Adapter für jede Programmiersprache entwickelt werden, der die Befehle an den Roboter sendet.

Dadurch kann nun ein Anwendungsprogramm in dieser Sprache mit all seinen Vorteilen entwickelt werden.

In dieser Arbeit wurde dafür Python gewählt. Gründe hierfür sind

- Weit verbreitete Programmiersprache
- Ein vorhandener Parser für die Secondary Schnittstelle
- Viele vorhandene **Software Bibliotheken!**
- Höhere Sprache als z.B C und somit etwas leichter zu programmieren

Da aufbauend auf dieser Arbeit eventuell mit dem Roboter weitergearbeitet wird, wurde eine Sprache genommen die weit verbreitet ist. Python ist eine Sprache die nicht so hardware nah ist, dass man sich um Speicherbelegung kümmern muss, aber den Code schnell ausführt. Für den UR5 wurde eine Robot Operating System ([ROS](#)) Schnittstelle entwickelt, bei der schon die Pakete der Secondary Schnittstelle geparsed(Parser) werden. Das Projekt ist öffentlich, so konnte dieser Code Abschnitt in die Arbeit übernommen werden.

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. Desweiteren 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 die
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 2.4 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
18     interpolation_sin_ptp(&move_pva_packet);

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

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

Listing 4.2: Interpolation eines Berechneten Weges

4.1.2. Interpolation

Um die Koordinaten im Raum des [TCP](#) zu berechnen muss die Inverse Kindematik des Roboters bekannt sein.

4.1.3. Aufgetretene Probleme

Der Roboter geht ab einem bestimmten Winkel in den Sicherheitsstop. Die Abweichung der Position wird zu groß. Dies kann Analysiert werden, wenn man sich den Durchschnitt der Soll und Ist Werte der Position ansieht(siehe [Abbildung 4.1](#)).

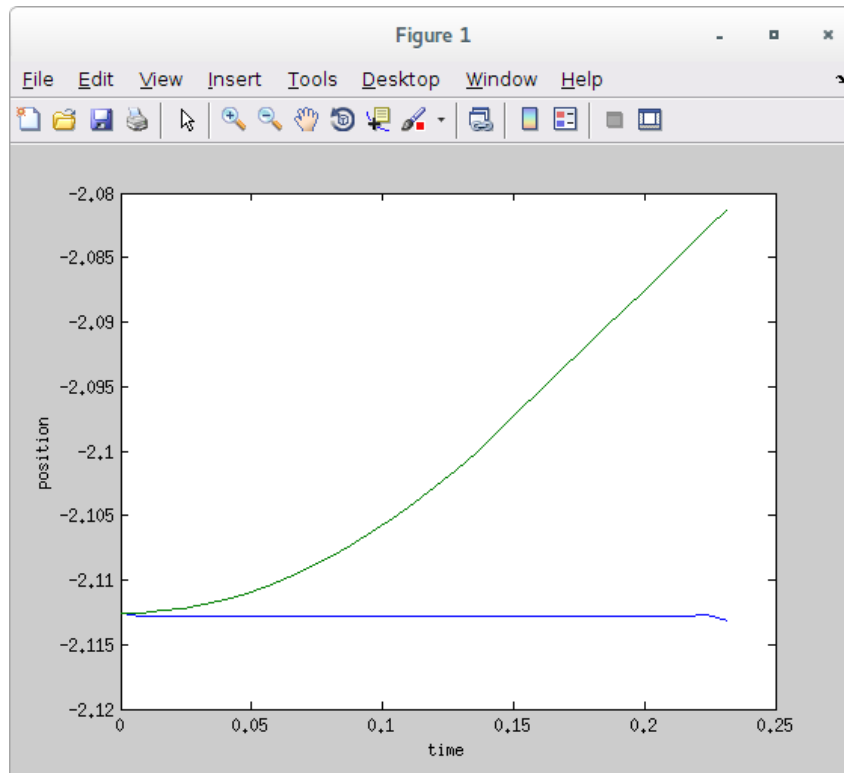


Abbildung 4.1.: Abbildung zeigt die Soll und Ist Werte der Position, bis zum Sicherheitsstop des Roboters

Die Abweichung ist besonders beim 2. Gelenk hoch, da dieser am meisten Gewicht tragen muss und dort die Erdanziehung am meisten wirkt. Deswegen wird angenommen, dass der Regler die Dynamik der Gravitation falsch berechnet.

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 4.2 zu sehen ist, ist die Ansicht des Programmbaumes sehr unübersichtlich.

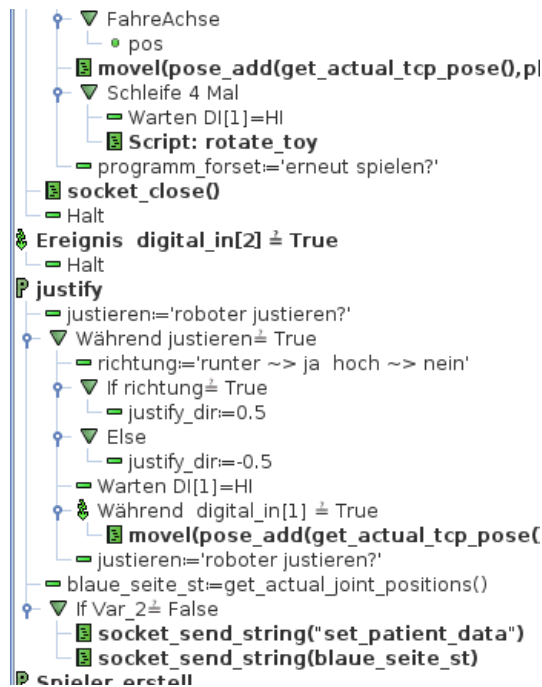


Abbildung 4.2.: Ein Ausschnitt aus einem Programm Baum in Polyscope

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 einen Text oder wählen zweier ja/nein buttons antworten. In Abbildung ?? ist als Beispiel eine Nachricht und eine Ja/Nein Popup zu sehen.



Abbildung 4.3.: 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. Um Daten Persistent zu speichern, muss wie in Polyscope eine socket verbindung zu einer Zweiten Anwendung aufgebaut werden, die die Daten speichert(siehe [4.2.5](#))

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 Secondary Interface des URControllers [2.4.3](#) 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 einzige 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. Um fehler auszuschließen muss also der Bereich Isoliert werden

4.3.4. Benutzer Interaktion

Das Manual für URScript nennt nur die ([Popup](#)) Funktion um dem Anwender eine Nachricht zu geben. Andere Möglichkeiten zur Interaktion ist im Manual nicht angegeben. Jedoch Bietet Polyscope auch über verschiedene [Popup](#) Arten Möglichkeiten zur Interaktion. Diese [Popups](#) gibt es auch für URScript. Die Befehle können aus dem von Polyscope erzeugtem URScriptcode von Universal Robot Programm ([URP](#)) Programmen eingesehen werden. Somit bestehen genau die gleichen Möglichkeiten wie bei Polyscope.

4.3.5. Aufwand der Programmierung

Im Gegensatz zur Polyscope Software, kann mit einem Textverarbeitungsprogramm sehr schnell mit guter Übersicht ein größeres Komplexes Programm erstellt werden. Es können auch leicht Kommentare eingefügt werden und der Code ist im späteren Fall leichter Verständlich für neue Programmierer. Da schwer Fehler zu entdecken sind und deswegen häufig das Programm Manuell getestet werden muss, ist dennoch bei großen Anwendungen ein größerer Zeitlicher Aufwand vonnöten.

4.4. Anwendung mit Adapter zu URScript

Im folgenden Kapitel wird das Anwendungsbeispiel in Python entwickelt. Um zu zeigen, wie die Benutzerinteraktion mit einem Eigenen Adapter gestaltet werden kann, wurde hierfür die **Software Bibliothek!** (**Software Bibliothek!**) “TKinter”, mit der man sehr schnell eine GUI entwickeln kann. Die Interaktion erfolgt durch Buttons, die dann über den Adapter Befehle an den Roboter sendet.

4.4.1. Adapter zur Secondary Schnittstelle

Die Scriptbefehle zur Secondary Schnittstelle, werden als text übergeben. Der Adapter, wird in Form einer Klasse geschrieben, die die einzelnen Script Befehle in Funktionen mitliefert(siehe Listing ??).

```
2 # moveJ moves the Robot with joint coordinates
3 # positions should include the target joint positions
4 def movej(self, positions=None, a_max=None, v_max=None):
5     if positions is None:
6         positions= self.get_joint_positions()
7     if a_max is None:
8         a_max=math.radians(40)
9     if v_max is None:
10        v_max=math.radians(60)
11    message="""movej(%s,a=%f,v=%f)
12    """%(positions,a_max,v_max)
13    print message
14    self.start_program(message)

16 # movel moves the Robot Linear in kartesian coordinates
17 # positions should contain the target tcp positions
18 def movel(self, positions=None, a_max=None, v_max=None):
19     if positions is None:
20        positions= self.get_tcp_positions()
```

```
21     if a_max is None:
22         a_max=math.radians(40)
23     if v_max is None:
24         v_max=math.radians(60)
25     message="\"\"\"move1(p%s,a=%f,v=%f)
26     \"\"\"%(positions, a_max, v_max)
27     print message
28     self.start_program(message)
```

Listing 4.4: Ausschnitt zeigt Funktionen die Scriptbefehle in der Adapter Klasse umgesetzt

Diese Klasse öffnet zwei Verbindungen zur Secondary Schnittstelle. Eine zum empfangen der Datenpakete und eine zum senden der URScript Befehle. Der Adapter besitzt eine (Queue) um die Befehle, nacheinander zur Secondary Schnittstelle zu senden. Da Befehle eventuell viel Zeit benötigen, um ausgeführt zu werden, wird gewartet bis der Befehl abgearbeitet oder abgebrochen wurde. Erst dann wird in der Queue der nächste Befehl an die Schnittstelle gesendet.

```
1  while self.__run_flag:
2      DequePrograms.lock.acquire()
3      if(len(self.s_interface.program_queue) > 0):
4          # print("message queue contains messages %d" % len(self.s_interface.
           program_queue))
5          message=self.s_interface.program_queue.popleft()
6      else:
7          message=None
8      DequePrograms.lock.release()
9      if(message is not None):
10         SecondSendInterface.send_lock.acquire()
11         self.s_interface.send_messages_queue.append(message)
12         SecondSendInterface.send_lock.release()
13
14         //blocks the thread until URScript finishes
15         self.s_interface.block_program()
16         time.sleep(0.2)
17     return 0
```

Listing 4.5: Ausschnitt zeigt die Abarbeitung der Queue

Schnittstelle und Arbeitet nacheinander eine Queue ab, die Befehle an die Schnittstelle beinhaltet. In einer Anwendung kann nun diese Klasse benutzt werden um den Roboter zu steuern. Der Aufwand für ein Programm ist mit einer Eigenen API anfangs deutlich höher als die URScriptsprache direkt zu nutzen. Es muss erst ein Adapter geschrieben und getestet werden, bevor die eigentliche Anwendung geschrieben werden kann.

4.4.2. Programmierung mit Adapter

Sobald der Adapter in einer etablierten Programmiersprache programmiert ist, und Fehler in diesem so gut wie ausgeschlossen sind, kann nun mit normalen Softwareentwicklungstechniken leicht ein Programm geschrieben werden. In dieser Arbeit wurde Python gewählt. Python bietet viele Bibliotheken und Design Patterns die das Programmieren vereinfacht. Es können Entwicklungswerkzeuge benutzt werden um einen leichten Überblick über das Programm zu behalten.

4.4.3. Benutzer Interaktion

Eine etablierte Programmiersprache bietet natürlich auch alle möglichen Bibliotheken und Möglichkeiten ein Interaktives und leicht verständliches Interface zu erstellen. Es ist möglich übersichtliche Formulare zu erstellen mit denen Informationen vom Anwender zu erfassen. Abbildung 4.4 zeigt ein Interface, mit dem der Roboter primitiv in alle Richtungen gesteuert werden kann. Für eine Umsetzung von allen Möglichkeiten wurde wegen Zeitmangels verzichtet.

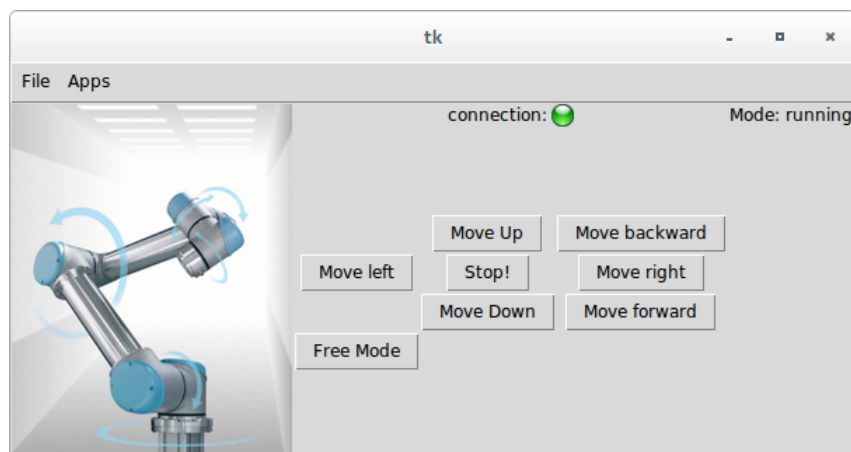


Abbildung 4.4.: Startfenster des selbst erstellten GUI's zur Steuerung des UR5 Roboters. Es ist möglich den Roboter in alle Richtungen Linear zu bewegen.

4.4.4. Test und Fehlersuche im Programm

Nach Ausschluss der Fehler in dem Adapter, kann in der Programmiersprache vorhandene Unittest oder andere automatische Tests für das Programm verwendet wer-

den. Die Schnittstelle zum Roboter wird hier durch einen sogenannten ([Mock](#)) ersetzt. Dadurch kann auch offline getestet werden. Fehler werden in den etablierten Programmiersprachen so leicht gefunden und lokalisiert. ([Interpreter](#)) Programmiersprachen analysieren den Softwarecode auf Fehler in der Syntax, bevor sie ihn ausführen. Auch Sprachen die keine [Interpreter](#) benutzen und den Softwarecode kompilieren, testen den Code auf Syntaxfehler und zeigen Fehler frühzeitig an.

4.4.5. Aufwand der Programmierung

Der Aufwand für ein Programm ist mit einer Eigenen API anfangs deutlich höher, gegenüber den anderen Methoden. Es muss erst ein Adapter geschrieben und getestet werden, bevor die eigentliche Anwendung geschrieben werden kann. Nach dieser Hürde, ist es aber sehr leicht Programme zu erstellen die auf den Adapter zugreifen um den Roboter zu steuern.

5. Ergebnis

Im Folgenden Kapitel werden die Schnittstellen werden gegenübergestellt und verglichen. Desweiterem werden die nicht erreichten Ziele erörtert.

Kriterium	C-API	Polyscope
Programmierbarkeit	Schwer einfache Roboterprogramme zu Realisieren.	Leichter Einstieg zum Programmieren für Anfänger.
Benutzerinteraktion	Es ist möglich ein Übersichtliches & intuitives Interface zu entwickeln	Keine Komplexen Menüs möglich. Nur schwache Interaktion möglich.
Testen	Test sind möglich, aber nur mit Simulation des Roboters	Keine eigenen Tests möglich. Getestet wird immer Live an Roboter.
Debuggen	Compiler findet Syntax Fehler & Debugging ist nur mit Simuliertem Roboter möglich	Bedingt möglich beim Testen Live am Roboter.
Aufwand	Sehr großer Aufwand vonnöten. Es muss alles selbst Entwickelt werden.	Bei kleinen Programmen kaum Aufwand. Aufwand steigt enorm bei mehr Anforderungen.

Tabelle 5.1.: Zusammenfassung der Evaluierungskriterien für C-API und Polyscope

Kriterium	URScript	Eigener Adapter
Programmierung	verständnissvolle Dokumentation ermöglicht es einen schnellen Einstieg. Entwicklerwerkzeuge und Syntax Highlighting! erleichtern die Übersicht und Vereinfachen die Programmierung	Eine Etablierte Programmiersprache erleichtert das Programmieren deutlich. Vorhandene Librarys! erleichtern das Programmieren.
Benutzerinteraktion	Die möglichkeiten bleiben wie bei Polyscope mit Popups beschränkt(siehe 4.2.2)	Wie bei C-API können GUI! (GUI!) 's erstellt werden, die komplexe Formulare und Menüs bieten.
Testen	Mit gegebenen Mitteln sind automatische Tests nicht möglich. Es kann nur wie mit Polyscope Live getestet werden.	Automatische Test sind möglich.
Debuggen	Es gibt keine Möglichkeit zu Debuggen. URController liefert bei Fehler in der Syntax keine information	Fehler werden leicht gefunden, da die Etablierten Programmiersprachen den Programmcode nach Syntaxfehlern durchsuchen und anzeigen.
Aufwand	Ähnlich wie bei Polyscope, jedoch etwas besser durch mehr Übersicht des Projektes	Anfangs ein Großer Aufwand von nöten. Bei mehreren Anwendungen für den Roboter ist Aufwand jedoch geringer als bei den anderen Schnittstellen.

Tabelle 5.2.: Zusammenfassung der Evaluierungskriterien für URScript und Eigener Adapter

5.1. Vergleich der Schnittstellen

Die C-API ist eine sehr Hardware nahe Schnittstelle zum Roboter. Der Aufwand der Betrieben werden muss ist sehr hoch. Diese Schnittstelle sollte nur in seltenen Fällen eingesetzt werden. Nur Spezielle Anwendungen die zur Laufzeit anpassungen an Bewegungssteuerung geben sollten diese Schnittstelle nutzen.

Die Polyscope Software ist sehr gut geeignet für wenige komplexe Anwendungen, die keine bzw. kaum Benutzerinteraktion erfordern. Für eine Kollaboration die auf Interaktion angewiesen ist, ist diese Schnittstelle nicht zu empfehlen. Diese Schnittstelle kann nur sehr aufwändig auf persistente Daten zugreifen und speichern.

URScript bietet in sachen Benutzerinteraktion nur die gleichen möglichkeiten, wie die Polyscope Software(siehe [4.3.4](#)). Es ist Übersichtlicher und verständlicher gegenüber Polyscope Anwendungen zu entwickeln, jedoch bietet die eigens entwickelte Scriptsprache nur wenig möglichkeiten, wirklich komplexe Anwendungen zu entwickeln.

Der Eigene Adapter zum URController vereint die Vorteile einer etablierten Programmiersprache, nämlich vorhandene Entwicklerwerkzeuge und **Software Bibliotheken!** (**Software Bibliotheken!**) zu nutzen. Der Roboter wird über URScriptbefehle gesteuert wird, deshalb muss nicht tief in die Robotersteuerung eingreifen werden wie bei der C-API. Wenn viel Benutzerinteraktion von nöten ist, ist diese Schnittstelle zu empfehlen.

5.2. Nicht erreichte Ziele

Mit der C-API konnte keine Anwendung geschrieben werden, die für die Evaluierungskriterien vollständige Daten liefern.

6. Fazit

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

- [WW-2013] Weber, Wolfgang: Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung. 2.Auflage, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München, 2007.
- [ROSPR-2013] ROS.org/PascalRey: ROS Wiki: Documentation. <http://wiki.ros.org/>, 2013-12-17 14:34:30, zuletzt besucht am 25.03.2014

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, dass Mitglied ist, muss sich an diese Normen halten. Es gibt fast kein Land, dass 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	Software Bibliotheken: Eine Software Bibliothek, oft auch Modul oder Library genannt, ist 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.
Popup	Ein Fenster oder anderes Visuelles Element um einem Benutzer einer Anwendung Nachrichten zukommen zu lassen.
parsen	Parser: Parser: Informationen zerlegen und entsprechend interpretieren.
Mock	Ein Platzhalter für Software Objekte. Wird benutzt um Software zu testen, bei dem ein Teil der Software noch nicht existiert oder ausgeschlossen werden soll.
Interpreter	In der Softwareentwicklung sind Interpreter die Kernpunkte von Programmiersprachen die den Code nicht in Machinensprache Kompilieren. Interpreter lesen den Textcode analysieren ihn auf fehler und führen ihn nach der Analyse aus.
Big-Endian	Big-Endian Format: Big Endian Format ist die Festlegung der Byte-Reihenfolge, wie das Computersystem Speicherbereiche interpretieren und beschreiben soll. Dieses Format legt fest, dass das höchstwertigste Bit an der kleinsten Speicheradresse liegt.
Little-Endian	Little-Endian Format: Wie bei Big-Endian Format! , legt das Little-Endian Format die Byte-Reihenfolge fest. Mit Little-Endian jedoch wird das niedrigwerteste Bit an die kleinste Speicheradresse gesetzt.
ROS	Robot Operating System: "Provides libraries and tools to help software developers create robot applications. It

provides hardware abstraction, device drivers, libraries, visualizers, message-passing, package management, and more. ROS is licensed under an open source, BSD license.”
[ROSPR-2013]

Queue

Eine Warteschlange, ähnlich wie bei einem Supermarkt. Die Elemente in einer Queue werden Nacheinander abgearbeitet.

TCP

Tool Center Point: Der TCP beschreibt den Punkt des Werkstücks, der auf den Roboter Montiert ist. In der Regel ist dieser Punkt an der Spitze des Werkzeugs angeben.

C. Quellcode

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