

Hochschule Ravensburg-Weingarten

Evaluation der Learning-from- Demonstration Komponente des ZAFH- Demonstrators

Projektarbeit von Benjamin Merkle

27.06.2011

1.	Aufbau der Arbeit.....	3
2.	Einleitung	3
3.	Bisheriger Stand	4
3.1.	Learning-from-Demonstration	4
3.2.	Versuche.....	4
3.3.	Bekannte Probleme	5
4.	Allgemeiner Versuchsaufbau.....	6
5.	Erwartungen allgemein	6
6.	Die Versuche	7
6.1.	Einfache Versuche	7
I.	Objekte befinden sich auf gleicher Seite des Tisches	7
II.	Objekte befinden sich auf einer horizontalen Linie	8
III.	Gleicher Abstand der Becher.....	9
IV.	Unbekannte Störobjekte	9
V.	Bekannte Störobjekte.....	10
VI.	Fehlende Objekte	11
6.2.	Becher Stapeln	12
I.	Drei Becher mit vier Demonstrationen.....	12
II.	Drei Becher mit fünf Demonstrationen	13
III.	Drei Becher mit drei Demonstrationen	14
IV.	Adaption des gelernten auf neue Situationen	15
V.	Versuche mit 4 Bechern	16
6.3.	Versuche ohne Becher.....	20
I.	Xylophon	20
II.	Wischen.....	22
III.	Malen	23
6.4.	Weitere gewonnene Erkenntnisse	27
7.	Ergebnisse aus den Versuchen	29
8.	Anhang	31

1. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich in neun Kapitel. In Kapitel zwei wird die Aufgabe, welche in dieser Arbeit behandelt wird, kurz erklärt. Kapitel drei enthält genauere Beschreibungen über die Technik des ZAFH-Demonstrators sowie den bisherigen Stand der Versuche. Im vierten Kapitel wird der allgemeine Aufbau für die Versuche im Labor erläutert. Anschließend werden in Kapitel fünf kurze grundlegende Erwartungen für die Versuche dargelegt. Das zentrale sechste Kapitel dieser Arbeit beschreibt die einzelnen Versuche ausführlich und dokumentiert die Ergebnisse. Diese Ergebnisse werden in Kapitel sieben in ihrer Gesamtheit reflektiert und ausgewertet. Den Abschluss macht Kapitel acht in dem noch diverse weitere Anmerkungen und Informationen angehängt werden.

2. Einleitung

In dieser Arbeit soll die Learning-from-Demonstration-Komponente des ZAFH-Demonstrators evaluiert werden. Das Zentrum für Angewandte Forschung (ZAFH) „Autonome mobile Serviceroboter“, mit Standorten an den Hochschulen in Ulm, Mannheim und Weingarten forscht mit dem Ziel, dass die Roboter „zukünftig selbständig Dienstleistungen in allen Lebensbereichen“ erbringen sollen. Dabei soll der Roboter auf veränderte äußere Umgebungen und Einflüsse reagieren und mit Teilen dieser Umgebung interagieren können.

Der Demonstrator, der aus diversen Komponenten aufgebaut ist, dient dabei als Werkzeug, um die verschiedensten Anwendungsgebiete, Techniken und Lösungsansätze erforschen, verbessern und testen zu können.

In dieser Arbeit werden zentral der Katana-Arm zur Interaktion mit den Gegenständen, die Objekterkennung mittels Kamera und die Sprachein- und ausgabe, welche zur Kommunikation/Interaktion mit dem Demonstrator dient, verwendet.

3. Bisheriger Stand

3.1. Learning-from-Demonstration

Learning-from-Demonstration, kurz LfD (auch bekannt unter Learning-by-Demonstration oder Apprenticeship Learning), ist eine Methode, um einem Roboter oder Computersystemen Aufgaben (Tasks) beizubringen ohne diese explizit zu programmieren.

Die Aufgabe wird dabei von einem Lehrer vorgeführt. Der Roboter zeichnet diese Aufgabe auf und verarbeitet die dabei entstandenen Parameter. Hierbei werden je nach Aufgabe die verschiedensten Winkelstellungen der Motoren, Positionsdaten der Objekte im Sichtbereich der Kamera, aktuelle Variablenwerte oder Klicks auf einer Oberfläche in Abhängigkeit der Zeit oder der Abfolge gespeichert. Oft wirken auch mehrere dieser Parameter zusammen. Es wird dann meist über mehrere Demonstrationen approximiert um eine bessere Generalisierung der Aufgabe zu bekommen. Dieses Lernverfahren hat den Vorteil, dass auch technisch nicht versierte Personen dem System neue Aufgaben beibringen können. Auch ist der Implementierungsaufwand (Zeit und Kosten) für neue Aufgaben wesentlich geringer. Dagegen ist der Aufwand bei der Implementierung des neuen Systems deutlich höher.

Das LfD beim ZAFH-Demonstrator soll nun den Roboter befähigen kleinere Aufgaben zu erlernen. Dabei werden die Winkelstellungen des Katana-Arms mit den Positionsdaten von Objekten, welche über die Kamera gefunden wurden, verknüpft. Dadurch ist es möglich, dass der Demonstrator einfache mechanische Tasks wie das Greifen von Objekten und Abstellen an bestimmten vorgegebenen Stellen lernt.

Die bisherigen Aufgaben, welche der Demonstrator gelernt und erfolgreich wiedergegeben hat sind "Put the cube into the cup" und "Make coffee". Bei Ersterem wird dem Demonstrator beigebracht einen beliebig auf dem Tisch platzierten orangefarbenen Würfel zu greifen und in einen blauen Plastikbecher zu werfen. Die Aufgabe "Make coffee" ist ein klein wenig komplexer. Dabei soll der Katana-Arm einen an einer beliebigen Position stehenden blauen Plastikbecher greifen und ihn auf eine grünmarkierte Fläche unterhalb einer Kaffeemaschine stellen. Anschließend soll die Maschine noch angeschaltet werden. Die Maschine steht im Gegensatz zum Becher immer an einer festen Position.

3.2. Versuche

Aufgabe dieser Arbeit ist es nun diese Tasks zunächst mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu testen (Abstand der Objekte, Anordnung der Objekte, Anzahl der Demonstrationen...). Die Tasks sollen anschließend erweitert werden (mehr Objekte, längere Tasks, Fehlen von Objekten zur Ausführungszeit) um festzustellen, welche Aufgaben auf diese Weise gelernt werden können oder ob Aufgaben doch besser über andere Methoden dem Roboter beigebracht werden müssen. Es werden

auch noch ein paar andere kleinere motorische Tasks getestet (Xylophon spielen, malen, schneiden, Tisch wischen). Wie bei Kleinkindern müssen die motorischen Fähigkeiten geschult werden. Diese lernen auch über ähnliche Aufgaben den Umgang mit ihrer Umwelt. Nicht kurze und nicht aufwändige Tasks können unter verschiedenen Rahmenbedingungen wiederholt und ausgeführt werden. Deswegen scheinen solche Aufgaben geeignet um LfD zu testen. Auch werden alle anderen wesentlichen Erkenntnisse, die beim Umgang mit dem Demonstrator auftreten, dokumentiert.

3.3. Bekannte Probleme

Bevor im nächsten Kapitel nun näher auf den Umgang mit dem Demonstrator und den ersten Tests eingegangen wird, noch vorweg ein paar kurze Worte zur Objekterkennung. Es ist bekannt, dass diese Objekterkennung nicht das optimale Setup bietet und es auch immer wieder zu Problemen kommt. So werden die Objekte/Farben bei verschiedensten Lichteinflüssen unterschiedlich identifiziert/erkannt. Dies hat auch zur Folge, dass teilweise der Fußboden als Objekt erkannt wird. Besonders schlimm traten diese Fehler zur Mittagszeit und bei tiefstehender Sonne auf. Es wurde versucht dies durch herunterlassen der Jalousie aufstellen schattenspendender Gegenstände (Stühle, Tische, ...), anschalten der Deckenbeleuchtung und abdecken des Fußbodens, auszugleichen. Trotz dieser Maßnahmen und der mehrmaligen Durchführung von Tasks, auch zu unterschiedlichen Tageszeiten, kann es vorkommen, dass vereinzelte Ergebnisse in dieser Arbeit nicht zu hundert Prozent rekonstruierbar sind. Es wurde zwar das möglichste Versucht, aber es kann nicht garantiert werden, dass dies für jeden Fall gilt.

4. Allgemeiner Versuchsaufbau

Alle in dieser Arbeit beschriebenen Versuche werden im ZAFH-Labor im K-Gebäude (K002A) der Hochschule Weingarten durchgeführt. Dabei steht der ZAFH-Roboter (Kate) auf zwei Metallklötzen um parallel zur Tischoberfläche zu stehen auf welcher die Versuche durchgeführt werden. Dies ist wichtig, da ansonsten die Kamerakoordinaten nach der Transformation nicht mit den echten Koordinaten der Gegenstände übereinstimmen. Als Arbeitsoberfläche dient ein kleiner Tisch. Die Deckenbeleuchtung im Raum ist, unabhängig von der Helligkeit im Raum und der Tageszeit, eingeschaltet. Dies gilt immer, sofern nicht anders beschrieben. Dies ist eine Maßnahme, um immer ein relativ konstantes Licht für die Versuche zu haben, da sonst die Farben der Objekte von der Kamera nicht sauber erkannt werden können. Die Objekte stehen, soweit nicht anders beschrieben, immer vor Kate auf dem kleinen Tisch. Bei einigen Versuchen wird die direkte Sonneneinstrahlung durch weitere im Labor befindliche Gegenstände verdeckt. Auch werden einige Gegenstände (Hocker, Papier, Kissen) dazu verwendet, den Boden im Sichtbereich der Kamera abzudecken, um zufällige Farbfehler und andere Phänomene bei der Objekterkennung auszuschließen.

5. Erwartungen allgemein

Aufbauend auf die bereits beschriebenen Tasks ("Put the cube into te cup" und "Make coffee") sollten zunächst die einfachen Versuche keine größeren Probleme bereiten. Vielleicht kann es zu kleinen Problemen kommen, wenn die Anordnung der Objekte nicht optimal ist.

In den weiteren Versuchen wird es wohl sehr auf den Versuchsaufbau/-anordnung ankommen, ob die Tasks erfolgreich gelernt und wiedergegeben werden können. Auch bleibt es abzuwarten, ob die vorhandene Hardware überhaupt in der Lage ist mit einigen Objekten zu interagieren (Greifen eines Stifts, Tisch wischen). Dies ist vom Greifer des Katanaarms und der fehlenden Sensorik abhängig.

6. Die Versuche

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Versuche beschrieben sowie das Ergebnis der Durchführung dokumentiert und analysiert. Dabei wird zunächst auf den bekannten Task "Put the cube in the cup" aufgebaut. Dieser erkennt auf dem Tisch vor Kate befindliche Dinge und merkt sich die Position. Im einfachsten Fall sind dies ein Würfel und ein Becher. Beim Lernen werden nun Aktionen ausgeführt, welche aufgezeichnet und mit den Positionsangaben der Objekte verbunden werden. Das ganze wird analysiert und gelernt. Nun sollte es dem Demonstrator möglich sein auf eine veränderte Welt dieses abstrakte Lernen anzuwenden.

Anstatt des Würfels werden für die Versuche verschiedene Becher verwendet, welche sich in Farbe und Größe voneinander unterscheiden.

grüner Becher	Groß
blau Becher	Groß
gelber Becher	Mittel
roter Becher	Klein

Da es sehr auf die Lichtverhältnisse ankommt, wurden die Versuche teilweise mehrmals durchgeführt. Dies hat zum einen den Vorteil, dass die Ergebnisse rekonstruierbar sind. Es werden aber nur die Versuche hier aufgeführt, welche am besten funktioniert haben. Wurde ein Versuch nicht mehrmals wiederholt und nur bei schlechten Bedingungen durchgeführt, wird dieser in der Versuchsbeschreibung angeführt.

6.1. Einfache Versuche

Es werden zunächst einige einfache Versuche durchgeführt. Dabei wird beispielsweise untersucht, ob beim Lernen der Abstand der Gegenstände zueinander eine Auswirkung auf das Ergebnis hat. Aufbauend auf diesen Versuchen werden weitere Versuche gemacht. Verwendet werden dazu der grüne und der rote Becher.

I. Objekte befinden sich auf gleicher Seite des Tisches

Versuchsaufbau

Die Becher werden an verschiedenen Stellen auf dem Tisch mit je gleicher Ausrichtung zueinander platziert. Der rote Becher steht dabei immer auf der linken Seite des grünen Bechers. Die Position an welcher der rote Becher auf der linken bzw. der grüne auf der rechten Seite steht, ist wie der Abstand der beiden Becher, zufällig. Gelernt werden vier verschiedene Demonstrationen.

Erwartung

Es könnte zu leichten Komplikationen kommen, wenn der rote Becher nicht mehr auf der linken Seite steht sondern vor/hinter oder rechts des grünen Bechers.

Ergebnis

Bis auf leichte Unsicherheiten wird der rote Becher immer korrekt aufgenommen und über dem grünen Becher fallen gelassen. Es hat also keine Auswirkungen auf das Ergebnis wenn die Demonstrationen nur „einseitig“ sind.

II. Objekte befinden sich auf einer horizontalen Linie

Versuchsaufbau

Die Becher werden an verschiedenen Stellen auf dem Tisch auf einer horizontalen Linie mit je gleicher Ausrichtung zueinander platziert. Der rote Becher steht dabei immer auf der linken Seite des grünen Bechers. Der Abstand der beiden Becher und die vertikale Position der horizontalen Linie ist zufällig. Gelernt werden vier verschiedene Demonstrationen

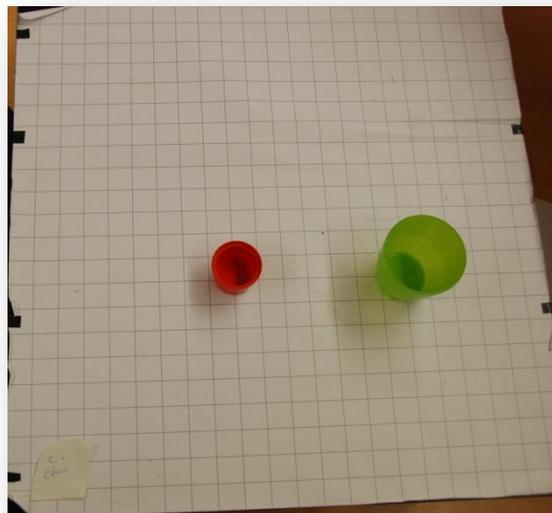


Abbildung 1: Objekte auf gleicher Höhe

Erwartung

Es dürfte ein ähnliches Ergebnis wie in Versuch I.) zu erwarten sein.

Ergebnis

Leider ist das Ergebnis dieses Versuchs schlechter. Solange die Becher nahezu auf einer horizontalen Linie platziert sind, werden diese auch gegriffen und an der richtigen Stelle losgelassen. Wenn die Objekte aber nicht mehr auf dieser Linie stehen, greift der Arm an den falschen Stellen und lässt auch das nicht gegriffene Objekt an einer leeren Stelle los. Teilweise fuchelt der Arm deutlich über dem Tisch. Mehrere Versuche musste abgebrochen werden (Notaus).

III. Gleicher Abstand der Becher

Versuchsaufbau

In diesem Versuch werden der rote und der blaue Becher verwendet. Die Becher werden an verschiedenen Stellen auf dem Tisch mit je gleicher Ausrichtung zueinander und gleichem Abstand platziert. Der rote Becher steht dabei immer links, auf einer horizontalen Linie, und mit circa 12 cm Abstand zum roten Becher. Dies wird mithilfe eines Gittermusters auf dem Tisch erreicht. Ziel ist es, den roten Becher zu greifen und in den blauen Becher zu werfen. Es werden wieder vier Demonstrationen durchgeführt.

Erwartung

Da die Becher immer den gleichen Abstand zueinander haben, könnte es passieren das beim Lernen die immer gleiche Bewegung des Arms überwiegt und deswegen die tatsächliche Position des Bechers keine Rolle spielt.

Ergebnis

Im Gegensatz zum vorherigen Versuch kommt es nun doch deutlich zu Problemen. So macht ein knapp 10 cm vergrößerter Abstand keine Probleme. Wird der Abstand aber weiter vergrößert (30 cm und mehr) oder stehen die Becher nicht mehr auf einer Linie, greift der Demonstrator oft ins Leere (meist zwischen die Becher). Besonders wenn die Becher in einer vertikalen Linie zueinander stehen konnte kein Teilziel (greifen und fallenlassen) erreicht werden. In diesem Versuch mussten zwei Ausführungen mit einer Notabschaltung abgebrochen werden. Es ist also wichtig, dass die Gegenstände beim Lernen einen variablen Abstand zueinander haben.

IV. Unbekannte Störobjekte

Was passiert wenn bei der Durchführung der Versuche Objekte in der Szene sind, welche beim Lernen nicht vorhanden waren?

Versuchsaufbau

Für diesen Versuch werden die Konfigurationen aus I und III herangezogen und bei der Demonstration wird nun zusätzlich der blaue Becher auf den Tisch gestellt. Dies wird getestet mit:

- a. der blaue Becher ist dem Demonstrator bekannt
- b. der blaue Becher ist dem Demonstrator nicht bekannt

Dazu werden zwei verschiedene Konfigurationsdateien verwendet, in welcher die Objekte mit ihren Farb- und Korrekturwerten gespeichert sind.

Erwartung

Wenn der Becher bekannt ist, könnte es zu Problemen kommen, da der Demonstrator diese Position mit einbezieht. Ist der Becher nicht bekannt, sollte es keine Probleme geben, da er mit diesem von der Kamera erkannten Farbleck nichts verknüpfen kann. Der Gegenstand wird ignoriert.

Ergebnis

In beiden Fällen stört der blaue Becher das Ergebnis in keinster Weise. Es kann nur vorkommen, dass der zusätzliche Gegenstand bei der Ausführung der Aufgabe im Weg steht. Dies ist dann aber eher auf ein unbedachtes Lernen zurückzuführen. Es werden keine Höhenangaben ausgewertet und somit ist beim Lernen darauf zu achten, dass mögliche sich im Wege befindliche Objekte „überhoben“ werden.

V. Bekannte Störobjekte

Nachdem im letzten Versuch untersucht wurde, was passiert wenn bei der Ausführung Objekte hinzukommen, welche beim Lernen nicht auf dem Tisch waren. Nun wird untersucht was passiert wenn gleich beim Lernen diese Objekte in der Szene stehen.

Beim Lernen wird der Lehrer gefragt ob er es beabsichtigt, im Vergleich zu vorherigen, das Objekte hinzugefügt wurden. Wird mit diesen nicht interagiert (Störobjekte) ergibt sich daraus kein Unterschied im Bezug auf das Ergebnis.

Versuchsaufbau

Es werden wieder die beiden Konfigurationen aus I.) und III.) verwendet. Als Störobjekt wird erneut der blaue Becher auf dem Tisch platziert. Getestet werden wieder die beiden Konfigurationen wieder:

- a. der blaue Becher ist dem Demonstrator bekannt
- b. der blaue Becher ist dem Demonstrator nicht bekannt

Erwartung

Es sollte zu keinerlei Problemen kommen. Auch sollte der Becher nicht umgeworfen werden, wenn es eine Demonstration gibt, in der der Becher überhoben wird.

Ergebnis

Wie zu erwarten gibt es keine Probleme bei der Durchführung.

VI. Fehlende Objekte

In diesem Versuch soll nun untersucht werden, wie sich das Fehlen von Objekten, welche beim Lernen vorhanden waren, auswirkt.

Beim Lernen wird der Lehrer gefragt ob er es beabsichtigt, im Vergleich zu vorherigen, das Objekte entfernt wurden. Wird mit diesen nicht interagiert (Störobjekte) ergibt sich daraus kein Unterschied im Bezug auf das Ergebnis.

Versuchsaufbau

Es werden wiederum die gelernten Konfigurationen aus I.) und III.) verwendet. In dem Versuch wird darüber hinaus unterschieden zwischen:

- a. Fehlende Störobjekte
- b. Fehlende Interaktionsobjekte

Als Störobjekt dient wieder der blaue Becher.

Erwartung

In Fall a. sollte es keine Probleme bei der Durchführung geben. In Fall b. weiß der Demonstrator nicht was zu tun ist und sollte am besten mit einer Fehlermeldung die Ausführung beenden. Da der Demonstrator aber nicht zwischen Störobjekten und Interaktionsobjekten unterscheiden kann ist es wohl anzunehmen das in beiden Fällen mit einer Fehlermeldung zu rechnen ist.

Ergebnis

Überraschender weise kommt in beiden Fällen keine Fehlermeldung. Im ersten Fall (a.) wird die Aktion normal ausgeführt. Es treten durch den fehlenden Gegenstand keine (weiteren) Komplikationen auf.

Für den zweiten Fall kann dies nicht gelten. Es werden schließlich Gegenstände entfernt mit denen interagiert wird. Der Arm errechnet sich nun aus den Trainingsdaten eine mögliche Position an welcher der Gegenstand steht und greift diesen bzw. lässt einen gegriffenen Gegenstand an dieser Position fallen. Dies ist meist auch mit heftigem fuchteln des Arms begleitet.

Entweder sollte hier darauf geachtet werden, dass der Demonstrator wichtige und unwichtige Gegenstände unterscheiden kann. Oder es sollte immer mit einer Fehlermeldung abgebrochen werden.

6.2. Becher Stapeln

Versuchsaufbau

Die Becher, welche in einer Reihe auf dem Tisch stehen, sollen ineinander gestapelt werden. Als erstes der Gelbe in den Blauen und danach der Rote ebenfalls in den Blauen. Dabei kommt es zunächst nicht darauf an ob die Becher immer gegriffen und aufgenommen werden. Es ist hierbei nur von Bedeutung, dass an der Position, an der die Becher stehen, gegriffen und über dem blauen Becher losgelassen wird. Dies ist deswegen notwendig, da einige Versuche bei schlechten Lichtverhältnissen durchgeführt wurden.

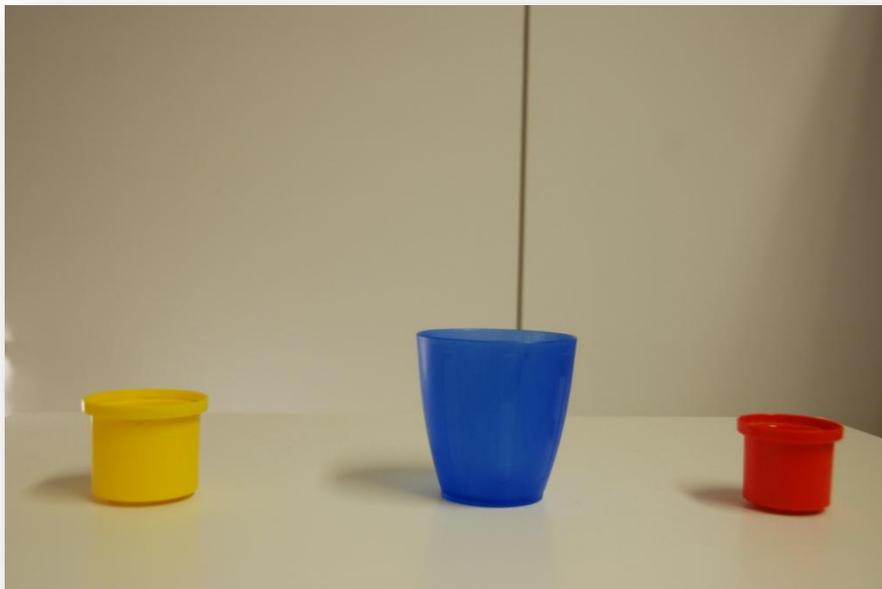


Abbildung 2: Becher für die Versuche

I. Drei Becher mit vier Demonstrationen

Lernen

Die Anordnung der Becher beim Lernen war in den vier Demonstrationen folgendermaßen:

gelb	blau	rot
blau	gelb	rot
blau	rot	gelb
gelb	blau	rot

Erwartung

Es wurden in den vier Demonstrationen verschiedene Kombinationen gezeigt, so dass es keine größeren Probleme geben sollte. Es könnte höchstens passieren, dass der rote Becher wenn er links außen steht nicht gegriffen wird, da dies nicht demonstriert wurde. Außerdem steht der blaue Becher immer auf der linken Seite des roten Bechers.

Ergebnis

Nun wird das gelernte Verhalten getestet. Dafür werden alle Permutationen der Becher überprüft.

Position			Ergebnis
gelb	rot	blau	Korrekt
gelb	blau	rot	Korrekt
blau	gelb	rot	korrekt
blau	rot	gelb	korrekt
rot	gelb	blau	Der rote Becher wird nicht ganz gegriffen und der Arm fuchtelt durch die Luft
rot	blau	gelb	Der rote Becher wird nicht ganz gegriffen und der Arm fuchtelt durch die Luft

Es werden eigentlich alle Versuche soweit gut erkannt. Der gelbe Becher wird immer an der richtigen Stelle gegriffen und über dem Blauen losgelassen. Wie in der Erwartung bereits vermutet gibt es Probleme, wenn der rote Becher auf der Position links außen steht. Dieser wird nicht an seiner Position gegriffen. Anschließend fuchtelt der Katana Arm durch die Luft ohne eine sinnvolle Aktion zu machen. Im nächsten Versuch soll nun überprüft werden, ob immer alle Becher gegriffen werden, wenn jeder Becher mindestens einmal an jeder Position steht. Dazu noch soll jeder Becher einmal links und einmal rechts neben den anderen Bechern stehen.

II. Drei Becher mit fünf Demonstrationen

Lernen

Die Anordnung der Becher beim Lernen war in den fünf Demonstrationen folgendermaßen:

gelb	blau	rot
rot	blau	gelb
blau	rot	gelb
gelb	rot	blau
blau	gelb	rot

Erwartung

Mehrere Demonstrationen, bei denen die Becher jeweils an allen Positionen und rechts bzw. links von den anderen Bechern sind, werden gelernt. Dies sollte das Ergebnis verbessern im Vergleich zu Versuch 6.2.1.).

Ergebnis

Nun wird das gelernte Verhalten getestet. Dafür werden alle Permutationen der Becher überprüft.

Position			Ergebnis
gelb	rot	blau	Korrekt
gelb	blau	rot	Korrekt
blau	gelb	rot	Korrekt
blau	rot	gelb	korrekt
rot	gelb	blau	Korrekt
rot	blau	gelb	Korrekt

Die zusätzlichen Bedingungen waren erfolgreich. In jedem Versuch werden der gelbe und der rote Becher gegriffen und über dem blauen Becher losgelassen. Als nächstes wird überprüft, ob dazu fünf Demonstrationen nötig sind um solch einen Erfolg zu erzielen, oder ob dies auch mit weniger Demonstrationen gemacht werden kann. Um jeden Becher an jeder Position und jeweils einmal links und rechts neben den anderen Bechern zu haben sind mindestens drei Demonstrationen nötig.

III. Drei Becher mit drei Demonstrationen

Lernen

In diesem Versuch soll zum Einen überprüft werden, ob die Reihenfolge in der gelernt wird, Einfluss auf das Ergebnis hat. Zum Anderen soll überprüft werden, ob ein ähnlich gutes Ergebnis wie in 6.2.II.) erzielt werden kann.

Aufbau 1

rot	blau	gelb
gelb	rot	blau
blau	gelb	rot

Aufbau 2

rot	blau	gelb
blau	gelb	rot
gelb	rot	blau

Erwartung

Ähnlich gut wie in Versuch 6.2.I.), möglicherweise mit leichten Unsicherheiten beim Greifen oder Fallenlassen.

Ergebnis

Nun wird das gelernte Verhalten getestet. Dafür werden alle Permutationen der Becher überprüft.

Ergebnis Aufbau 1

Position			Ergebnis
gelb	rot	blau	korrekt
gelb	blau	rot	Griff zwischen den roten und blauen Becher
blau	gelb	rot	korrekt
blau	rot	gelb	korrekt
rot	gelb	blau	korrekt
rot	blau	gelb	korrekt

Ergebnis Aufbau 2

Position			Ergebnis
gelb	rot	blau	korrekt
gelb	blau	rot	Griff zwischen den roten und blauen Becher
blau	gelb	rot	korrekt
blau	rot	gelb	korrekt
rot	gelb	blau	korrekt
rot	blau	gelb	korrekt

Die Bewegungen des Arms werden allgemein ungenauer. Dazu kommt, dass in beiden Varianten jeweils in dem misslungenen Versuch (gelb-blau-rot) zum Fehlgriff auch noch der rote Becher umgeworfen wird. Ansonsten gibt es keine Auswirkung nach welcher Anordnung gelernt wurde.

Für die nachfolgenden Versuche wurde jeweils die zweite Konfiguration aus Versuch 6.2.III.) verwendet.

IV. Adaption des gelernten auf neue Situationen

Was passiert wenn die Becher nicht in einer Reihe stehen, dies aber so gelernt wurde? Dies wird nun für einige Konstellationen getestet. Dieser Versuch ist ähnlich zu den Versuchen in Kapitel 6.1.

Aufbau

Die Becher werden an den Ecken eines Dreiecks aufgestellt. Die Art des Dreiecks (rechtwinklig, gleichschenkelig) und die Position an der die Becher stehen variieren in den Versuchen.

Lernen

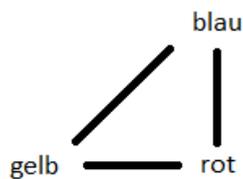
Es wird die zweite Konfiguration aus Versuch 6.2.III.) verwendet. Die fehlgeschlagene Aufgabe (gelb-blau-rot) ist hierbei nicht sehr wichtig, da diese in diesem Versuch nicht wiedergegeben werden muss.

Erwartung

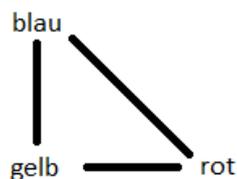
Wie schon in Versuch 6.1.II.) zu sehen war, sollte es zu Problemen kommen, da die Becher nur auf nahezu einer Linie gut gegriffen werden.

Ergebnis

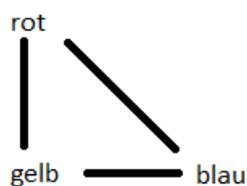
Nachfolgend werden nun die Ergebnisse der einzelnen Versuche direkt beschrieben.



Aufbau ist ein rechtwinkliges Dreieck, mit dem blauen an der Spitze und dem roten Becher im rechten Winkel. Zunächst wird gelb gegriffen und leicht rechts versetzt vom Roten Becher fallen gelassen. Anschließend wird zwischen die Positionen von Gelb und Rot gegriffen. Danach folgt ein wildes Fuchteln.



Aufbau ist ein rechtwinkliges Dreieck, mit dem blauen an der Spitze und dem gelben Becher im rechten Winkel. In diesem Versuch führte der Arm keine koordinierten Aktionen aus. Es wurde kein Becher richtig gegriffen. Zum Schutz vor Beschädigung musste der Versuch mit dem Notaus abgebrochen werden.



Aufbau ist ein rechtwinkliges Dreieck, mit dem roten an der Spitze und dem gelben Becher im rechten Winkel. Der gelbe Becher wird sauber gegriffen und über dem blauen Becher losgelassen. Statt des roten Bechers wird rechts neben den blauen Becher gegriffen (außerhalb der Tischplatte).

V. Versuche mit 4 Bechern

Nach den Versuchen mit den drei verschiedenen Bechern, wird nun noch ein grüner Becher hinzugefügt. Dieser ist bis auf die grüne Farbe, mit dem blauen identisch. Ziel ist es nun den roten in den blauen und den gelben in den grünen Becher zu werfen.

Lernen

Da sich die Position der Becher beim Lernen schlecht beschreiben lässt, sind diese nun nachfolgend abgebildet (Abbildung 3-Abbildung 6).

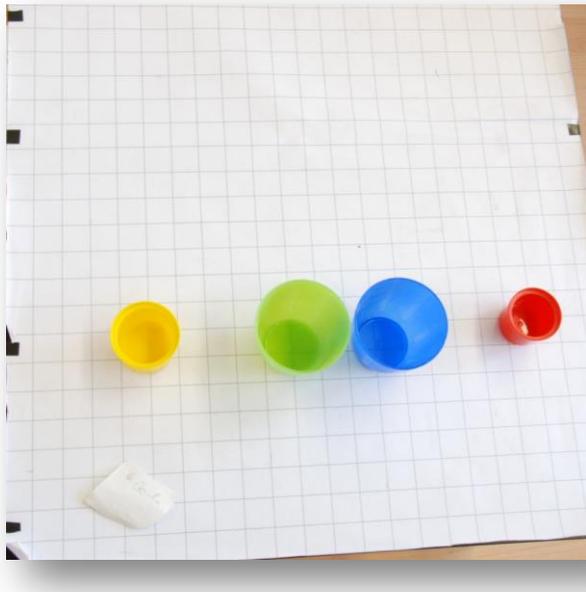


Abbildung 3: Erste Demonstration

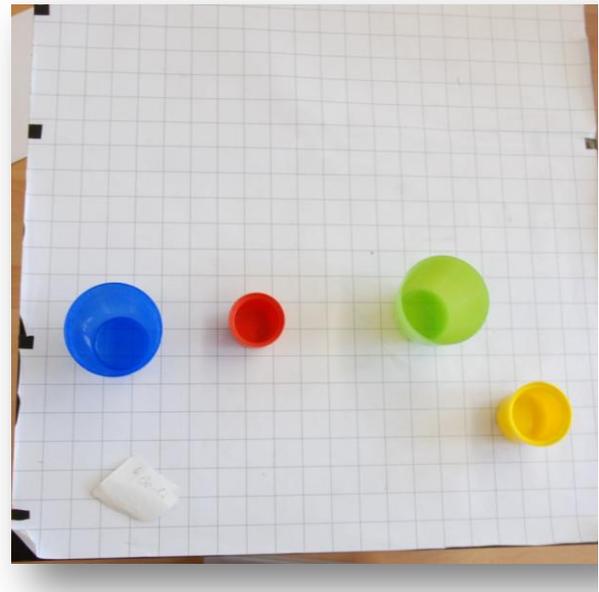


Abbildung 4: Zweite Demonstration

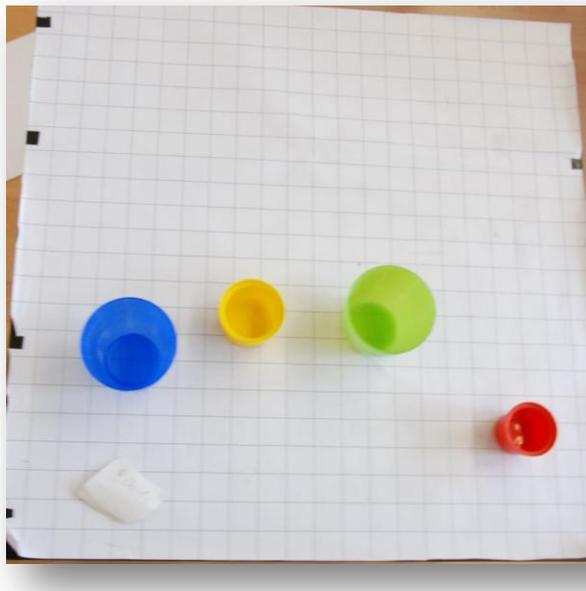


Abbildung 5: Dritte Demonstration

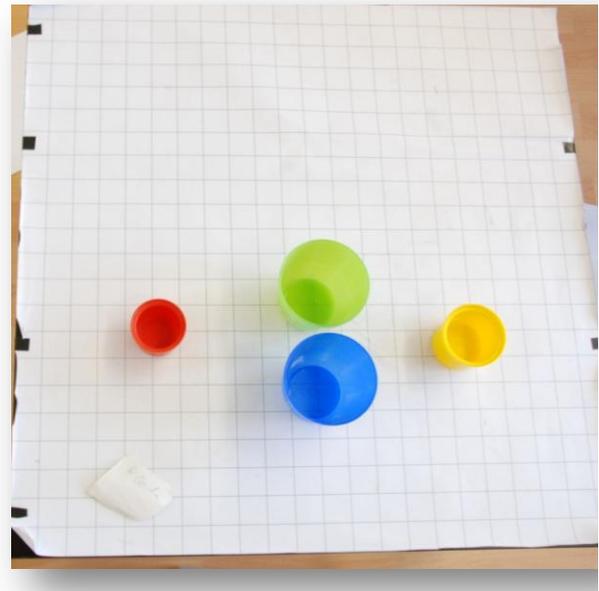


Abbildung 6: Vierte Demonstration

Erwartung

Nach den Versuchen mit den drei Bechern ist dies nun eine Steigerung. Es mag sein, dass nicht alle Aufgaben richtig ausgeführt werden, trotzdem sollte es für einige Versuche klappen. Vielleicht vereinzelt ist mit kleinen Unsicherheiten beim Greifen der Becher zu rechnen.

Ergebnis

Aus allen gemachten Versuchen werden nun exemplarisch drei ausgesucht, welche das Gesamtergebnis gut wiedergeben. Die Bilder zeigen den Aufbau vor der Durchführung der Aufgabe.

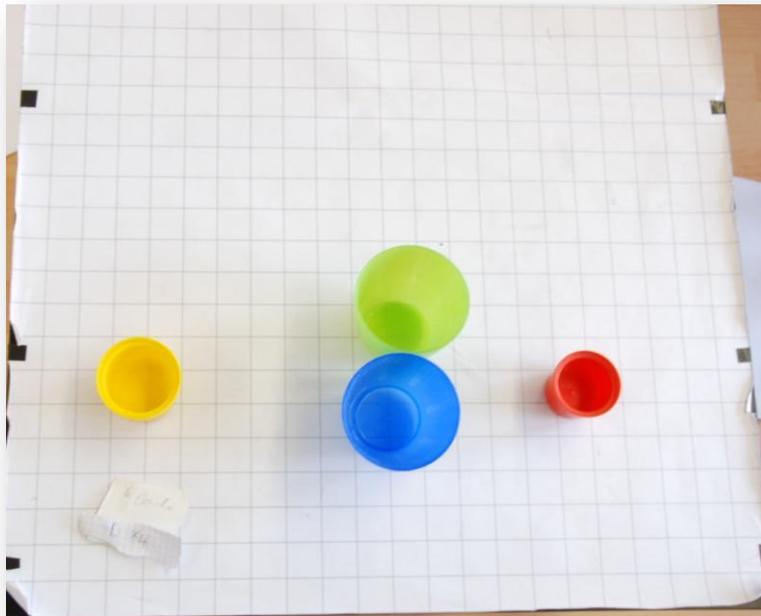


Abbildung 7: 1. Versuch mit vier Bechern

Dieser Versuch (Abbildung 7) ist genau spiegelverkehrt zur zweiten Demonstration. Es werden beide kleine Becher nicht richtig gegriffen. Der erste Griff ging rechts neben den gelben Becher und der zweite Griff rechts neben den roten Becher. Nach dem fehlgeschlagenen Griff wurde in beiden Fällen über dem richtigen Ziel das „nichtgegriffene Objekt“ fallen gelassen. Dieser Versuch spiegelt die Mehrzahl der durchgeführten Versuche wieder.

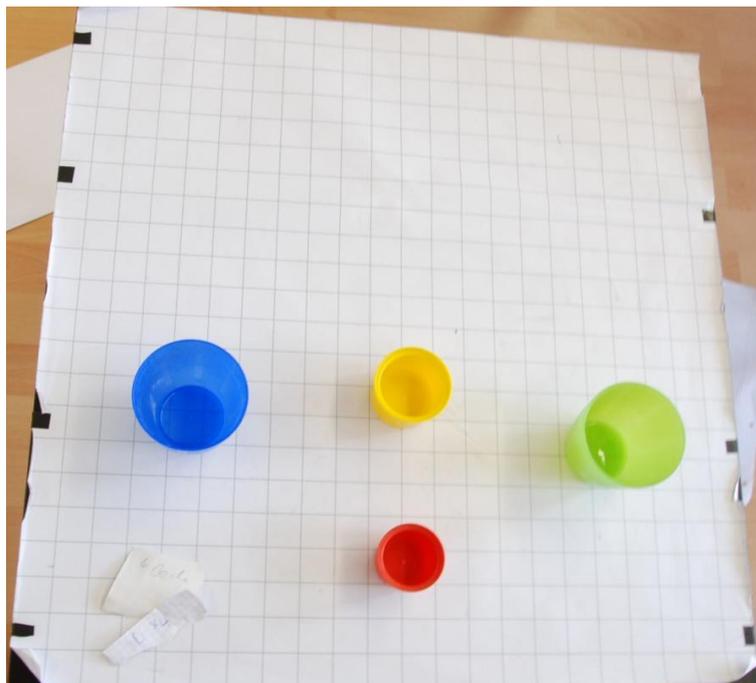


Abbildung 8: 2. Versuch mit vier Bechern

Im Vergleich zum vorherigen Versuch wird diesmal (Abbildung 8) der gelbe Becher gegriffen und nur knapp oberhalb des roten Bechers gegriffen. Beide Objekte würden aber in ihre Zielbecher geworfen werden. Die wenigsten Versuche endeten mit einem Ergebnis wie diesem, dass zumindest ein Becher gegriffen wurde.

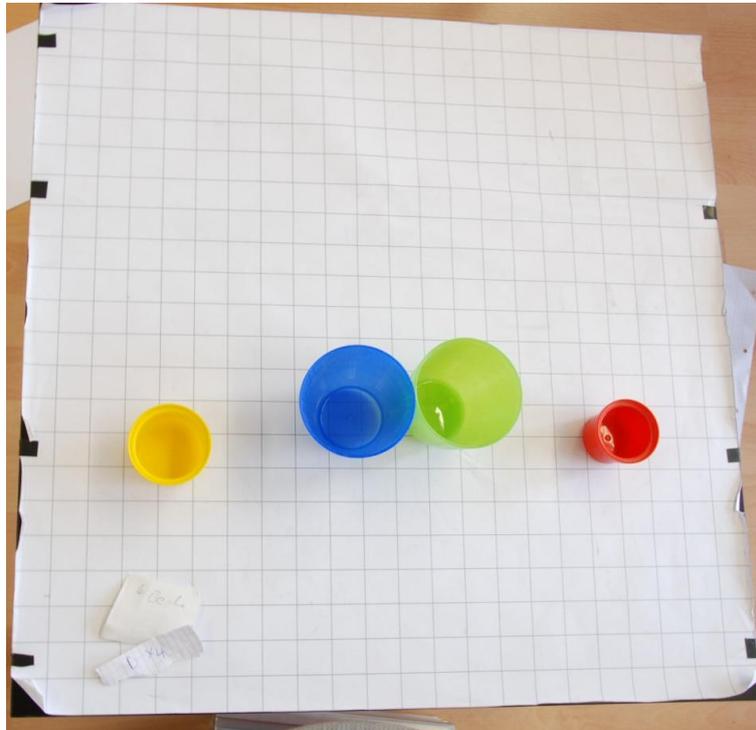


Abbildung 9: 3. Versuch mit vier Bechern

Dieser Versuch (Abbildung 9) ist der schlechteste, aber auch der am seltensten auftretende, der drei exemplarisch zusammengestellten Versuche. Es wird kein Becher an der richtigen Stelle gegriffen. Dazu wird zu Beginn der grüne Becher umgeworfen und der blaue Becher von seiner Stelle geschoben. Beide Becher wurden also nicht gegriffen und durch die Veränderung der Position der großen Becher werden diese auch nicht getroffen.

Das schlechte Abschneiden, es wurde nie die komplette Aufgabe korrekt durchgeführt, ist wohl auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Zum Einen werden die Demonstrationen ungenauer und es ist dem Lehrer nahezu unmöglich, mehrere Demonstrationen ähnlich genau durchzuführen, damit sie so gut abstrahiert werden können, um eine saubere Trajektorie für den Arm zu lernen.

Der nächste Faktor ist die Problematik, dass nicht jede Konstellation in der die Becher stehen können durch die Demonstrationen abgedeckt werden können. So kann es immer wieder vorkommen, dass ein Becher im Weg steht. Dies kann auch nicht durch eine höhere Anzahl von Demonstrationen abgefangen werden.

Je länger ein Task ist, desto ungenauer sind die Zeitpunkte an denen ein Becher gegriffen wird. Dies bedeutet auch, dass die Constraints zum Lernen der Aufgabe nicht immer genau zueinander passen. Die Bewegungen werden dadurch ungenauer und die Becher werden nicht gegriffen, oder der Arm fährt tiefer als gewollt über die Becher.

Alles zusammen führt dazu, dass die Aufgabe misslingt oder nur für seltene Fälle ausgeführt werden kann. Es ist empfehlenswerter, die Aufgabe in kleinerer Subtakt auszuführen. Dies hat zum Einen den Vorteil, dass die Bewegungen genauer werden und zum Anderen kann auf Veränderungen in der Umgebung, in der die Aufgabe ausgeführt wird, reagiert werden.

6.3. Versuche ohne Becher

Nach den Versuchen wurden noch einige andere motorische Aufgaben getestet, um auch zu überprüfen wie der Demonstrator abseits von Greif- und Platzierungsaufgaben zurechtkommt.

Dabei kam es oft zu Problemen. Exemplarisch sind nun nachfolgend drei dieser Versuche, welche die Probleme gut veranschaulichen, aufgeführt.

I. Xylophon

Der Demonstrator soll mit einem Kleinkinderxylophon spielen. Die einzelnen Klangstäbe haben dabei verschiedene Farben. Es soll nun einfach eine vorgegebene Melodie nachgespielt werden.

Aufbau

Das Xylophon wird vor dem Demonstrator auf den Tisch gestellt. Die Farben, welche ähnlich zu anderen sind, werden mit schwarzem Klebeband abgeklebt, so dass es zu keinen Kollisionen mit anderen Farben kommt (Abbildung 10). Der Schlägel, mit dem der Demonstrator auf die Klangstäbe schlägt, wird am Greifer befestigt oder ihm vor dem Versuch in die Hand gegeben.



Abbildung 10: Kinderxylophon, mit Klebeband maskiert

Lernen

Hat der Demonstrator den Schlägel am Greifer befestigt wird einfach die Abfolge, welche Klangstäbe er nacheinander anschlagen soll, vorgeführt.

Wird der Schlägel am Anfang des Versuchs erst übergeben, wird zuerst der Greifer in der Ausgangsposition geschlossen. Anschließend wird die Abfolge vorgeführt.

Erwartung

Nachdem in den Becherversuchen gezeigt wurde, dass der Demonstrator die Farben auseinanderhalten und lokalisieren kann, sollte es keine weiteren Probleme geben. Die Aufgaben sollten wie gelernt durchgeführt werden.

Ergebnis

Was zuerst festzuhalten ist, ist dass es sehr schwer ist, dem Demonstrator den Schlägel zu geben. Ist dieser am Greifer befestigt, kann es zu Problemen im Bewegungsablauf kommen. Ist der Schlägel zu weit vom Greifer abstehend kann der hintere/obere Aufbau gestreift werden. Ist er zu kurz kann es passieren, dass der Greifer mit dem Schlägel das Xylophon berührt. Dies ist aber abhängig davon, wo das Xylophon auf dem Tisch steht.

Auch beim Übergeben gab es einige Probleme. So war am Anfang der Schlägel vom Umfang zu dünn. Dies wurde mit Klebeband und einem Taschentuch, welches um den Schlägel gewickelt wurde korrigiert. Trotzdem kam es immer wieder zu Problemen, da der Greifer sich nicht weit genug geschlossen hat oder sich das ganze während der Versuche gelockert hat und der Schlägel dann nicht mehr im Richtigen Winkel stand um die Klangstäbe zu treffen.

Das nächste auffällige war, dass egal wie stark beim Lernen auf die Klangstäbe geschlagen wurde, bei der Ausführung der Aufgabe dies langsamer von statten ging und somit keine (lauten) Klänge ertönten.

Auch kam es sehr oft vor, dass der Schlägel nicht einmal auf die Klangstäbe geschlagen wurde. Der Arm schlug nur 1-2 cm über die Klangstäbe. Dies erfüllt natürlich die vorgegebene Aufgabe nicht und es ist auch eine deutliche Abweichung zum Lernen, bei dem die Klangstäbe immer getroffen wurden.

Je länger die Aufgabe wurde, desto ungenauer wurden die Bewegungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sehr oft die gleichen Bewegungen gemacht wurden. Dies lässt die Constraints beim Lernen miteinander verschwimmen. Die vielen kleinen Bewegungen werden dadurch zu einer großen oder sie verschieben sich so, dass statt beispielsweise sechs Schlägen nur drei erkannt werden. Hier ist es auch wieder sinnvoll die Aufgabe zu zerlegen und gegebenenfalls mehrfach hintereinander aufzuführen.

II. Wischen

Eine weitere klassische Aufgabe für einen Serviceroboter, neben dem Aufräumen, ist das Saubermachen. Als bestes Beispiel dient dabei ein Staubsaugroboter. In dieser Aufgabe soll nun der Demonstrator einen Fleck vom Tisch wischen.

Aufbau

Der Fleck wird in dieser Aufgabe durch ein Stück Stoff (farbiger Lappen) simuliert. Der Demonstrator hat einen weiteren Lappen, mit dem er den auf dem Tisch befindlichen „weg wischen“ soll. Zur besseren Überprüfung werden Markierungen auf dem Tisch aufgeklebt. Diese dienen zur Kontrolle, ob der Demonstrator noch in den Grenzen des Flecks wischt..

Lernen

Demonstriert werden nun mehrere Wischbewegungen in den Grenzen des Flecks. Dabei soll möglichst jede Stelle einmal berührt werden. Dies alleine stellt schon eine Herausforderung beim Demonstrieren dar und kann das hundertprozentige Saubermachen nicht garantieren.

Erwartung

Der Demonstrator wischt über den Fleck, wird aber nicht alles erwischen.

Ergebnis

Neben den Problemen beim Demonstrieren der Aufgabe, ergeben sich noch weitere Probleme. Teilweise drückt der Arm zu sehr auf den Tisch, was ein Notaus zur Folge hat, oder er erreicht die Tischplatte nicht ganz, sodass der Lappen, mit dem sauber gemacht werden soll, zwar den Tisch erreicht, aber nicht genug Druck ausübt um den „Flecklappen“ zu verschieben.

Auch wird mit öfterem Ausführen der Wischbewegung beim Lernen ein Furcheln bei der Wiedergabe der Aufgabe größer. Dies liegt wohl daran, dass die gaußschen Prozesse Probleme haben bei der wiederholten Ausführung von Bewegungen. Dies ist, wie beim Xylophonspielen bereits beschreiben, auf das Verschwimmen der Constraints zurückzuführen.

Ein weiteres Problem ist, dass verschiedene Flecken eine unterschiedliche Größe und Form haben. Diese kann der Demonstrator aber nicht genau bestimmen, da im Algorithmus der Mittelpunkt aus einem Farbfleck bestimmt wird. Die Grenzen spielen keine Rolle bei der Objekterkennung.

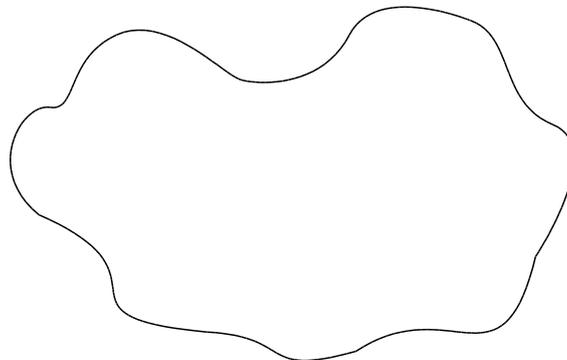


Abbildung 11: Beispiel für einen Fleck

Es würde also nun der größte farbige Fleck auf dem Tisch gesucht und über diesen gewischt werden (Abbildung 11). Dadurch wird der Fleck aber unter Umständen nicht völlig weggewischt sondern geteilt (Abbildung 12). Bei der nächsten Durchführung der Aufgabe wird nun wieder der größte Fleck erkannt und weggewischt. Der große Task würde also in viele kleine zerlegt werden. Dabei kann es aber vorkommen, dass Reste auf dem Tisch bleiben, weil sie zu klein sind.

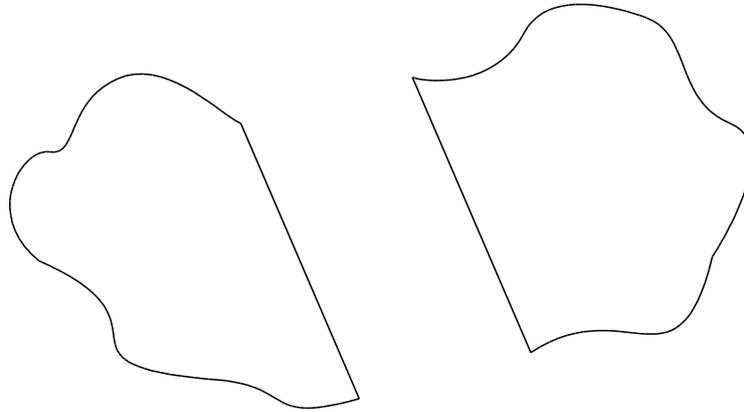


Abbildung 12: Beispiel für einen nicht ganz weggewischten Fleck

III. Malen

Die Aufgabe „Malen“ oder „Schreiben“ ist auch eine motorische Eigenschaft, welche bereits kleine Kinder lernen. Der Demonstrator soll auf einem farbigen Blatt eine vorher gezeigte Figur malen. Dazu werden verschiedene Rahmenbedingungen gestellt.

Aufbau

Zum Malen wurden zunächst zwei verschiedene Malwerkzeuge verwendet. Ein Pinsel, da der es verzeiht wenn zu stark oder zu schwach aufgedrückt wird und ein Wachsmalstift, dieser ist sehr stabil und gut zu greifen.

Für den Pinsel wurde ein trockenes Wasserfarbentöpfchen auf den Tisch gestellt über den zunächst Farbe „aufgenommen“ werden sollte.

Wie beim Versuch mit dem Xylophon wurden beide Malwerkzeuge dem Demonstrator mal übergeben, oder direkt am Greifer befestigt.

Als Zeichenoberfläche wurde ein gelber Post-it , der farbige (Fleck)Lappen aus dem Wischen-Versuch, und ein blaues Buch mit einem roten Quadrat getestet.

Lernen

Sofern das Malwerkzeug nicht am Greifer befestigt war, musste dieser das Malwerkzeug zunächst greifen. Anschließend wurde auf der Malunterlage, welche an verschiedenen Positionen auf dem Tisch platziert war, ein X, ein O oder ein Quadrat gezeichnet.

Erwartung

Es ist mit Problemen beim Greifen des Werkzeugs zu rechnen. Auch werden die zu malenden Muster sicher unsauber sein, es kann sogar vorkommen, dass teilweise Striche fehlen.

Ergebnis

Wie zu erwarten war, gibt es Probleme beim Greifen. Dadurch kann es passieren, dass das Werkzeug sich im Greifer dreht, durchrutscht oder gar nicht gegriffen wird. In allen drei Fällen kann nicht gemalt werden.

Es kommt vor, dass der Arm zu sehr auf die Oberfläche drückt. Dabei breiten sich die Pinselhaare nach allen Seiten aus. Der Wachsmalstift verkantet und dreht sich im Greifer oder wird nach oben zurück geschoben. In beiden Fällen wird kein sauberer Strich gemalt, oder die Figur ist eine ganz andere wie die Gelernte.

Desweiteren gibt es Probleme bei der Position an der die Malunterlage liegt. Es ist nur auf einem bestimmten Bereich des Tisches möglich, sauber und exakt zu malen. Dies liegt an der Kinematik des Katana-Arms. Er erreicht nicht alle Punkte auf dem Tisch und zum Malen auf dem Tisch muss er in einem bestimmten Winkel das Malwerkzeug aufsetzen

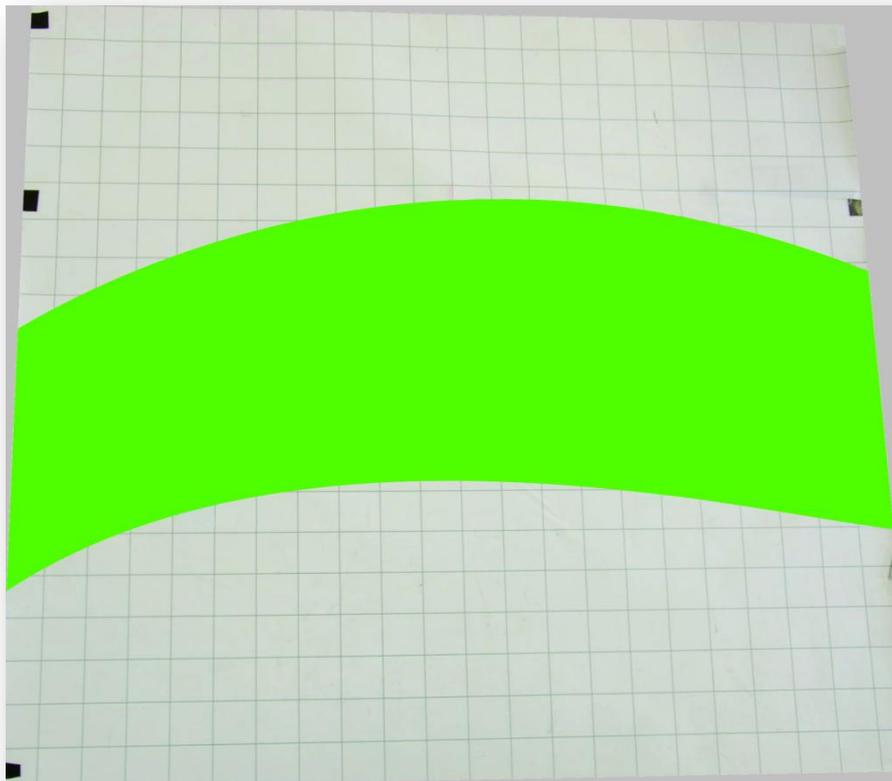


Abbildung 13: Bereich in dem gezeichnet werden kann

Es kann nur in dem grün markierten Bereich (siehe Abbildung 13) gemalt werden. Dieser verschiebt sich aber zur Position wie der Demonstrator zum Tisch steht.

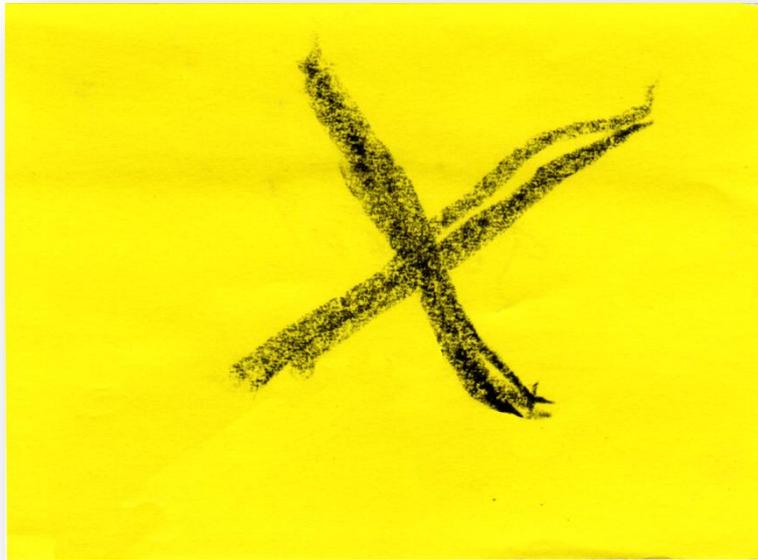


Abbildung 14: X Malen - Lernen

Das Nachzeichnen des Quadrats auf dem Buch geht so lang in dem oben beschriebenen Bereich ist relativ gut. Der Kreis kann so gut wie gar nicht wiedergegeben werden. Das X malen geht aber am besten. Die Ergebnisse sind auch in den Abbildung 14 (Lernen), Abbildung 15 und Abbildung 16 (Ergebnis) dargestellt.



Abbildung 15: X Malen – Ergebnis

Bei diesen Versuchen wurde der Wachsmalstift am Greifer fixiert. Die Aufgabe wurde dreimal an unterschiedlichen Positionen auf dem Tisch demonstriert. Der Unterschied zwischen Abbildung 15

und Abbildung 16 resultiert aus einer veränderten Konfigurationsdatei und unterschiedlichen Lichtbedingungen.



Abbildung 16: X Malen – Ergebnis

Es ist im Prinzip möglich mit dem Demonstrator zu malen oder zeichnen. Aber der Aufwand und die Vorbedingungen, die durch die Kinematik und vor allem den Greifer vorliegen, machen diese Aufgabe sehr schwer. Desweiteren ist es nicht leicht, die Demonstrationen so zu wiederholen, dass sich eine ähnliche Abbildung/Trajektorie ergibt, welche gut gelernt und wiedergegeben werden kann. Dies bedarf alles viel Übung und Zeit.

6.4. Weitere gewonnene Erkenntnisse

Neben den Versuchen wurden noch einige andere Erkenntnisse gewonnen, welche nachfolgend kurz notiert werden.

Zeitfaktor

Wird am Anfang einer Lerndemonstration der Arm für längere Zeit in der Ausgangsposition gehalten, wird die gelernte Trajektorie verschoben. Der Arm greift dann zu flach nach dem Objekt.

Lage des Objekts

Die Lage des Objekts wird nicht berücksichtigt. Dabei ist dies bei verschiedenen Objekten von Bedeutung, ob sie getroffen oder gegriffen werden.

Greifen aus unterschiedlichen Winkeln

Wird ein Objekt während des Lernens mal von oben mal von der Seite gegriffen, wird über die Demonstrationen gemittelt. Das heißt, dass später, sofern dies bei der Position des Objekts auf dem Tisch möglich ist, von schräg oben gegriffen wird.

Kollisionen

Es werden keine Kollisionen mit Gegenständen beachtet. Es kann vorkommen, dass sich eine Konstellation bildet, welche es bei den Demonstrationen nicht gab, dass Objekte sich in der Trajektorie des Arms stehen. Diese werden dann einfach verschoben oder umgeworfen. Wird später mit diesen interagiert, befinden sich diese nicht mehr an der richtigen Position. Dies kann umgangen werden, indem zwischendurch die Szene noch einmal betrachtet wird. Alternativ kann der große komplexe Task in mehrere kleinere zerlegt werden. Dies hat zur Folge, dass vor jedem Schritt erneut die Szene betrachtet wird und die Objekte lokalisiert werden.

Objekte in der Konfiguration

Je weniger Objekte dem Demonstrator bekannt sind, also Objekte in der Konfigurationsdatei stehen, desto einfacher kann eine Aufgabe gelernt werden. Dies hat zum Einen Auswirkungen darauf, dass keine Phantomobjekte in der Szene durch schlechte Lichtverhältnisse erkannt werden, zum Anderen werden in der Szene vorkommende Farben nicht als Objekte erkannt, mit denen möglicherweise interagiert wird.

Objekte

Es kommt sehr auf die Objekte an, ob eine Aufgabe erfolgreich ausgeführt werden kann. Die Objekterkennung erkennt selbst kleine Objekte. Ebenso wird auch eine Trajektorie gefunden um den Greifer an die Position dieser Objekte zu bringen. Aber es können viele Objekte nicht aufgenommen werden, weil diese zu flach, klein, dünn oder unförmig sind. Dabei spielt der weiter oben bereits erwähnte Punkt (Lage des Objekts) eine Rolle. Der Demonstrator kann beispielsweise Objekte auch nicht aufnehmen weil sie in einer bestimmten Ausrichtung auf dem Tisch liegen.

Position auf dem Tisch

Vor allem an den Rändern des Aktionsbereiches des Katana-Arms kann es vorkommen, dass wenige Millimeter darüber entscheiden, ob ein Objekt aufgenommen wird oder nicht. Es wird teilweise leicht zu hoch oder zu kurz gegriffen. Dies kann mehrere Fehlerquellen haben. Dabei sollte man die

Fehlerkorrektur, die Umrechnung von Kamera in echte Koordinaten und die Berechnung der Trajektorie in Betracht ziehen. Woran es genau liegt konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden.

Wenn die Objekte zu nahe am Demonstrator sind kann es vorkommen, dass der Demonstrator zu tief greift und mit dem Greifer über den Tisch scharrt oder zu viel Druck auf den Tisch ausübt. Dies hat eine automatische Abschaltung des Arms zur Folge. Die Objekte sollten also immer in der Mitte des Aktionsbereiches platziert werden.

Austauschen von Objekten

Wird ein Objekt trotz guter Demonstrationen nicht richtig gegriffen kann ein kleiner Trick helfen. Das Objekt wird durch ein minimal kleineres, gleichfarbiges Objekt ersetzt. Wird beim Lernen dieses verwendet, wird bei der Ausführung das richtige Objekt besser gegriffen. Dabei ist aber der Größenunterschied wichtig. Ist das „Lernobjekt“ zu klein, greift der Demonstrator zu fest zu und schaltet sich ab

7. Ergebnisse aus den Versuchen

Sprachsteuerung verbessern

Ein Problem ist die Sprachsteuerung. Zum Ersten ist es meist nicht ersichtlich wieso ein Fehler auftritt. Dies ist vor allem in den Mittagsstunden deutlich geworden, als manchmal der Boden als Objekt außerhalb der Reichweite des Arms erkannt wurde. In den Tests kam es bei längerer Benutzung des Demonstrators auch des Öfteren vor, dass die Stimme der Sprachsteuerung einfach weg war. Die Befehle wurden weiter ausgeführt und der Ablauf auch weiter durchgeführt, es fehlte einzig die akustische Ausgabe. Es ist dabei schwer ohne die Ausgaben auf dem angeschlossenen Bildschirm dem Ablauf zu folgen und die Zeiten für Demonstration und das Empfangen von Befehlen durch den Demonstrator richtig zu erfassen.

Objekterkennung verbessern

Die Probleme bei der Objekterkennung sind im ZAFH-Team ausreichend bekannt und werden deswegen hier nur im Zuge der Vollständigkeit angesprochen. Probleme bereiten vor allem Objekte mit ähnlichen Farben, die Lichtverhältnisse und Erkennung von Objekten welche keine sind. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass der braune Boden als orangefarbener Becher erkannt wird.

Sonstige Verbesserungen

- Rückmeldung über erkannte Objekte
Es erleichtert das vermitteln der Aufgabe, wenn bekannt ist wieviele Objekte in der Szene erkannt wurden.
- Möglichkeit einzelne Teaching Durchläufe zu löschen
Es kommt immer wieder vor, dass bei komplexeren Aufgaben einzelne Durchläufe schlampig oder falsch gezeigt wurden. Diese verfälschen die Lernfunktion und damit das Ergebnis. Der Lehrer kann dies meist schon nach Vollendung eines Durchlaufs erkennen. Solche schlechten Durchläufe sollten gelöscht werden können ohne die vorherigen Durchläufe neu durchführen zu müssen.
- Möglichkeit um Aufgaben zu verketteten
Es ist einfacher kurze leichtere Aufgaben zu lernen. Es sollte eine einfache Möglichkeit geschaffen werden um Tasks hintereinander, ohne weitere Einwirkung des Benutzers, auszuführen.
- Überprüfen des Aufbaus zwischen den einzelnen Aufgaben oder während einer Aufgabe
Die Szene kann sich während eine Aufgabe durchgeführt wird verändern. So können Objekte umgeworfen oder verschoben worden sein. Es wäre sinnvoll, wenn bei solchen Tasks eine Funktion geschaffen werden kann, um die Szene während des Ablaufs noch einmal erneut zu betrachten um auf Veränderungen einwirken zu können.

Fazit

Die Versuche haben eines doch relativ deutlich gezeigt. Die Hardware bestimmt doch noch einen Großteil der Versuche. Es ist nicht wirklich einfach verschiedene Testsznarien zu erstellen um den LfD-Algorithmus zu testen. Leider macht öfters die Greifer oder die Objekterkennung und die Lichteinflüsse dem ganzen schnell ein Ende.

Es wird meist viel mehr Zeit in die Fehlersuche und die Änderung der Versuchsbedingungen, dass diese nahezu optimal sind verwendet, als in die eigentlichen Versuche selbst.

Die Tests, welche erfolgreich durchgeführt werden konnten, haben gezeigt, dass es große Probleme bei langen und komplexen Tasks gibt. Desweiteren werden auch sich wiederholende Aktion nicht richtig abstrahiert. Für einfache Aufgaben ist LfD sicher eine einfache und schnelle Methode um Aufgaben einzulernen. Sobald aber irgendwelche Probleme auftreten, kleinere Bewegungen bei einer Aufgabe sich wiederholen oder die Aufgabe zu komplex oder lang wird, scheitert das LfD in der implementierten Version.

8. Anhang

Einfügen neuer Gegenstände

Nachfolgend wird kurz beschrieben, wie neue Objekte hinzugefügt werden. Dies war in dieser Arbeit notwendig, da nicht genug Tasks mit den vorhandenen Bechern, dem Würfel und der Kaffeemaschine gemacht werden konnten. Bei dieser Beschreibung wird vorausgesetzt, dass sich der Katana-Arm in der "Kameraposition" befindet welche im Wiki beschreiben ist (kni_help).

Zuerst muss in das Hauptverzeichnis der Object Detection gewechselt werden.

```
cd SOFTWARE/object_detection_conf/object_detect2
```

Im Verzeichnis conf liegt die Datei object.xml. In dieser Datei werden die Werte (Farbe, Korrektur, ID) für die verwendeten Objekte gespeichert. Es reicht dort einfach ein Objekt zu überschreiben. Dies wird nun beispielhaft für das Objekt mit der ID 3 gemacht. Dabei wird der Anzeige Name <TAG...> zunächst verändert und die Fehlerkorrekturwerte für X und Y jeweils auf 0,0,1,0 gesetzt. Es kann nun überprüft werden, ob das alte Objekt nun mit dem neuen Displaynamen bereits angezeigt wird. Dies wird mit Hilfe von obj_det gemacht (./obj_det).

Nun können mit Hilfe von ./config die Farbwerte (hue_min, hue_max und saturation) so eingestellt werden, dass das Objekt sauber erkannt wird, und keine anderen Objekte, welche an dem Versuch beteiligt sind, mit erkannt werden.

Ist dieser Schritt geschafft, geht es nun an die Fehlerkorrektur. Diese ist notwendig, da die Kamera immer nur ein flaches Bild der Szene sieht. Daraus resultiert ein Fehler in der Position bei dreidimensionalen Objekten. Diese Fehlerkorrektur wird für jedes Objekt fest eingespeichert. Würde man also ein Objekt mit einem Objekt der gleichen Farbe, aber anderer Form, austauschen, würde die tatsächliche Position des Objekts falsch berechnet werden.

Nun wird ein flaches Stück Papier auf den Tisch gelegt und mit Hilfe von ./obj_det die Position ausgelesen und notiert. Anschließend wird das neue Objekt an die gleiche Position gestellt und die Position ausgelesen und notiert. Dies wird an verschiedenen Stellen auf den Tisch ca. 4-6 mal wiederholt.

Die Werte werden anschließend in ein Octave-Script von Richard Cubek eingetragen, welches die Koeffizienten für die Fehlerkorrektur berechnet. Diese werden nun in der conf/object.xml eingetragen.

Abbildung 1: Objekte auf gleicher Höhe	8
Abbildung 2: Becher für die Versuche	12
Abbildung 3: Erste Demonstration	17
Abbildung 4: Zweite Demonstration	17
Abbildung 5: Dritte Demonstration	17
Abbildung 6: Vierte Demonstration	17
Abbildung 7: 1. Versuch mit vier Bechern	18
Abbildung 8: 2. Versuch mit vier Bechern	18
Abbildung 9: 3. Versuch mit vier Bechern	19
Abbildung 10: Kinderxylophon, mit Klebeband maskiert	20
Abbildung 11: Beispiel für einen Fleck	22
Abbildung 12: Beispiel für einen nicht ganz weggewischten Fleck.....	23
Abbildung 13: Bereich in dem gezeichnet werden kann	24
Abbildung 14: X Malen - Lernen	25
Abbildung 15: X Malen – Ergebnis.....	25
Abbildung 16: X Malen – Ergebnis.....	26