

Fachbereich Informatik und Mathematik (12)

Institut für Informatik

Seminar “Ausgewählte Themen adaptiver Systeme”

SS 2011

**Communication and knowledge sharing in human–robot
interaction and learning from demonstration**



Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	LERNMETHODEN FÜR MENSCHEN UND ROBOTER	2
2.1	Imitation Learning	2
2.2	Learning from Demonstration	2
3	PRAXISSTUDIE	3
3.1	Ansatz und Aufbau des Testszenarios	3
3.1.1	Graphical Interface	4
3.1.2	Auditive Signale	6
3.2	Studie 1 – Visuelles Feedback	6
3.2.1	Ergebnisse der Studie 1	8
3.3	Studie 2	8
3.3.2	Ergebnisse der Studie 2	10
4	DISKUSSION UND FAZIT	11
	LITERATURVERZEICHNIS	12

1 Einleitung

In naher Zukunft werden mit hoher Wahrscheinlichkeit kostengünstige Roboter viele der Aufgaben übernehmen oder zumindest dabei assistieren, die Menschen derzeit selbständig durchführen müssen. Roboter für den Endkundenmarkt haben das Potential ein breites Aufgabenspektrum zu übernehmen, was dem Menschen von großem Nutzen sein kann. Dabei ist eine der größten Herausforderungen, einen effizienten Weg zu finden, um Robotern das Wissen zu vermitteln, welches sie benötigen, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen. Derzeit werden Roboter manuell programmiert, um simple Aufgaben durchzuführen. Bei steigender Komplexität erweist sich diese Methode jedoch als sehr aufwendig, zeitraubend und ineffizient, vor allem wenn die Aufgabenstellung sehr anspruchsvoll ist und es viele unbekannte Variablen gibt. Vorführungen stellen hier eine interessante Möglichkeit dar, um einen Roboter effizient für komplexe Aufgaben zu schulen und Wissen zu vermitteln. Dadurch entfällt die umfangreiche Programmierarbeit und die Ergebnisse fallen oftmals sogar besser aus. Aktuell verfügen Roboter über begrenzte Funktionalitäten und werden für simple Bereiche, wie zum Beispiel als Spielzeug verwendet.

Auf dem Weg zu einer hochentwickelten Lösung für Verbraucher, muss der Roboter komplexe Aufgabenstellung selbständig durchführen können. Ein günstiger Anschaffungspreis, sowie die Fähigkeit sich adaptiv auf verändernde Situationen anzupassen, werden die Akzeptanz von Robotern auf dem Massenmarkt fördern. Diese Seminararbeit erläutert Ansätze und Methoden aus der aktuellen Forschung, die es ermöglichen einem Roboter Wissen auf der Basis von Vorführungen zu vermitteln. Im ersten Kapitel werden mögliche Lernmethoden für Roboter beschrieben. Darauf folgt im zweiten Kapitel die detaillierte Vorstellung von zwei Studien, in denen erste Versuche durchgeführt wurden um Roboter mit demonstrativen Lernmethoden zu unterrichten. Die Diskussion der Ergebnisse sowie eine eigene kritische Stellungnahme schließen diese Arbeit ab.

Der Seminararbeit liegt der Artikel „Communication and knowledge sharing in human - robot interaction and learning from demonstration“ (Nathan Koenig, Leila Takayama, Maja Mataric 2010)¹ zugrunde.

¹ Koenig, Nathan; Takayama, Leila; Mataric, Maja (2010): Communication and knowledge sharing in human-robot interaction and learning from demonstration. In: Neural Networks 23 (2010) p. 1104 - 1112

2 Lernmethoden für Menschen und Roboter

2.1 Imitation Learning

Grundsätzlich kann die Programmierung eines Roboters als der Transfer von Wissen von einer Person zu einer Maschine betrachtet werden. Um diesen Transfer effizient durchzuführen, müssen alternative Lösungsansätze entwickelt werden. Eine Möglichkeit stellt das sogenannte Imitation Learning dar, welches darauf basiert, dass eine Maschine einen Menschen beobachtet und sich dessen Aktionen einprägen und umsetzen kann. Dieses Lernen ist mit dem Lernen von Menschen und Primaten identisch: Menschen verwenden in ihrem Gehirn spezielle Neuronen zum Spiegeln von Aktionen anderer Menschen. Dieser Ansatz wurde in der Robotik als Anstoß zur Entwicklung einer neuen Methode genommen, wie man Robotern Wissen vermitteln kann. Allerdings lässt sich diese mit der aktuell verfügbaren Technologie derzeit noch nicht umsetzen. Trotzdem existieren erste Ansätze, zur Verwendung auf Imitation Learning basierenden Methoden um Robotern Wissen weiterzugeben.

2.2 Learning from Demonstration

Ein verwandter Ansatz zum Imitation Learning ist "Learning from Demonstration", welches das Lernen durch eine Vorführung eines Lehrers beschreibt, der die Intention verfolgt Wissen weiterzugeben. Dies erfordert allerdings eine soziale Interaktion zwischen dem Lehrer und Schüler, da das Lehren einen wechselseitigen Prozess in der Kommunikation zwischen beiden Parteien erfordert: Der Lehrer muss sich in die Lage seines Schülers hineinversetzen, um die Aufnahmefähigkeit seines Schülers abzuschätzen und daraus resultierend Lehrstrategien entwickeln, die für den Schüler geeignet sind. Die Aufgabe des Schülers ist dem Lehrer, während des Lernprozesses stetig Rückmeldungen über den aktuellen Lernfortschritt zu geben. In Bezug auf die Mensch Roboter Interaktion, wird von einem Roboter vorausgesetzt, dass dieser in der Lage ist Anweisungen eines Lehrers zu empfangen und diesem das nötige Feedback zu kommunizieren. Dies erfordert selbstverständlich eine genaue Vorführung des Lehrers. Diese Fähigkeiten beziehungsweise sozialen Interaktionen sind dem Menschen von Natur aus gegeben und werden jahrelang trainiert.

Roboter haben im Gegensatz zum Menschen nicht gelernt in sozialen Umgebungen zu agieren und besitzen daher nicht die Fähigkeit sich in Personen hineinzuversetzen, Gefühle und Bedürfnisse zu erkennen, sowie Erwartungen und Meinungen zu antizipieren. Dies wird in der Psychologie auch als Theory of Mind bezeichnet. Es existieren allerdings Frameworks die erste Schritte einleiten, um für einen Roboter, über Gesichts- und Augenerkennung sowie die Unterscheidung von lebenden und leblosen Objekten, das Konzept der Theory of Mind zu implementieren.

3 Praxisstudie

3.1 Ansatz und Aufbau des Testszenarios

Zur Überprüfung von verschiedenen Methoden, um einen “Learning from Demonstration“ Ansatz für Roboter umzusetzen, wurden zwei unabhängige Studien durchgeführt. Diese sollen in den nächsten Kapiteln dieser Arbeit ausführlich erläutert sowie die jeweiligen Ergebnisse dargestellt werden. Dem vorrausgehend erfolgt eine Beschreibung des Aufbaus der Studien. Bei den Studien wurde gemessen, welche Effekte visuelle und auditive Feedbacks von Robotern, auf den Lernerfolg haben.

In der ersten Studie konnte eine Hälfte der Lehrer (beziehungsweise Testpersonen) den Roboter beobachten und die andere Hälfte hatte keinen visuellen Kontakt. Bei der zweiten Studie bekamen die Lehrer ein auditives Feedback vom Roboter. Die erste Aufgabe die die Lehrer dem Roboter beibringen sollten, war eine auf drei Türme reduzierte Version von “Die Türme von Hanoi“. Die zweite Aufgabe war Kitting, ein Box Sorting Verfahren. Über eine grafische Benutzeroberfläche (GUI - Graphical User Interface) konnten die Lehrer Instruktionen an den Roboter senden, zudem stellte das GUI einen live-Video-Stream aus der Perspektive des Roboters dar.

Textmeldungen beschrieben den aktuellen Status, in dem sich der Roboter befindet. Über eine Benutzeroberfläche konnte man intuitiv, dank leichter Bedienung, einfache Kommandos an den Roboter senden und definieren auf welche Objekte diese angewendet werden sollen. So konnte man zum Beispiel den Roboter anweisen einen bestimmten Gegenstand zu greifen und diesen dann an einem bestimmten Ort wieder ablegen. Allerdings hing der Lernerfolg in beiden Studien maßgeblich davon ab, wieviel Engagement, Anzahl an Anweisungen und welchen zeitlichen Umfang die Vorführungen des Lehrers hatten.

Der verwendete Roboter war ein PR2 Modell, welches in Abbildung 1 dargestellt ist.



Abbildung 1: PR2 Roboter

Der PR2 besitzt unter anderem folgende Fähigkeiten:

- Fortbewegung auch in unaufgeräumten Räumlichkeiten
- Interaktion mit Objekten mittels seiner beiden Roboterarme
- Messung der Distanzen durch einen integrierten Laser
- Stereo-Kamera zum Aufnehmen von Videos aus der Sicht des Roboters

Auditive Anweisungen wurden über spezielle Geräusche gegeben, die sich in der Tonfrequenz oder dem Tonfall unterschieden. Diese Ausstattung erfüllte die Anforderungen für die Aufgabenstellungen der Studie. Darüberhinausgehende Eigenschaften, wie zum Beispiel ein aufwändiges Gesichtsmodell, welches menschliche Gesichtsausdrücke nachahmen kann, waren nicht erforderlich.

3.1.1 Graphical Interface

Da es kein gemeinsames natürliches Medium gibt, über das Mensch und Roboter kommunizieren können, wurde eine grafische Oberfläche als Medium verwendet, über das Informationen vom und zum Roboter gesendet werden können. Die für den Roboter entwickelte graphische Oberfläche besteht aus fünf webbasierten Widgets. Jedes Widget stellt eine eigenständige, in sich geschlossene Darstellung von Funktionen mit klaren Grenzen und einem aussagekräftigen Titel dar. Dabei wurde der Anteil von Text und Bedienelementen auf ein Minimum reduziert, um es einfach und benutzerfreundlich zu gestalten. Als Bedienelement wurde ein Nokia N810 Internet-Tablet (Abbildung 2) verwendet, da es ein ausreichend großes Display besitzt, um die erforderlichen Informationen darzustellen und sich der Lehrer damit frei bewegen kann.



Abbildung 2: Nokia N810 Internet-Tablet

Im nun Folgenden wird das GUI anhand der Abbildung 3 beschrieben:



Abbildung 3: Graphical User Interface

Über das Action Selector Widget hat der Lehrer die Möglichkeit den Roboter steuern. Das Widget beinhaltet zwei Listen:

Die linke Liste enthält alle verfügbaren Aktionen, die der Roboter ohne Anleitung durch den Lehrer ausüben kann. Die verfügbaren Aktionen setzen sich aus den folgenden selbsterklärenden Elementen zusammen:

- Move-to
- Pick-up
- Put-down

Demnach bewegt sich die Greifzange des Roboters bei „Move-To“ auf ein Objekt zu und mit „Pick-up“ greift und hebt er das Objekt auf. Die rechte Liste enthält alle Objekte und Elemente in der Umgebung, die der Roboter erkennen und mit denen er interagieren kann.

Zudem ist der Roboter mit einer Objekterkennungssoftware ausgestattet, die keiner weiteren Anweisung des Lehrers bedarf. Die Liste der Objekte umfasst alle Farben der Scheiben des Spiels „Die Türme von Hanoi“ (rot, grün und blau) und die jeweilige Richtung (links, Mitte, rechts). Mit der Auswahl einer Aktion und eines Objektes hat der Lehrer nun die Möglichkeit dem Roboter leicht verständliche Befehle zu geben. So wird sich der Roboter beispielweise mit den Befehlen „Move-to“ und „Red Disk“ zu der roten Scheibe bewegen. Unterhalb des Feldes Action Selector befindet sich das Robot Status Widget, welches den aktuellen Status des Roboters in einem Textfeld anzeigt. Das dritte Widget mit dem Namen Task Complete ist wieder unter dem vorherigen Widget angeordnet und besteht aus einer einzigen Taste, die angibt, wann eine Vorführung abgeschlossen ist. Links von dieser Taste befindet sich das

Instructions Widget, welches eine kurze Anleitung für den Lehrer darstellt. So sind diese Informationen jederzeit präsent, was verhindert, dass der Lehrer, beispielsweise in einem Handbuch, den Prozess nachschlagen muss. Über dem Instruction Widget ist das Camera View Widget positioniert. Es zeigt die aktuelle Perspektive aus Sicht der Roboterkamera, die der Lehrer entsprechend mitverfolgen kann.

3.1.2 Auditive Signale

Ergänzend zu der grafischen Oberfläche wurden in der zweiten Studie auditive Signale als zusätzliche Informationen für den Lehrer verwendet. Damit die Klänge nicht zu Verwirrung und Missverständnissen bei den Teilnehmern und damit zu einer Beeinträchtigung des Lehr-Lernprozesses führen, wurden in einer weiteren Studie Teilnehmer mit einer Reihe von zehn verschiedenen Klängen konfrontiert, die sie dem jeweiligen Ausdruck und Zustand des Roboters, wie beispielsweise „Fehler“ und „Denken“, zuordnen mussten. Dabei wurde ausschließlich non-verbale und geschlechtsneutrale Kommunikation benutzt, da diese leichter zu verstehen und zu verarbeiten sind. Letztendlich wurden drei verschiedene Klänge ausgewählt, für die Äußerung von:

- Erfolg
- Fehler
- Bestätigung

Da diese von den Teilnehmern am besten unterschieden und dem jeweiligen Ausdruck des Roboters zugeordnet werden konnten. Diese Klänge werden in Studie zwei eingesetzt, da diese auf auditive Signale zurückgreift.

3.2 Studie 1 – Visuelles Feedback

In der ersten Studie wurde das visuelle Feedback während der Interaktion zwischen Mensch und Roboter, anhand des Spiels “Die Türme von Hanoi“ untersucht. Bei den Türmen von Hanoi handelt es sich um drei Stäbe, auf die jeweils verschieden große gelochte Scheiben übereinander gestapelt werden können. Der Ablauf des Spiels ist wie folgt:

- In der Ausgangsposition befindet sich alle Scheiben auf dem linken Stapel
- Nur eine einzelne Scheibe darf jeweils bewegt werden
- Eine größere Scheibe darf nicht auf eine kleinere gelegt werden
- Ziel ist alle Scheiben auf den rechten Stapel zu bewegen unter Einhaltung der obigen Regeln

Die Türme von Hanoi eignen sich besonders für diesen Versuch, da die Lösung nicht zu komplex für einen Menschen ist und zudem eine bewährte Aufgabe für eine künstliche Intelligenz darstellt. Das Spiel gewährleistet eine objektive Evaluation, da das Ziel fest definiert und somit der Erfolg, beziehungsweise die Leistung des Lehrers, eindeutig messbar ist.

In nachfolgender Abbildung 4 ist der Roboter beim Lösen des ‘‘Türme von Hanoi‘‘ Puzzles dargestellt:

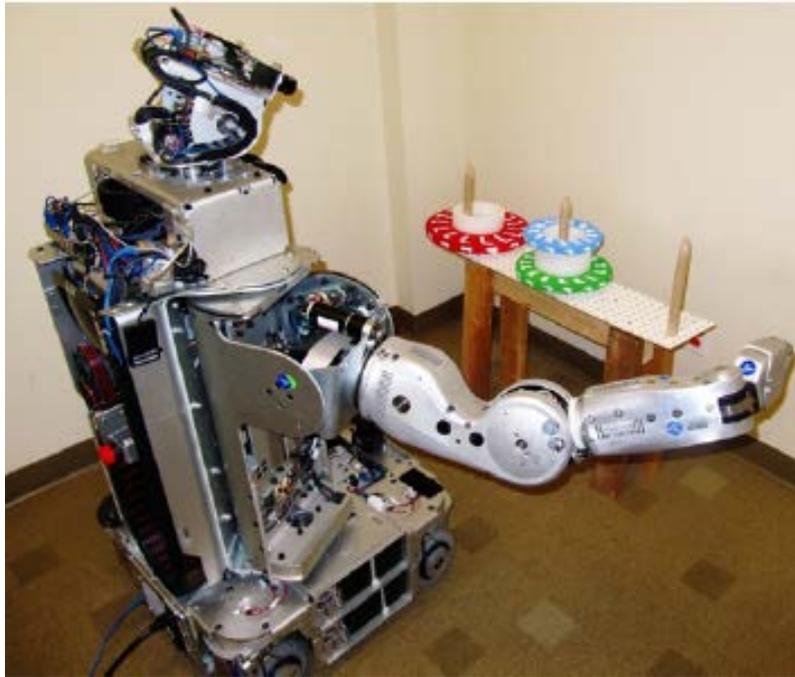


Abbildung 4: Türme von Hanoi

Die 20 Studienteilnehmer, 6 Frauen und 14 Männer im Alter von 22 bis 59 Jahren, wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei die eine Gruppe keinen visuellen Kontakt zum Roboter hatte, sondern die Aktionen des Roboters anhand des GUI nachvollziehen musste. Die andere Gruppe hingegen hatte direkten Sichtkontakt mit dem Roboter. Teil der Studie war auch ein Fragebogen der die Computerkenntnisse der Teilnehmer abfragte, eine Anleitung des Spiel, des Roboters und des GUIs, sowie ein Test um den aktuellen Grad ihrer Frustration zu messen.

Auf Basis des beschriebenen Untersuchungsdesigns soll die Hypothese überprüft werden, dass direkter Sichtkontakt mit dem Roboter zu einem besseren Lehr- und Lernergebnis führt. Insbesondere ist die direkte Kommunikation bei Menschen untereinander sehr wichtig, um Informationen auszutauschen. Daher ist die Annahme berechtigt, dass dies auch für die Kommunikation zwischen Mensch und Roboter gilt.

3.2.1 Ergebnisse der Studie 1

Die Ergebnisse wurden ermittelt, indem man die Gültigkeit der Instruktionen des Lehrers erfasste, welche sich aus der Anzahl an Instruktionen ergibt auf die der Roboter eine gültige Aktion durchführte. Zudem wurden die benötigte Zeit, die für die Lösung der Aufgabe erforderlich war und die Anzahl der Befehle, die an den Roboter gesendet wurden, erfasst.

Lehrer die visuellen Kontakt zum Roboter hatten, gaben im Schnitt mehr gültige Anweisungen an den Roboter:

- (M = 47.1, SD = 12.3)

als Lehrer die keinen visuellen Kontakt hatten:

- (M = 36.8, SD = 7.7), $F(1, 18) = 6.12, p < .03$.

Die Gesamtanzahl der Anweisungen war zudem bei Lehrern mit visuellem Kontakt höher:

- (M = 36.7, SD = 7.7)

Als bei Lehrern ohne visuellen Kontakt:

- (M = 29.9, SD = 4.0), $F(1, 18) = 5.04, p < .04$.

Dies spricht dafür, dass die Frustration der Lehrer bei visuellem Kontakt zum Roboter höher war, da die Lehrer von den Bewegungen des Roboters abgelenkt wurden und im Vorfeld eine falsche Vorstellung des Roboters hatten. Anders als ursprünglich angenommen, benötigten Lehrer mit Sichtkontakt zum Roboter, mehr Zeit um das Puzzle (Die Türme von Hanoi) zu lösen und gaben häufiger ungültige Anweisungen an den Roboter. Somit ergibt sich laut Studie 1, dass die Lehrer ohne Sichtkontakt bessere Ergebnisse produzieren.

3.3 Studie 2

In der zweiten Studie wurden auditive Signale für die Kommunikation zwischen Lehrer und Roboter verwendet. Wie sich auditive Signale auf den Lernprozess auswirken, wurde mit Hilfe des Kitting-Verfahrens getestet. Bei diesem muss ein Objekt, welches aus zusammengehörenden Einzelteilen besteht, in einem korrekten Behälter gesammelt werden. Da der Roboter eventuell bestimmte Objekte nicht greifen kann, wurden die Objekte durch farbige Schachteln ersetzt. Es wurden Testläufe mit und ohne auditive Signale, wie auch mit und ohne visuellen Kontakt zum Roboter durchgeführt (Abbildung 5).

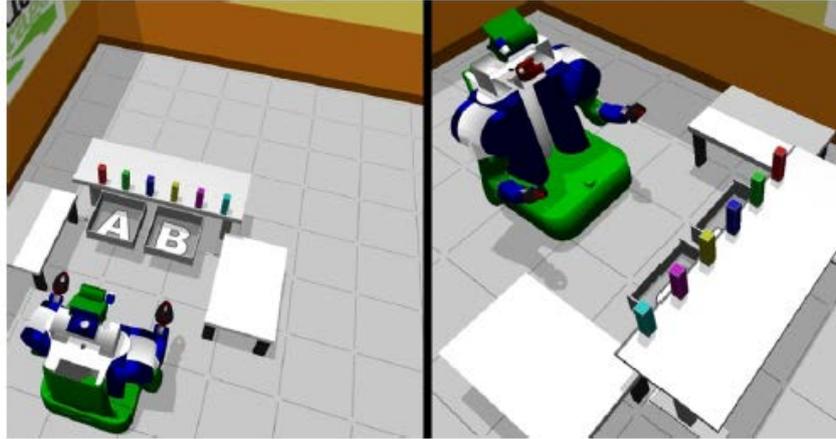


Abbildung 5: Kitting

Die 20 Studienteilnehmer, 10 Frauen und 10 Männer im Alter von 22 bis 60 Jahren, mussten jeweils zwei unterschiedliche Kitting-Vorführungen durchführen, wobei die Sicht auf den Roboter nach Beendigung von jeweils zwei Vorführungen abwechselnd blockiert beziehungsweise ermöglicht wurde. Die eine Hälfte der Lehrer erhielt auditive Signale und die andere nicht. Den Teilnehmer wurde eine Anleitung des Spiels und des GUIs ausgeteilt, sowie ein Test um den aktuellen Grad ihrer Frustration zu messen.

Für die zweite Studie wurde die Hypothese aufgestellt, dass Roboter, die die Fähigkeit besitzen, auditive Signale zu äußern, zu einem besseren Verständnis des Lehrers führen und diese folglich weniger ungültige Anweisungen geben und die Bearbeitungszeit verringert wird.

3.3.2 Ergebnisse der Studie 2

Die Ergebnisse der zweiten Studie wurden, wie in der ersten Studie, mit analogen Verfahren gemessen und ermittelt. Das Cut Off Level für die Signifikanz war bei $p = .05$.

Dabei stellte sich heraus, dass mit auditiven Signalen insgesamt weniger Anweisungen von den Lehrern getätigt wurden:

- ($M = 1.9, SD = 1.5$)

Als bei dem Fehlen der auditiven Signale:

- ($M = 3.3, SD = 2.3$), $F(1, 40) = 4.01, p = .056$

Auch die Anzahl an unnötigen Anweisungen wurde verringert, wenn der Roboter zusätzlich für den Lehrer sichtbar war:

- ($M = 27.1, SD = 2.1$)

Als für den Fall, dass er nicht sichtbar ist:

- ($M = 26.4, SD = 2.2$)

Die Dauer der Ausführung der Aufgaben wurde nicht maßgeblich durch auditive Signale beeinflusst, sondern durch die Erfahrung mit Robotern, die der Lehrer im Vorfeld hatte.

Über einen weiteren Fragebogen, der nach der Studie ausgefüllt wurde, stellte sich heraus, dass den Lehrern die Bearbeitung der Aufgabe leichter fiel, welche auditives Feedback bekamen:

- ($M = 2.1, SD = 1.5$)

Ohne Auditives Feedback:

- ($M = 3.4, SD = 2.1$), $F(1, 34) = 4.60, p < .05$

Der physische Aufwand wurde mit auditivem Feedback als höher empfunden:

- ($M = 1.7, SD = 0.9$)

Wie ohne auditives Feedback:

- ($M = 1.1, SD = 0.3$), $F(1, 34) = 6.38, p < .05$

4 Diskussion und Fazit

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Studien sowie die jeweiligen Ergebnisse ausführlich dargestellt und beschrieben wurden, erfolgt im nun letzten Kapitel dieser Arbeit eine Diskussion der Ergebnisse sowie eine eigene kritische Stellungnahme.

Die Interaktion zwischen Robotern und Menschen in einem “Learning from Demonstration“ Zusammenhang wird durch visuelle und auditive Kommunikation beeinflusst, was beide Studien eindeutig gezeigt haben. Die bemerkenswertesten Erkenntnisse waren, dass die Sichtbarkeit auf den Roboter während beider Studien zu einer erhöhten Anzahl an Anweisungen führte, die Lehrer mehr Zeit für die Ausführung der Aufgaben benötigten und mehr Frustration bei den Lehrern auslöste. Dabei wird bei einer erhöhten Anzahl von Anweisungen davon ausgegangen, dass der Lehrer mehr Fehler machte. Daraus wurde abgeleitet, dass die Bewegungen der Roboterarme eine Interesse erzeugende Wirkung auf die Lehrer hatten und sie damit ablenkten. Es liegt nahe, dass die Lehrer ein falsches Bild von dem Roboter hatten, beziehungsweise ein dem Menschen ähnliches Bild auf den Roboter projizierten. Ohne direkten visuellen Kontakt, waren die Lehrer allerdings in der Lage sich mehr auf die Lösung der eigentlichen Aufgabenstellung zu konzentrieren und erhielten ausreichende Informationen über das GUI. Dieser positive Effekt wurde durch den Einsatz von auditiven Signalen nochmals verstärkt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die bisherige Erfahrung der Lehrer mit Robotern, ihr Engagement und eine eindeutige Rückmeldung des Roboters, sowie die Vermeidung ein menschenähnliches Bild auf den Roboter zu projizieren, zu den wichtigsten Faktoren im “Learning from Demonstration“ Kontext zwischen Menschen und Robotern gehören.

Grundsätzlich empfinde ich die Studie als nachvollziehbar und aufschlussreich. Darüber hinaus wären andere Formen der nonverbalen Kommunikation, wie zum Beispiel die Gestik interessant. Auch der Einfluss von Mimik und Gestik in Kombination mit anderen Kommunikationsarten wäre spannend zu erforschen. Die Annahme, dass die Bewegungen der Roboterarme eine Interesse erzeugende Wirkung auf die Lehrer hatten und sie damit abgelenkt wurden, sehe ich als nicht sehr relevant an. Sobald sich der Lehrer an den Roboter gewöhnt, gehe ich davon aus, dass ein Sichtkontakt zum Roboter eine positive Auswirkung auf die Interaktion hat.

Literaturverzeichnis

Koenig, Nathan; Takayama, Leila; Mataric, Maja (2010): Communication and knowledge sharing in human-robot interaction and learning from demonstration. In: Neural Networks 23 (2010) p. 1104 - 1112