



BIOMECHANISCHE UNTERSUCHUNGEN FÜR SICHERE MENSCH-ROBOTER-KOLLABORATION

Motivation

Bei der Mensch-Roboter-Kollaboration teilen sich Menschen und Roboter einen gemeinsamen Arbeitsraum. Dies ermöglicht sowohl eine ergonomische als auch effiziente Produktion in Hochlohnländern wie Deutschland. Der Schutz des Menschen vor gefährlichen Kollisionen muss hierbei durch neue Sensorsysteme oder sichere Manipulatoren gewährleistet werden. Für bestimmte Tätigkeiten ist der direkte Kontakt zwischen Mensch und Roboter jedoch notwendig, sodass durch die Sensorsysteme nicht unterschieden werden kann, ob es sich um einen gewollten oder ungewollten Kontakt handelt. Aktuelle Normen schreiben vor, dass bei einem ungewollten Kontakt die mechanische Beanspruchung des Menschen höchstens zu unbedenklichen Bagatelverletzungen führen darf.

Vorgaben und Aufgabenstellung

Bevor Menschen und Roboter an einem gemeinsamen Arbeitsplatz zusammenarbeiten dürfen, muss eine Risikobewertung durchgeführt werden. Hierbei werden die Gefahren für den Menschen analysiert, die von einer Kollision mit dem Roboter ausgehen. Unterschieden wird eine klemmende Kollision, bei der der Mensch durch den Stoß eingeklemmt wird, und eine freie Kollision, bei der der Mensch frei im Raum steht und nicht eingeklemmt wird.

Wenn durch die konstruktive Gestaltung eines kollaborierenden Arbeitsplatzes klemmende Kollisionen vermieden werden, ist die Kenntnis der Maximalkräfte für den freien Kollisionsfall notwendig. Die im Rahmen der Risikobeurteilung mit speziellen Messgeräten erfassten Maximalkräfte und -drücke müssen

deshalb ein unbedenkliches Verletzungsrisiko nachweisen. Um jedoch die Maximalkräfte freier Kollisionen bestimmen zu können, ist die Ermittlung einer modellbasierten Umrechnungsfunktion notwendig. Damit lassen sich dann die Maximalkräfte einer klemmenden Kollision auf die einer freien Kollision umrechnen. Dies ist erforderlich, da nur klemmende Kollisionen gemessen werden können, die aber zu wesentlich schwerwiegenderen Verletzungen führen können als freie Kollisionen. Die experimentelle Bestimmung der Umrechnungsfunktion war das Ziel dieser Studie.

Lösungskonzept und Vorgehensweise

Das Lösungskonzept bestand darin, die Umrechnungsfunktion auf der Grundlage eines einfachen Stoßmodells zu berechnen und anschließend durch Kollisionsversuche mit Probanden zu parametrieren. Hierfür wurde am Fraunhofer IFF eine Versuchseinrichtung mit einem Pendel entwickelt, die mit Zustimmung der zuständigen Ethikkommission erstmalig Kollisionsversuche mit Probanden erlaubt.

Das Stoßmodell zeigte, dass es für die Parametrierung der Umrechnungsfunktion erforderlich ist, mit unterschiedlich hohen Stoßenergien zu testen. Daher mussten für die Kollisionsver-

1 Versuchseinrichtung für Kollisionsversuche mit Probanden. Im Bild Kollisionsversuch am Unterarm eines Probanden.

2 Bestimmung eines optimalen Stoßkörpers für die experimentellen Untersuchungen mit Probanden.



suche sowohl die Pendelmasse als auch die Kollisionsgeschwindigkeit über die Pendelauslenkung variiert werden. Insgesamt wurden bis zu sechs Körperbereiche in drei verschiedenen Körperhaltungen mit Stößen beaufschlagt, für die eine Parametrierung der Umrechnungsfunktion erfolgen sollte.

Eine medizinische Untersuchung aller Probanden auf gesundheitliche Eignung ergab zuvor, dass die Kollisionsversuche mit zwölf Probanden durchgeführt werden konnten.

Die gesamte Studie war in einzelne Sitzungen unterteilt. Zu jeder Sitzung erfolgte die Untersuchung eines Probanden, in einer bestimmten Körperhaltung, an einem bestimmten Körperbereich. Jeder Körperbereich wurde sowohl für den klemmenden als auch den freien Kollisionsfall untersucht. Während einer Sitzung wurde die Stoßenergie des Pendels systematisch erhöht. Die Untersuchung war jeweils beendet, wenn der Proband das Auftreten eines leichten Schmerzes verspürte. Bei jeder Kollisionsmessung wurden die Pendelgeschwindigkeit und die Kraft im Kollisionspunkt aufgezeichnet. Nach Abschluss der Versuche wurden die Parameter der Umrechnungsfunktion auf Grundlage der Messergebnisse bestimmt.

Ergebnisse und Nutzen

Insgesamt wurden 19000 Einzelmessungen durchgeführt. Die Auswertung der Messergebnisse und die Parameterbestimmungen zeigten, dass die entwickelte Umrechnungsfunktion den Zusammenhang der Maximalkräfte für beide Kollisionsfälle exzellent abbildet. Mit dieser Umrechnungsfunktion ist es nun möglich, die messbare Maximalkraft einer klemmenden Kollision auf eine freie Kollision umzurechnen. Da die Maximalkräfte bei einer klemmenden Kollision höher sind, ist es mit der Umrechnungsfunktion auch möglich, die Geschwindigkeit des Roboters soweit zu erhöhen, bis die reduzierte Maximalkraft den zulässigen Grenzwert gerade noch erfüllt.

Ausblick

In den nächsten Schritten soll geprüft werden:

- ob die Parameter der Umrechnungsfunktion auch auf Grundlage von statistischen Körperdaten bestimmt werden können,
- ob es möglich ist, die Umrechnungsfunktion auf Grundlage eines Körpermodells zu berechnen, sodass zukünftig keine weiteren Probandenversuche mehr notwendig sind und
- ob eine Integration der modellbasierten Umrechnungsfunktion in einer Robotersteuerung vorgenommen werden kann.

Parallel hierzu werden mit der vorhandenen Versuchseinrichtung die biomechanischen Belastungsgrenzen bestimmt, die zum Verletzungseintritt führen. Auch hierfür werden wieder Kollisionsversuche mit Probanden durchgeführt, für die bereits ein zustimmendes Votum der zuständigen Ethikkommission vorliegt. Hierbei wird der Verletzungseintritt durch die Entstehung eines leichten Hämatoms oder einer Schwellung definiert. Alle Verletzungen, die über dieses Maß hinausgehen, sind nicht zulässig.

Projektpartner und Auftraggeber

IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, St. Augustin

Ansprechpartner im Geschäftsfeld Robotersysteme

Dipl.-Ing. Roland Behrens
 Telefon +49 391 4090-284 | Fax +49 391 4090-93-284
 roland.behrens@iff.fraunhofer.de