

- deutsche Übersetzung -

Wie Sie sehen können, befinde ich mich derzeit im Kooperationslabor des IMI, aber dennoch sind meine Kolleg:innen am anderen Ende des Flurs nur einen Mausklick von mir entfernt.

Hallo Julian.

Hallo Carl.

Wie geht es dir?

Mir geht es gut, willst du mitkommen?

Na gut, dann lass uns spazieren gehen, okay?

Roboter fährt auf dem Flur entlang

Beginn aufbauende epische Musik (SkyWorld von Two Steps From Hell)

fahrender Roboter wird in Videos gezeigt, dazwischen werden folgende Texte eingeblendet

Bewegen Sie sich, wohin Sie wollen.

Steuern Sie mit absoluter Präzision.

Entwickelt und getestet von unseren erfahrenen Ingenieuren.

Damit alle unsere Kunden zufrieden sind

wo auch immer sie sich befinden!

Demnächst erhältlich.

Ende Musik

Folie „Endergebnisse – VR-Praxiskurs – WS21/22“

Hallo und herzlich willkommen! Wenn Sie neugierig auf den Prototyp sind, den Sie gerade in den Aufnahmen gesehen haben, schauen Sie jetzt weiter, denn dieses Video zeigt die Ergebnisse des Virtual-Reality-Praxiskurses, der im Wintersemester 2021/22 hier am Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen am KIT stattfand.

Folie „Motivation – Telepräsenzroboter“

Was ist ein Telepräsenzroboter überhaupt und wozu dient er?

Nun, im Grunde handelt es sich um ein System, wie wir es im Video vorgestellt haben, das über einen Bildschirm und ein Audiosystem für die Telekommunikation verfügt, aber auch per Fernsteuerung durch den Benutzer, beispielsweise über WLAN, bewegt werden kann.

Telepräsenzroboter zeichnen sich dadurch aus, dass sie ein besseres soziales Umfeld schaffen als normale Videoanrufe. Denn Arbeitskollegen, die nicht an einem bestimmten Ort anwesend sind, können sich einfach in den Roboter einloggen und sich im selben Arbeitsbereich bewegen wie diejenigen, die vor Ort sind. Auf diese Weise können sie auch dazu beitragen, Reisekosten zu senken und die Verfügbarkeit der Humanressourcen eines Unternehmens zu erhöhen, da die Mitarbeiter virtuell an zwei Orten gleichzeitig sein können.

Folie „Unsere Lösung: Selbstgebauter Roboter!“

Unsere Lösung für dieses Problem war die Entwicklung einer DIY-Version eines Telepräsenzroboters, der sich durch seine geringen Kosten auszeichnet, da alle für den Bau erforderlichen Komponenten online oder in einem Baumarkt in Ihrer Nähe erworben werden können. Dadurch können auch Familien und Bildungseinrichtungen mit geringeren Budgets ihren eigenen Roboter bauen.

Eine Einkaufsliste mit unseren Empfehlungen für den möglichst günstigen Kauf vieler Teile ist Teil der Dokumentation, die wir dem Institut vorgelegt haben.

Beim Kauf aller für den Zusammenbau unserer Hardware erforderlichen Komponenten ist es möglich, unter einer Schwelle von 200 Euro zu bleiben. Das Einzige, was in dieser Schätzung nicht enthalten ist, ist der Tablet-PC, da das System mit vielen Modellen kompatibel ist und es dem Benutzer überlassen bleibt, wie viel Geld er hier ausgeben möchte.

Es gibt viele vollkommen ausreichende Android-Tablets in einer Preisklasse von unter 200 Euro, wodurch unser gesamtes System immer noch viel günstiger ist als alle kommerziellen Modelle. Alternativ können Benutzer auch einen Tablet-PC integrieren, den sie bereits vor dem Bau des Roboters besitzen, wodurch sie diese Kosten vollständig einsparen können.

Die gesamte Software, die wir bei der Erstellung des Roboters verwendet haben, war vollständig Open Source.

Für die Bauanleitung des Systems haben wir uns entschieden, zwei völlig unterschiedliche Wege gleichzeitig zu beschreiten.

Einerseits haben wir eine Schritt-für-Schritt-Anleitung in Form eines PDF-Dokuments erstellt, das Bilder und CAD-Screenshots enthält, um die Bauschritte zu veranschaulichen.

Andererseits haben wir uns auch dafür entschieden, eine Virtual-Reality-Montageanleitung (VR) mit der Unreal Engine zu erstellen, die dem Benutzer hilft, alle Montageschritte in der richtigen Reihenfolge zu verstehen und zu üben.

Entsprechend dieser Gliederung haben sich unsere Ziele für das Semester wie folgt herauskristallisiert.

Folie „Main Objectives“

Zunächst einmal hatte unser Hardware-Team die Aufgabe, das Konzept der Gruppe aus dem vorangegangenen Semester für einen DIY-Telepräsenzroboter zu verbessern, bevor ein tatsächlich funktionierender Prototyp gebaut wurde.

Unser anderes Hauptziel war es, mithilfe der Unreal Engine eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für die Montage in der virtuellen Realität zu erstellen. Diese Aufgabe umfasste außerdem zwei optionale Ziele, die wir bis zum Ende des Semesters erfolgreich umgesetzt haben: die Implementierung eines Wiedergabesystems, mit dem Benutzer in der VR-Umgebung zwischen den einzelnen Anweisungsschritten hin- und herspringen und eine Animation mit detaillierten Informationen zu einem Konstruktionsschritt erneut ansehen können, wenn etwas beim ersten Mal unklar geblieben ist.

Außerdem haben wir ein Feedback-System integriert, das den Benutzern mitteilt, ob sie die Teile korrekt zusammengebaut haben.

Folie „Concept Iteration“

Our work on the hardware began with an iteration of the previous concept design, which you can see on the left, which we turned into the one you can see on the right.

Our new system features increased durability and stability thanks to the sandwich structure in the bottom. It is height-adjustable and taller than the previous version while also remaining more cost-efficient.

A complete inventory of the exact parts we used is part of the instruction manual.

Folie „Hardware-Montage“

Zu Beginn unseres Montageprozesses haben wir unsere Holz- und Plexiglasteile vorgefertigt, indem wir manuell Löcher in sie gebohrt und sie auf die richtige Länge zugesägt haben.

Anschließend haben wir die Sandwichkonstruktion zusammengebaut, die interne Elektronik und die Motoren eingebaut und dann eine Abdeckplatte und das untere Rohr montiert.

Wir haben einen Rohradapter aus dem Baumarkt hinzugefügt, um die beiden Rohre zu verbinden, dessen Gummidichtungsring genügend Flexibilität bietet, um die relative Position des oberen Rohrs zu verändern.

Schließlich haben wir das obere Rohr, den Tablet-Halter, das Tablet und einige Räder hinzugefügt und mit unseren Fahrttests begonnen. Das Audiosystem wurde ebenfalls zu einem späteren Zeitpunkt hinzugefügt.

Gruppenbild und Video

Für die Herstellung einiger Teile haben wir den 3D-Drucker und die CNC-Fräsmaschinen des IMI verwendet. Alternativ können diese Teile auch online gekauft oder manuell fertiggestellt werden.

Folie „Interne Elektronik“

Die interne Elektronik, die unseren Roboter zum Laufen bringt, umfasst einen WLAN-fähigen Arduino, auf den wir ein Motorsteuerungs-Shield gesteckt haben, das zwei leistungsstarke Gleichstrommotoren mit integrierten Getrieben antreibt, die genügend Drehmoment liefern, um den Roboter anzutreiben.

Sowohl das Treiber-Shield als auch der Arduino werden jeweils von einer Powerbank mit Strom versorgt. Nicht abgebildet sind einige zusätzliche Komponenten, die für den Betrieb des Systems erforderlich sind, wie beispielsweise eine selbstgebaute Transistorbrücke, die wir an zwei Pins des Arduino anlöten mussten, um zu verhindern, dass sich die Powerbanks automatisch abschalten, sobald die Motoren gestoppt werden. Außerdem zwei Ultraschallsensoren – einer hinten und einer vorne am Roboter –, die den Arduino vor drohenden Kollisionen warnen.

Folie „System Layout“

Hier sehen Sie die in das Gesamtsystem integrierte Elektronik.

Video

Neben der Montage der Hardware haben wir auch ein CAD-Modell der gesamten Baugruppe einschließlich aller relevanten Systeme erstellt.

Folie „CAD-Modell enthält alle Informationen für CAM und VR“

Das CAD-Modell war für zwei Anwendungen äußerst nützlich: Wir haben es zur Generierung einiger CAM-Daten verwendet, die wir für den Betrieb des 3D-Druckers und der CNC-Fräsmaschine des IMI benötigten, aber es wurde auch für die VR-Montageanleitung selbst benötigt.

Wir haben die Baugruppe in eine STP-Datei konvertiert, die wir über das Datasmith-Plugin in die Unreal Engine importiert haben. Nun konnten wir das CAD-Modell und alle seine Subsysteme innerhalb der VR-Umgebung verwenden.

Dieses Verfahren macht unsere VR-Umgebung im Wesentlichen wirklich universell, da verschiedene CAD-Modelle für völlig unterschiedliche technische Systeme in die Engine importiert werden können, um eigene Montageanleitungen zu erstellen. Das Einzige, was noch zu tun bleibt, ist die manuelle Wiederherstellung einer Hierarchie zwischen den Komponenten, um eine realistische Montagereihenfolge zu gewährleisten, da die Beziehungen aus dem CAD-Modell bei der Übersetzung verloren gehen.

Folie „UML-Diagramm – Baumstruktur der Modelle in UE“

Während das Hardware-Team noch mit dem Zusammenbau des Roboters beschäftigt war, begannen unsere Software-Experten mit der Ausarbeitung des Konzepts für unsere Software-Struktur in Form

eines UML-Diagramms, das die verschiedenen Klassen und Funktionen zeigt, die für die Funktion unseres C++-Codes erforderlich sind.

Folie „Level-Design in Unreal Engine“

Außerdem entwarfen wir eine Level-Umgebung in der Unreal Engine, die zwei Werkbänke für den Roboter und die Teile sowie dieses Bedienfeld mit vier Tasten umfasst, mit denen der Benutzer den Montage- oder Demontageprozess starten, das Wiedergabesystem aktivieren oder die letzten Aktionen rückgängig machen kann, falls Fehler gemacht wurden.

Folie „VR-Tests“ und Bilder

Nach vielen Stunden des Programmierens und Testens ist es uns schließlich gelungen, die folgenden Aufnahmen eines vollständig funktionierenden Montage- und Demontageprozesses aufzunehmen.

Video (8:00-9:30)

Wir begannen damit, ein komplettes Modell unseres Telepräsenzroboters zu zerlegen. Die gelben Markierungen zeigen immer an, welche Teile als nächstes aus dem System entfernt werden müssen. Wir befinden uns also derzeit beim Soundsystem mit dem rechten und dem linken Lautsprecher.

Jetzt entfernen wir die Tablet-Halterung.

Nun gibt es im Grunde mehrere Möglichkeiten, wie wir weitermachen könnten; wir haben uns hier für das obere Rohr sowie den Rohradapter entschieden.

Und hier sehen Sie, wie ein Teil versehentlich verlegt wird – unser Benutzer hat es verloren, also wiederholen wir einfach den Schritt. Das Teil [undeutlich] kann wieder aufgenommen und hier platziert werden.

Wie Sie sehen können, können wir nun auch die Elektronik oder zumindest einige der Komponenten wie die Powerbanks und die Motoren aus dem System entfernen. Wir haben uns aus Gründen der Übersichtlichkeit dafür entschieden, sie auf dieser Werkbank statt auf der anderen zu platzieren, aber letztendlich wäre beides möglich.

Mit dem Entfernen des unteren Rohrs, der Rohrfassung und schließlich der Grundplatte ist der gesamte Demontageprozess abgeschlossen.

Video (9:30-12:20)

Jetzt sehen Sie, wie der Montageprozess in VR aussieht. Im Grunde genommen beginnen wir die Montage, indem wir diesen Knopf drücken, wodurch das vollständige Modell, das Sie gerade gesehen haben, in den Stapel von Teilen aus der Vorher-Ansicht zerlegt wird. Die blauen Markierungen zeigen immer an, welches Teil als nächstes zum System hinzugefügt werden muss.

Jetzt sind wir also bei der unteren Rohrhalterung, jetzt beim unteren Rohr.

Wichtig dabei ist, dass es immer eine Art „blauen Geist“ oder Roboter gibt, der uns im Wesentlichen sagt, wo wir die nächsten Teile platzieren müssen.

Diese Animationen wurden in der Unreal Engine erstellt, indem wir die Aufzeichnungen des soeben durchgeführten Demontageprozesses rückwärts abgespielt haben. Um diese Montageanweisungen zu erstellen, müssen Sie also im Grunde genommen nur einmal das gesamte CAD-Modell zerlegen, und dann erhalten wir etwas wie das hier.

Nun sind wir wieder bei der Elektronik angelangt. Das grüne Teil ist das Arduino, das vorne angebracht ist.

Beide Elektromotoren sind hinzugefügt worden. Nun folgt die vordere Holzstützkonstruktion. Das nächste Teil ist die obere Platte, die über das untere Rohr abgesenkt werden muss.

Und wie Sie hier sehen können, habe ich einen Fehler gemacht – ich habe das Teil nicht richtig platziert. Unser System macht uns darauf aufmerksam, indem es das Teil einfach wieder in die Position zurückschnappen lässt, in der es zuvor war.

Dies ist die hintere Holzstützstruktur, die die gesamte Rückseite des Roboters zusammenhält, und unser freundlicher Helfer sagt uns, dass wir als Nächstes diese Seitenteile hinzufügen müssen.

Jetzt fahren wir mit den Rädern fort. Beachten Sie, dass dies genau die Reihenfolge ist, in der wir das System im ersten Teil des Videos zerlegt haben.

Das ist nun die Lenkrolle.

Wir fahren mit den Ultraschallsensoren fort; es gibt zwei davon. Einer davon wird an der Rückseite des Roboters angebracht, der andere gehört an die Vorderseite.

Dann fügen wir den Rohradapter hinzu.

Das obere Rohr.

Die Tablet-Halterung.

In der Praxis könnten Sie diese beiden Teile auch zuerst zusammenstecken, bevor Sie das obere Rohr einsetzen – das spielt keine Rolle. Jetzt können Sie die Teile des Soundsystems hinzufügen, einschließlich des Mikrofons. Und der letzte Schritt wäre das Anbringen des Tablet-PCs.

Folie Ich und die Jungs beim Bau eines Telepräsenzroboters

Das war's – vielen Dank fürs Zuschauen. Wenn Sie neugierig auf die anderen Projekte hier am IMI sind, vergessen Sie bitte nicht, sich die anderen Videos anzusehen, die die Ergebnisse der Arbeit der Gruppen aus den vergangenen Semestern zeigen.