



Adrian Bröckerbaum

Matrikelnummer: 0390552

Erkennung von Muskelarbeit für eine automatische Ergonomieanalyse basierend auf einer bildgestützten Körperposenerfassung

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science
Informatik

eingereicht bei

Technische Universität Berlin

Betreuer: M.Sc. Leon Eversberg
Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Jens Lambrecht
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Sebastian Möller

Industry Grade Networks and Clouds

August 19, 2021

Gender-Erklärung

So weit männliche Begriffe verwendet werden, gelten diese für Personen weiblichen, männlichen und diversen Geschlechts gleichermaßen.

Affidavit

I hereby declare that the thesis submitted is my own unaided work. All direct or indirect sources used are acknowledged as references.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, den 05. Januar 2023

Abstract

Even in our modern working world, many people perform work with predominantly one-sided and monotonous body movements. The resulting incorrect stresses can lead to postural deformities and pain in the long term. This often leads to long periods of sick leave for the people affected. The Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method was developed to evaluate the posture and work of individuals. In many cases the analysis and evaluation is done analogously, by an observing expert. Sohst has developed an assistance system that allows a technical evaluation of movements based on RULA. However, with this assistance system it is not possible to analyze static and repetitive movements, although they are described in RULA. In this work, a review of these two states is elaborated. The analysis of static poses is based on Changepoint Detection. Repetitive motions are detected using Fast Fourier transform. In the context of the evaluation, a check of the program took place. To this end, the system was first tested and then further adjustments were made. Finally, the entire system is tested and evaluated once again. It could be proven that the computer-based analysis of static and repetitive postures is possible. It would be desirable to revise the program in a next step in order to be able to generate more precise analysis results.

Kurzfassung

Auch in unserer modernen Arbeitswelt führen viele Menschen Arbeiten mit überwiegend einseitigen und monotonen Körperbewegungen aus. Aus den dadurch entstehenden Fehlbelastungen können langfristig zu Haltungsschäden und Schmerzen entstehen. Dies führt oft zu langen krankheitsbedingten Ausfällen der betroffenen Personen. Die Rapid Upper Limb Assessment (RULA) Methode wurde entwickelt, um die Haltung und Arbeit von Personen bewerten zu können. Die Analyse und Auswertung erfolgt in vielen Fällen analog, durch einen beobachtenden Experten. Sohst hat ein Assistenzsystem entwickelt, welches eine technische Bewertung von Bewegungen auf der Basis von RULA ermöglicht. Jedoch ist es mit diesem Assistenzsystem nicht möglich statische und repetitive Bewegungen zu analysieren, obwohl sie in RULA beschrieben werden. In dieser Arbeit wird eine Überprüfung dieser beiden Zustände erarbeitet. Die Analyse von statischen Posen geschieht dabei auf Grundlage von Changepoint Detection. Repetitive Bewegungen werden mittels Fast Fourier transform erkannt. Im Rahmen der Evaluation erfolgte dann eine Überprüfung des Programms. Dazu wurden zunächst das System getestet und im Anschluss werden weitere Anpassungen vorgenommen. Zuletzt wird das gesamte System noch einmal getestet und evaluiert. Es konnte nachgewiesen werden dass die computerbasierte Analyse von statischen und repetitiven Haltungen möglich ist. Es wäre wünschenswert in einem nächsten Schritt das Programm zu überarbeiten, um dann präzisere Analyseergebnissen generieren zu können.

Inhaltsverzeichnis

Gender-Erklärung	ii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Ergonomieverfahren	3
2.1.1 Übersicht	3
2.1.2 Vergleich	4
2.1.3 RULA	4
2.2 Algorithmen	5
2.2.1 Change Point Detection	5
2.2.2 Fast Fourier Transform	6
2.3 Window	7
3 Stand der Technik	10
3.1 ErgoSentinel	10
3.2 ErgoExplorer	10
3.3 MRO2.0-Werkerassistenzsystem	12
3.3.1 Input	13
3.3.2 Berechnung der Winkel	13
3.3.3 Berechnung des Scores	14
4 Konzept	15
4.1 Funktion	15
4.2 Aufbau	16
4.3 Konzept Changepoint Detection	18
4.4 Frequenz Bestimmung	19
4.5 Bewertung	19

Inhaltsverzeichnis

5 Implementierung	21
5.1 Technik	21
5.1.1 ROS	21
5.1.2 Kinect	22
5.1.3 Docker	22
5.2 Programm	22
5.2.1 Verarbeitung der Daten	23
5.3 Erfassung von Changepoints	23
5.4 Analyse der Bewegungen	24
5.5 Bewertung	27
6 Evaluation	28
6.1 CPD Parameterbestimmung	28
6.1.1 CPD Testdaten	28
6.1.2 CPD Bewertungskriterien	30
6.1.3 CPD Tests	30
6.2 Datensätze	32
6.3 Evaluation statischer Phasen	33
6.4 Ergebnisse der Tests	33
7 Zusammenfassung und Ausblick	38
Literatur	40
8 Appendix	43

Abkürzungsverzeichnis

ROS Robot Operating System

CPD Change Point Detection

FFT Fast Fourier Transform

RULA Rapid Upper Limb Assessment

REBA Rapid Entire Body Assessment

OWAS Ovako Working Analysis System

NERPA Novel Ergonomic Postural Assessment Method

LUBA Postural Loading On The Upper Body Assessmen

BOCD Bayesian Online Changepoint Detection

VM Virtual Machine

Abbildungsverzeichnis

2.1	RULA	5
2.2	Links Änderungen im Mittelwert; Rechts Änderungen in der Varianz [19]	6
2.3	Beispiel FFT	7
2.4	Spectral Leakage [25]	8
2.5	Fast Fourier Transform (FFT) Signal geglättet [25]	9
3.1	ErgoSentinel	11
3.2	ErgoExplorer	12
3.3	Übersicht vom Assistenzsystem	13
4.1	Aufbau des Programms	17
4.2	Arbeitsstation	18
5.1	Beispiel BOCD	24
5.2	Beispiel Signalverarbeitung	26
6.1	BOCD Test Datensätze	29
6.2	Aufnahme von Daten	32
6.3	Evaluation von 1 Arbeitssimulation	34
6.4	Evaluation von 2 Arme mehrfach heben	35
6.5	Evaluation von 3 Mehrfach vorbeugen	35
6.6	Evaluation von 4 Statisch halten	36
6.7	Evaluation von 5 Statisch sitzen	36

Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht verschiedener Methoden zur Einschätzung von ergonomischen Risikofaktoren	3
6.1	Changepoint Klassifikation [2]	30
6.2	Vergleich CPD Delay	31
6.3	Vergleich CPD Delay	31
6.4	Evaluation Vorhersage	33

1 Einleitung

Durch der Arbeit mit Maschinen oder an Werkbänken können anhaltenden Fehlbelastungen langfristig zu Haltungsschäden führen. Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems waren 2021 die zweithäufigste Ursache von Krankenschreibungen und durch die langen Regenerationszeiten für mehr als die Hälfte aller Fehltage verantwortlich [20].

Um dies zu vermeiden, gibt es bereits viele verschiedene Methoden zur Bewertung von ergonomischen Risikofaktoren. Mit diesen ist es möglich, die Haltungen und Arbeitsabläufe von Personen zu bewerten und potentielle Probleme zu erkennen. Es ist möglich, mit ihnen einen einfachen Score zur Beurteilung zu berechnen. Die wohl am verbreitetsten Methoden hierfür sind Rapid Upper Limb Assessment (RULA) und Rapid Entire Body Assessment (REBA) [13]. RULA und REBA werden anhand eines Fragebogens durch Außen- oder Selbstbeobachtung durchgeführt. Diese Methoden sind sehr ungenau. Zudem wird durch die Außenbeobachtung ein Experte benötigt. Die Durchführung des Verfahrens ist sehr kostenintensiv. Zudem gibt es starke Schwankungen zwischen den Bewertungen der verschiedenen Beobachter, was zu einer geringen Reliabilität führt [3].

Um diese Probleme zu beheben, gibt es bereits mehrere Umsetzungen technischer Lösungen. Hier kommen zum Beispiel Messungen mittels Sensoren an den Gelenken, Videoaufnahmen, Tiefenkameras, Künstlicher Intelligenz [22] zum Einsatz. Die Haltung einer Person kann so genauer und zuverlässiger analysiert und durch die genannten Methoden die ergonomischen Risikofaktoren in Echtzeit bewertet werden.

Als eine häufig angewandte und bewährte Methode kann hier RULA genannt werden [9]. Es gibt bereits auch verschiedene Implementation dieses Verfahrens. Doch werden die Vorgaben von RULA nicht konsequent durchgesetzt. Es wird dabei die Muskelarbeit immer vernachlässigt. Das beinhaltet ob eine Pose statisch gehalten oder eine Bewegung repetitiv wiederholt wird. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, dieses Problem zu beheben. Diese Arbeit ist Teil des "MRO 2.0 Upgrade statt Repair" Projekt [24].

Als Grundlage diente die Arbeit von Sohst [21], in dem die Funktionen von RULA bereits umgesetzt wurden. Jedoch blieben dabei bisher die Parameter der Muskelarbeit unberücksichtigt. Das schon vorhandene Programm soll nun um die Analyse folgender Funktionen erweitert werden:

1. Statisch gehaltene Posen
2. Repetitive Bewegungen

1 Einleitung

Dafür werden zuerst in Kapitel 2 werden zunächst die Grundlagen dieser Arbeit erläutert, die sich auf Verfahren zur Ergonomieanalyse und deren Auswertung konzentrieren. Die technischen Grundlagen beinhalten FFT, Wavelets und Change Point Detection (CPD). In Kapitel 3 wird auf weitere bereits existierende Implementationen genauer eingegangen und die grundlegende Arbeit von Sohst [21] erläutert. Danach in Kapitel 4 gibt es eine Übersicht über das Konzept der vorliegenden Arbeit. Vertiefend wird hier die Wahl der Techniken und den Aufbau des Programms erläutert. Aufbauend darauf wird in Kapitel 5 die Implementation der Erkennung statischer Phasen und repetitiven Bewegungen erklärt. In Kapitel 6 wird die Umsetzung dann evaluiert, in dem die einzelnen Systeme mit verschiedenen Einstellungen und Szenarien getestet werden. Kapitel 7 fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und ordnet diese ein. Zudem wird ein Ausblick über Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Systems gegeben.

2 Grundlagen

Diese Kapitel beschäftigt sich mit den wesentlichen Grundlagen dieser Arbeit. Zunächst wird ein Überblick über Ergonomieverfahren gegeben, insbesondere über RULA, welches in dieser Arbeit verwendet wird. Anschließend werden die Algorithmen, welche in dieser Arbeit angewandt werden, vorgestellt. Dazu gehört CPD, was Anwendung in der Erfassung statischer Posen findet, vorgestellt. Die FFT, welche zur Erkennung repetitiven Bewegungen eingesetzt wird, wird zum Schluss erklärt.

2.1 Ergonomieverfahren

2.1.1 Übersicht

Es gibt viele verschiedenen Methoden zur ergonomischen Begutachtung. Die meisten davon wurden so entwickelt, dass ein Experte und/oder die arbeitende Person sich selbst beobachtet und anhand eines Fragebogens die Ergonomie bewertet. Am Ende wird ein Score zur Bewertung ermittelt. Dieser Score beurteilt, wie gesund die Arbeit oder Haltung ist.

Es existieren bereit mehrere verschiedene Methoden, wie RULA, Ovako Working Analysis System (OWAS) [8], REBA [7], Novel Ergonomic Postural Assessment Method (NERPA) [18], Postural Loading On The Upper Body Assessmen (LUBA) [10]. Jede Methode hat dabei einen anderen Fokus, wie in Tabelle 6.3 zusehen ist. Dabei verwendet jede Methode eine ordinale Skala, jedoch mit unterschiedlich vielen Abstufungen.

Methode	Körper	Fokus
RULA	Oberkörper	Haltung, Last, Kraft
OWAS	ganzer Körper	Haltung
REBA	ganzer Körper	Haltung, Last, Kraft
NERPA	Oberkörper	Haltung, Last, Kraft
LUBA	Oberkörper	Haltung, statische Posen

Tabelle 2.1: Übersicht verschiedener Methoden zur Einschätzung von ergonomischen Risikofaktoren

2.1.2 Vergleich

In der Disorders Studie [26] werden RULA, LUBA, und NERPA miteinander verglichen. Untersucht wurden 210 Arbeitnehmer in der Pharmaindustrie, Automobil- und Montageindustrie. Hierbei wurde ein nordischer Fragebogen zu Muskel-Skelett-Beschwerden angewandt. Das ist ein vom nordischen Ministerrat in Auftrag gegebener und von Kuorinka et.al. (1987) [12] entworfener Fragebogen, welcher oft einzelnen Anforderungen entsprechend angepasst wird.

Das Ergebnis aus der Studie ist, dass am besten geringe Risiken mit NERPA, mittlere mit LUBA und große mit RULA, erkannt werden. Generell wird RULA als das beste der drei Verfahren zu Erkennung von Arbeitsbedingung Muskel-Skelett-Erkrankungen beurteilt.

Zu dem Schluss, dass RULA, das beste Verfahren ist, kommt auch Kee (2022) [9]. In der Arbeit werden über 81 Studien hinweg OWAS, RULA, und RULA, miteinander verglichen.

All diese Verfahren brechen die Haltungen auf einen simplen Score runter, welcher keine an sich keine Aussage darüber gibt, wie eine Haltung oder Arbeit verbessert werden kann. Nur die Teil-Scores für die einzelnen Gelenke geben darüber Auskunft, welches Körperteile gerade eine schlechte Haltung haben. Es wird nur wieder gegeben, ob etwas verändert werden soll. Außerdem fließt nicht die Länge der Aufgabe sowie der Pausen Beurteilung ein.

2.1.3 RULA

RULA ist eine 1993 von McAtamney und Corlett mit dem Fokus auf den Oberkörper entwickeltes Ergonomieverfahren [17]. Mit RULA lässt sich ein leicht zu interpretierenden ganzzahliger Score von 1 bis 7 errechnen, um die Haltung zu bewerten. Wobei eine Eins eine gute Haltung und bei Sieben zu einer schnellen Änderung der Haltung geraten wird. Dabei wird für jedes Gelenkt einen Score zu ermittelt, welcher durch seinen Winkeln bestimmt wird. Diese Scores werden dann zu einem End-Score zusammen gerechnet (siehe Abbildung 2.1).

Zuerst wird ein Score für die Arme, Schultern und Handgelenke mit Hilfe einer Bewertungsmatrix gebildet. Als zweiten Schritt wird ein Score für Nacken, Oberkörpers und Beine gebildet. Auf diese beiden Scores werden jeweils ggf. noch Punkte für Muskelarbeit addiert. Dies wird getan, wenn die Pose eine Minute lang statisch ist oder eine Bewegung viermal oder öfter wiederholt wird. Anschließend wird noch ein Punkt für ggf. getragene Lasten addiert. Dies wird getan, weil lang gehaltene Lasten als auch anstrengende Posen, schlecht für das Muskelskelettsystem sind. Die beiden Scores werden anschließen zu dem End-Score zusammen gerechnet.

2 Grundlagen

RULA Employee Assessment Worksheet																																																																																																																																																																																																																																																							
A. Arm and Wrist Analysis Step 1: Locate Upper Arm Position: 					Task Name: _____ Date: _____ Scores Table A <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Upper Arm</th> <th rowspan="2">Lower Arm</th> <th colspan="4">Wrist Score</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">3</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">4</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">6</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>					Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score				1	2	3	4	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4	1	2	3	3	3	4	4	4	4	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	5	5	5	4	3	4	4	4	4	5	5	5	5	1	2	3	4	4	5	5	5	5	3	2	3	4	4	4	4	5	5	5	3	3	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	6	6	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7	4	2	3	4	4	4	4	5	5	5	3	3	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	6	6	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7	5	2	3	4	4	4	5	5	6	6	3	3	4	4	4	5	5	6	6	4	4	4	4	4	5	5	6	6	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7	6	2	3	4	4	4	5	5	6	6	3	3	4	4	4	5	5	6	6	4	4	4	4	4	5	5	6	6	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7
Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score																																																																																																																																																																																																																																																					
		1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																		
1	1	1	2	1	2	1	2	1	2																																																																																																																																																																																																																																														
	2	2	2	2	3	3	3	3	3																																																																																																																																																																																																																																														
	3	2	3	3	3	3	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																														
	4	1	2	3	3	3	4	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																													
2	2	3	3	3	3	4	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																														
	3	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	4	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	5	1	2	3	4	4	5	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																													
3	2	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	3	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	4	4	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7																																																																																																																																																																																																																																													
4	2	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	3	3	4	4	4	4	5	5	5																																																																																																																																																																																																																																														
	4	4	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7																																																																																																																																																																																																																																													
5	2	3	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	3	3	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	4	4	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7																																																																																																																																																																																																																																													
6	2	3	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	3	3	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	4	4	4	4	4	5	5	6	6																																																																																																																																																																																																																																														
	5	1	2	3	4	4	5	6	6	7																																																																																																																																																																																																																																													
B. Neck, Trunk and Leg Analysis Step 9: Locate Neck Position: 					Step 10: Locate Trunk Position: 																																																																																																																																																																																																																																																		
					Step 11: Legs: If legs and feet are supported: +1 If note: +2																																																																																																																																																																																																																																																		
					Step 12: Look-up Posture Score In Table B: Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B																																																																																																																																																																																																																																																		
					Step 13: Add Muscle Use Score If posture mainly static (i.e. held>1 minute): +1 Or if action repeated occurs 4X per minute: +1																																																																																																																																																																																																																																																		
					Step 14: Add Force/Load Score If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0 If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1 If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2 If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3																																																																																																																																																																																																																																																		
					Step 15: Find Column In Table C Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C																																																																																																																																																																																																																																																		
					Posture Score A Muscle Use Score Force / Load Score RULA Score 																																																																																																																																																																																																																																																		
					Neck Score Trunk Score Leg Score 																																																																																																																																																																																																																																																		

based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

Abbildung 2.1: RULA Übersicht [16].

2.2 Algorithmen

2.2.1 Change Point Detection

CPD dient dazu abrupte Veränderungen in Zeitreihen zu finden. Diese Veränderungen heißen Changepoints. Changepoints sind die Übergänge zwischen zwei verschiedenen Phasen. Jede dieser Phasen besteht dabei aus zeitlich aufeinander folgenden Datenpunkten. Diese Datenpunkte haben eine eigene gemeinsame Verteilung im Durchschnitt und Amplitude. Das Programm ist in der Lage nicht nur Veränderungen im Durchschnitt zu erkennen, sondern auch Veränderungen in der Amplitude (siehe Abbildung 2.2).

Wenn ein Gelenk statisch ist, verändert sich dessen Wert trotzdem geringfügig, aufgrund von Messungenauigkeiten. Das bedeutet, wenn lange eine Pose statisch gehalten wird, haben die Winkel der Gelenke einen statischen Wert, wobei das Rauschen durch Messungenauigkeiten Veränderung in der Zeitreihe sind. Dies kann als eine Phase beschrieben werden. Sofern

diese Pose jedoch verändert wird, bricht die Phase ab und ein Changepoint entsteht. Wenn eine Person sich viel bewegt, entstehen ständig neue Phasen und somit auch neue Changepoints. Daraus ergibt sich, dass wenn eine Zeitlang keine Changepoints in einem Gelenk auftreten, dieses als statisch gewertet werden kann.

Es wird eine Unterteilung zwischen offline und online-Algorithmen vorgenommen. Offline Algorithmen benötigen zur Analyse den gesamten Datensatz. Hierbei ist das Ziel, alle Changepoints zu finden. Während online Algorithmen, ihre Daten nach und nach bekommen und analysieren. Dabei versuchen sie einen Changepoint möglichst Zeitnah zu finden und dabei False-Alarms zu vermeiden. Hierbei sind offline Algorithmen genauer, während online Algorithmen wesentlich schneller sind [2].

Zusätzlich wird zwischen parametrisierende Algorithmen und nicht-parametrisierende Algorithmen unterschieden. Parametrisierende müssen vorher mit Daten trainiert werden. Und erreichen damit auch eine sehr hohe Genauigkeit.

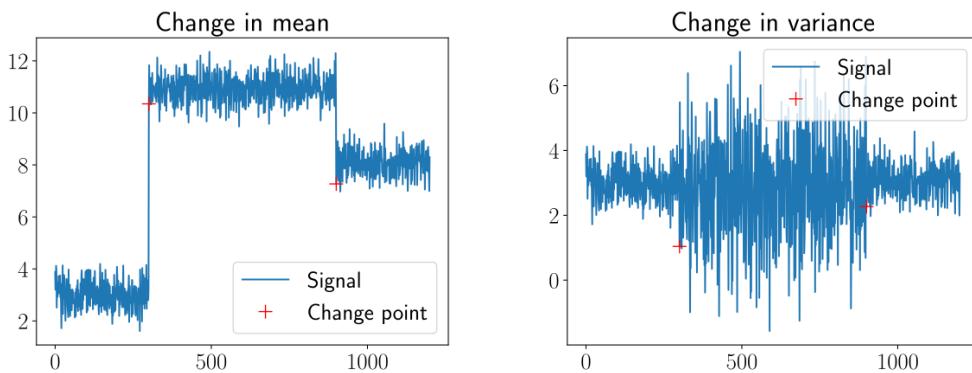


Abbildung 2.2: Links Änderungen im Mittelwert; Rechts Änderungen in der Varianz [19]

2.2.2 Fast Fourier Transform

FFT ist ein effizienterer Algorithmus zur Frequenz Filterung, als die Diskreten Fourier Transformation. Jedes Signal lässt sich als eine Summe von Sinus-Wellen unterschiedlicher Frequenzen beschreiben. Mit FFT ist es möglich aus einem Signal, diese Frequenzen und deren Amplitude herauszufiltern. FFT hat dabei eine Laufzeit von $\mathcal{O}(n * \log(n))$ [4]. Die Auflösung im Frequenzspektrum ist begrenzt und abhängig von der Anzahl der Messpunkten sowie deren Frequenz. Die Anzahl der Datenpunkte ist n , f_s die Frequenz der Datenpunkte, dann errechnet sich Δf die minimale Auflösung wie folgt:

$$\Delta f = \frac{f_s}{n}$$

Somit können keine Frequenzunterschiede, welche kleiner als Δf sind, erkannt werden. Da die Ergebnisse der FFT sich ab der Hälfte spiegeln, ist die Hälfte der Ergebnisse für diese Arbeit redundant. Diese ist in Abbildung 2.3 zu sehen. In der Abbildung werden zwei Sinus Wellen addiert, eine mit 10Hz und eine mit 40Hz. Darunter ist das Ergebnis der FFT zu sehen. Durch die beschränkte Auflösung, der Anzahl der Messpunkte und die redundanten Daten, ergibt sich eine maximale Frequenz f_{max} , die gemessen werden kann:

$$f_{max} = \frac{n * \Delta f}{2}$$

Repetitive Bewegungen können als periodische Bewegungen gesehen werden. Diese wiederum als Frequenzen. Um diese herausfiltern, wird in dieser Arbeit FFT eingesetzt.

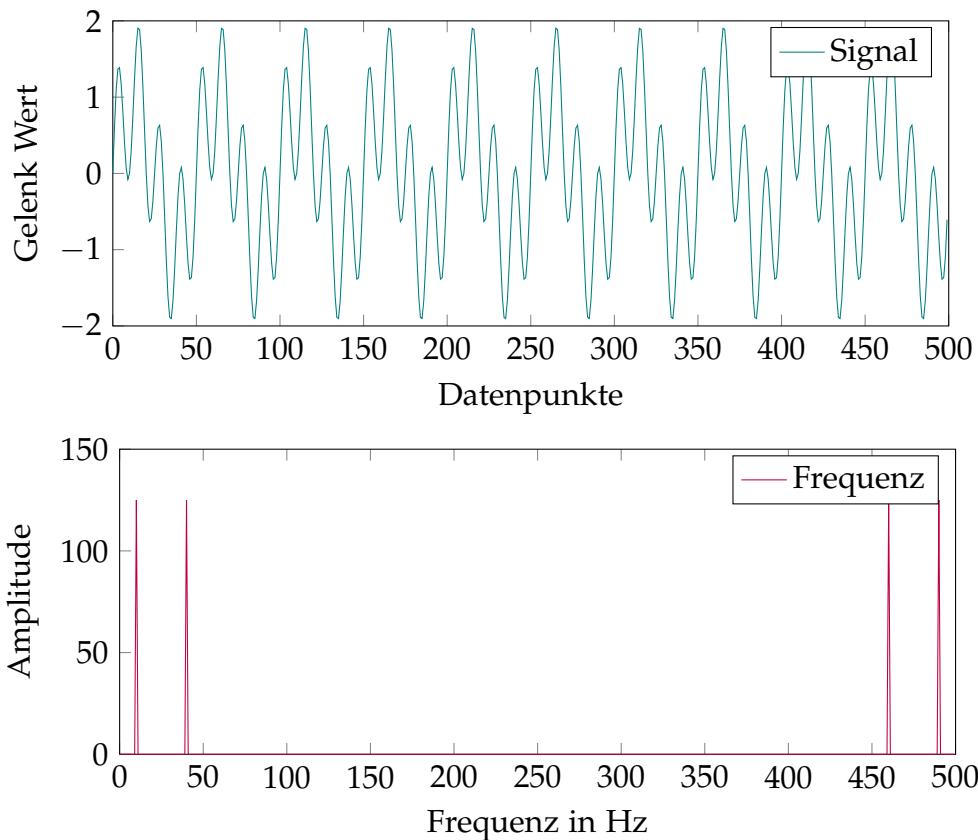


Abbildung 2.3: Beispiel einer FFT

2.3 Window

Die FFT geht davon aus, dass vor und nach dem Ausschnitt das Signal unendlich wiederholt wird. Wenn der Ausschnitt zur Analyse ein Vielfa-

ches der Frequenzen ist und somit der Wert vom Anfang mit dem Ende übereinstimmt, kommt es dabei zu keinen Problemen. Ist das nicht der Fall, kommt es zum Spectral Leakage Problem, welches die gefilterten Frequenzen verzerrt.

(siehe Abbildung 2.4)

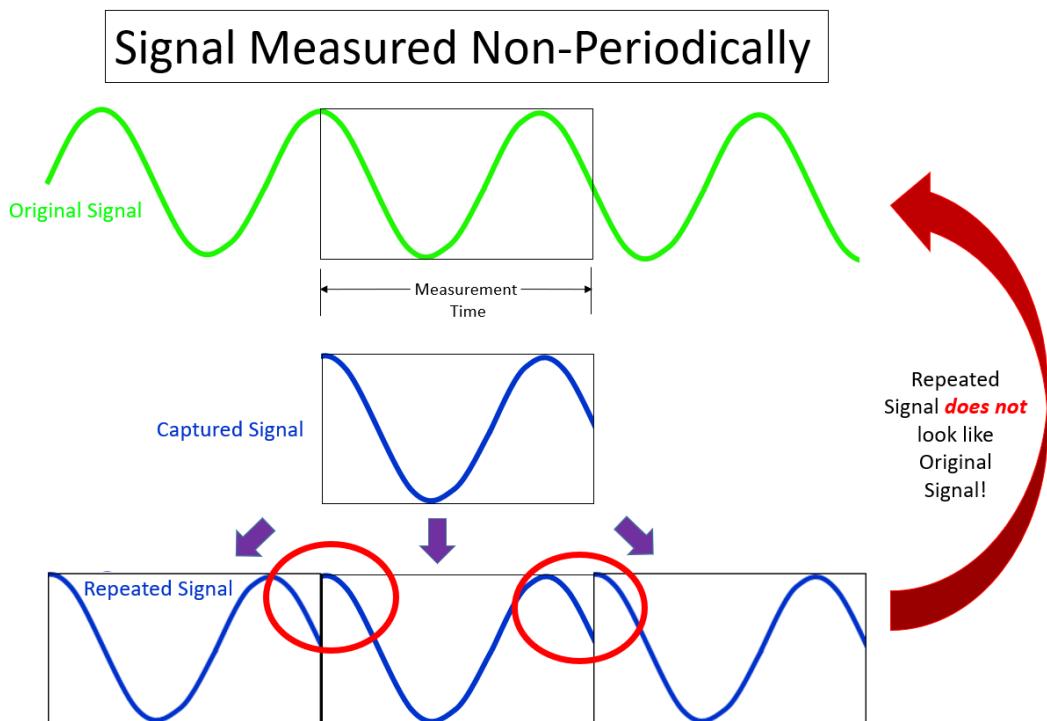
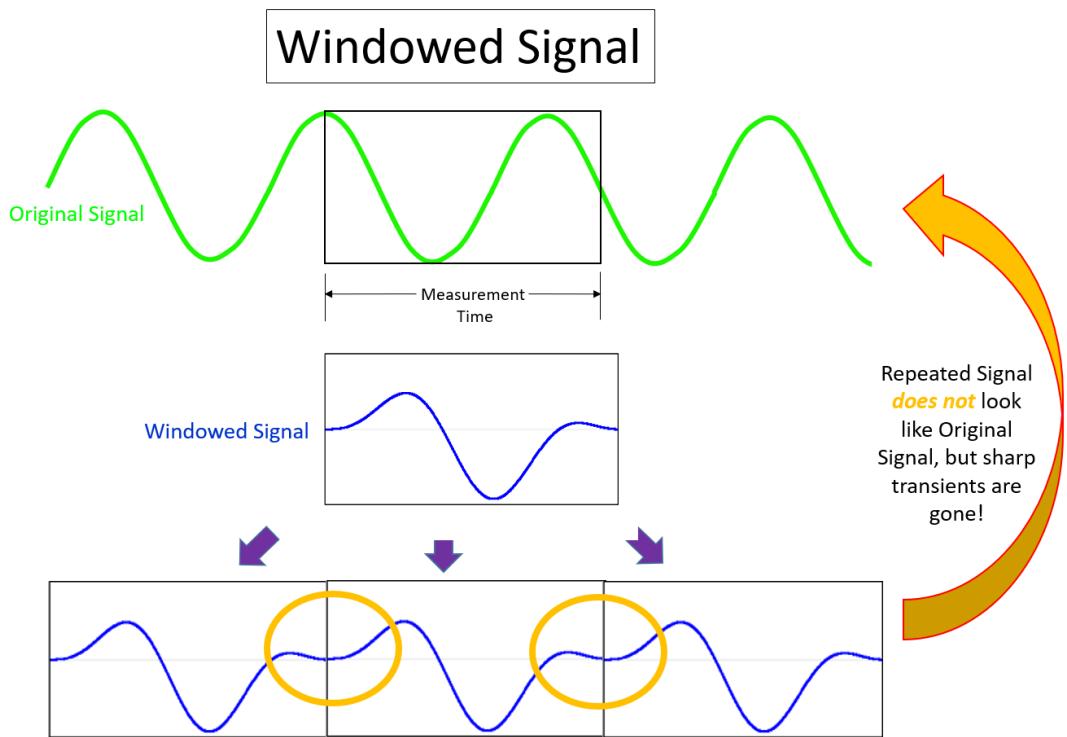


Abbildung 2.4: Spectral Leakage [25]

Im Einsatz mit Echtwelt-Datensätzen ist es fast nie der Fall, dass der Ausschnitt mit der Frequenz übereinstimmt. Wenn das Signal nicht perfekt periodisch sind, kommt es unweigerlich zum Spectral Leakage. Um dieses Problem zu verhindern, wird ein sogenanntes Window mit dem Signal verrechnet. Welches die beiden Enden angleicht und sind somit ist der Ausschnitt unendlich wiederholbar. Das ist in Abbildung 2.5 zu sehen.



3 Stand der Technik

Es gibt bereits viele technische Implementationen von Ergonomie Verfahren. Hierbei gibt es eine Bandbreite an verschiedenen Ansätzen. Im folgenden Abschnitt wird zuerst ErgoSentinel beschrieben, weil es eine Implementation von RULA ist. Als Nächstes wird ErgoExplorer (2022) vorgestellt, da dies eine sehr neue Implementation ist. Im Anschluss wird die Arbeit von Sohst [21] genauer erläutert. Die Arbeit von Sohst ist die Grundlage dieser Arbeit.

3.1 ErgoSentinel

ErgoSentinel ist eine 2019 entwickelte technische Implementation von RULA [14]. Sie basiert auf den vorherigen Prototypen K2RULA [15]. Es wurde für den Einsatz in Fabriken sowie Agrar- und Nahrungsmittelindustrie entwickelt. Die Analyse des Arbeitsplatzes ist dabei auf der Microsoft Kinect gestützt. Die Weiterentwicklung von ErgoSentinel gegenüber K2RULA besteht darin, dass nun auch Daten in Echtzeit ausgewertet werden können. Eine offline Auswertung ist weiterhin auch möglich. Es wird dabei immer nur die Person analysiert, welche sich am nächsten zur Kamera befindet. Die Berechnung des Scores folgt der RULA Vorgabe, dabei werden aber Muskelarbeit und Lasten ignoriert. ErgoSentinel besitzt dabei eine grafische Oberfläche (siehe Abbildung 3.1), welche an beiden Rändern die Werte für die einzelnen Gelenke wiedergibt. In der Mitte ist der gesamte Körper zu sehen und der End-Score. Zusätzlich gibt ErgoSentinel ein akustisches Warnsignal aus, sobald ein Score von über 5 überschritten wurde. Doch ErgoSentinel wurde nur für statische Posen getestet. Damit ist unklar, wie gut das Programm in der Praxis Bedingungen funktioniert.

3.2 ErgoExplorer

Der ErgoExplorer ist eine 2022 entwickelte technische Implementation von REBA [6]. Die Daten werden automatisch aus Videostreams extrahiert. Dabei konzentrieren sie sich auf die Analyse von mehreren Personen. Bei der Berechnung des REBA Score werden nur die Gelenkwinkel einbezogen und nicht Last oder Muskelarbeit. ErgoExplorer ist in der Lage, positive und negative Highlights zu speichern. Wenn z. B. ein Arbeiter ein hohes Risiko für Haltungsschäden hat, werden diesem Ausschnitte gezeigt, mit



Abbildung 3.1: ErgoSentinel Übersicht [14].

Empfehlungen zur Verbesserung. Die visuelle Präsentation ist in vier Teile aufgeteilt:

- ErgoView:
 - REBA-Tables
 - ErgoGauge
 - ErgoMovement
- TimeLine

Abbildung 3.2 gibt einen Einblick in die grafische Darstellung des Programms. Zentral ist eine statische Figur eines Mannes abgebildet, der zur Orientierung dienen soll. Darum sind die REBA-Tables angeordnet. Diese schlüsseln auf, wie der Score berechnet wird. Da darüber befindet sich ErgoGauge, welches eine Übersicht über alle Gelenke gibt und deren Bewertung. Unten befindet sich ErgoMovement welches Bilder und Videos von den zu beobachtenden Personen enthält. Jeweils an den Seiten befindet sich ErgoTimeline, diese soll einen Überblick über den zeitlichen Verlauf, der Bewegung geben. Hierbei benötigt der Beobachter einige Erfahrungen, um die Grafiken im Hinblick auf statisch oder repetitive Phasen zu interpretieren.

3 Stand der Technik

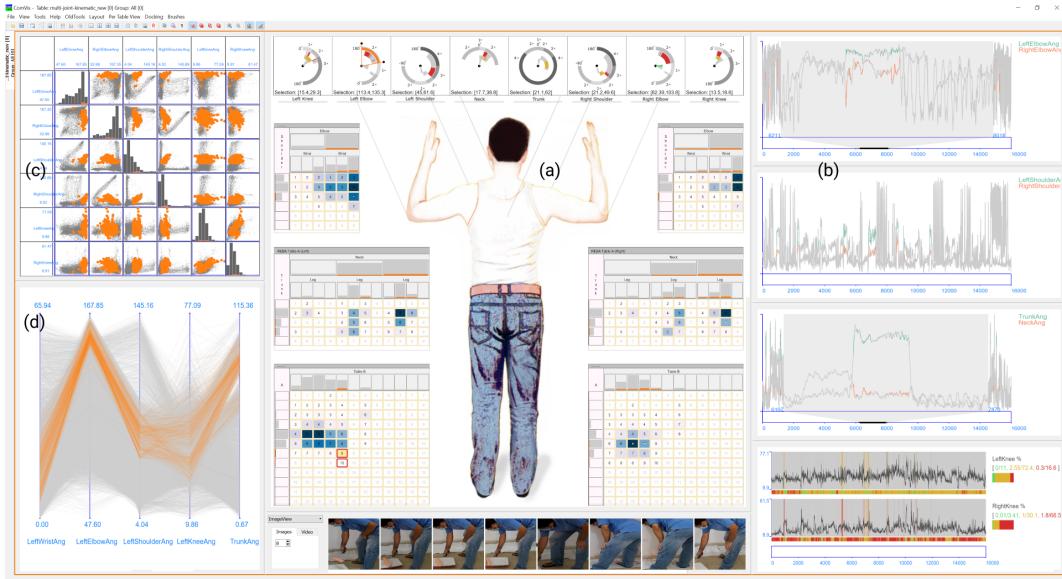


Abbildung 3.2: ErgoExplorer Übersicht [6].

3.3 MRO2.0-Werkerassistenzsysteem

Diese Arbeit baut auf der Arbeit von Sohst [21] auf, welche in dem folgenden Abschnitt genauer erläutert wird. Das Assistenzsystem dient vor allem zu Evaluierung von Personen, welche an Werkbänken arbeiten. Dabei wird anhand einer 3D-Kamera die Haltung einer arbeitenden Person erfasst. Zudem verfügt es über eine visuelle Präsentation, die in Abbildung 3.3 zusehen ist.

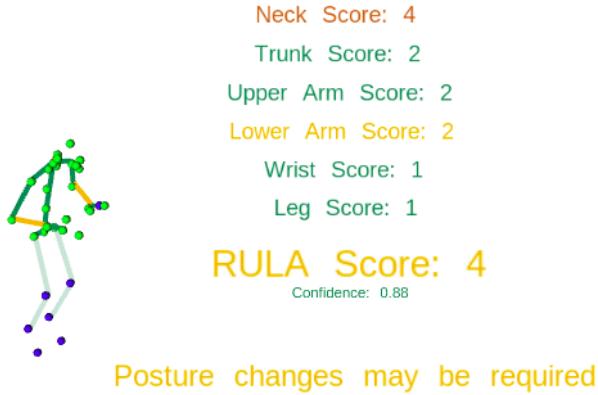


Abbildung 3.3: Übersicht vom Assistenzsystem [21]

3.3.1 Input

Zur Erkennung der Person wird eine Microsoft Azure Kinect eingesetzt, diese wird in Unterabschnitt 5.1.2 genauer erklärt. Diese RGB-Kamera mit einem Tiefensensor sendet ihre erfassten Daten mit 15hz an das Assistenzsystem. Die Daten bestehen aus ein Skelett mit 32 Punkten und deren dazugehörigen Confidence Level. Das Confidence Level gibt an wie sicher sich das System über die Position der Punkte ist. Es gibt 3 verschiedenen Stufen, welche das Assistenzsystem folgenden Werten zuordnet, none(0.1), low (0.25) und medium(1.0). Diese werden später mit dem RULA Score verrechnet. Sollte keine Person von der Kinect erkannt werden, so werden nur leere Daten gesendet und das Assistenzsystem arbeitet dann auch nicht.

3.3.2 Berechnung der Winkel

Mit den Datenpunkten werden die Winkel für die in RULA wichtigen Gelenke errechnet. Durch den Beschleunigungssensor ist es möglich, einen Referenzvektor zum Boden herzustellen. Dieser wird benötigt, um die Rotation der Person zu erfassen. Mit der Rotation ist es möglich, z. B. vorgebeugte Haltungen zu erkennen. Dann wird aus jeweils drei Punkten des Skeletts ein Winkel gebildet. Die Confidence Level der Punkte werden anschließend

mit den Winkeln verrechnet. Dabei ist die Azure Kinect nicht in der Lage, die Position des Handgelenks eindeutig zu bestimmen. Deshalb werden die Handgelenke beim RULA Score nicht berücksichtigt. Die berechneten Winkel, einschließlich des der Handgelenke, werden anschließend auch mit 15Hz weiter gesendet.

3.3.3 Berechnung des Scores

Zuerst wird ein Score für jeden Körperteil einzeln berechnet. Dabei werden beide Körperhälften separat berechnet. Zusätzlich werden der linke und rechte Arm zuerst getrennt bewertet. Diese werden anschließend zu einem Score zusammengefasst, in die Analyse fließt dann der höhere Wert ein. Da die Handgelenke nicht verlässlich bestimmt werden können, wird angenommen, dass es keine schädliche Haltung haben. Deshalb wird hier der Wert von eins vergeben. Außerdem kann nicht ermittelt werden, ob die Person sich anlehnt oder abstützt. Anschließend werden diese Posture-Scores mit dem Confidence Level verrechnet und auf ganze Zahlen gerundet, so wird mit allen Körperteilen verfahren. Mit den vorhanden Daten wird anschließend der RULA Score berechnet. Hierbei werden Lasten, Muskelarbeit und die Handgelenke vernachlässigt. Eine gleichmäßige Belastung der Beine wird aber mit berechnet.

Nachdem der Score-Berechnungs-Vorgang abgeschlossen ist, wird das Skelett durch RViz 3D dargestellt, sowie die Scores der Gliedmaßen. Und eine Empfehlung zur aktuellen Haltung (siehe Abbildung 3.3).

4 Konzept

Im folgenden Kapitel wird der Aufbau und das Konzept dieser Arbeit vorgestellt.

Wie aus Kapitel 3 hervorgeht, wurde bei bisherigen Anwendungen der Ergonomieverfahren die Muskelarbeit vernachlässigt. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Muskelarbeit mit in die Berechnung des RULA Scores einbezogen. Anforderungen für das Programm sind, dass es in der Lage sein, Muskelarbeit nach den Vorgaben von RULA zu erkennen. Hierbei muss das Programm sowohl statische Posen und repetitive Bewegungen erkennen können. Außerdem muss es die Haltungen in Echtzeit bewerten können und dabei in das System von Sohst integrierbar sein.

Zuerst wird der Aufbau erklärt. Anschließend wird die Auswahl der Algorithmen beschreiben und begründet.

4.1 Funktion

Die Aufgabe besteht darin, potenzielle Probleme des Muskelskelettsystems bei Menschen bei der Arbeit an Werkbänken und bei Reparaturen zu erkennen. Dabei ist RULA am besten für die ergonomische Bewertung geeignet [9].

RULA gibt eine genaue Definition für Muskelarbeit an. Muskelarbeit findet statt, wenn eine Person eine Pose statisch hält oder eine Bewegung repetitiv ausführt. Eine Pose gilt als statisch, wenn diese für über eine Minute lang gehalten wird. Eine Bewegung gilt als repetitiv, wenn diese für vier oder mehr mal in einer Minute wiederholt wird [17].

RULA teilt den Körper in zwei Regionen auf, die Arme und der Torso. Diese beiden Körperregionen werden dem entsprechend einzeln bewertet. Für jede Körperregion wird ein Wert für Muskelarbeit gebildet, welcher entweder 0 oder 1 betragen kann. Wobei 0 ein guter und 1 ein schlechter Score ist. Der Wert wird wie folgt bestimmt:

- 0, wenn keine eine Pose statisch und keine Bewegung repetitiv ist
- 1, wenn eins der beiden zutrifft.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese beiden Werte für Muskelarbeit zu bestimmen.

4.2 Aufbau

Als Input bekommt das Programm, zur Bewertung der Muskelarbeit 15 Daten pro Sekunde vom Assistenzsystem, die eine eindimensionale Abstraktion der Gelenkwinkel Winkel darstellt. Die Berechnung dieser kann in der Arbeit von Sohst [21] entnommen werden. Dabei gibt es folgende Gelenke, welche in die Körperregionen Arme und Körper eingeteilt werden.

Arme:

- Linke Schulter
- Rechte Schulter
- Linker Ellenbogen
- Rechter Ellenbogen
- Linke Handgelenk
- Rechte Handgelenk

Körper:

- Nacken
- Becken
- Beine

Dabei ist anzumerken, dass die Handgelenke in die Bewertung nicht mit einbezogen werden, weil diese wie in Unterabschnitt 3.3.2 beschrieben nicht zuverlässig bestimmt werden können.

Das Programm ist in 3 Teile aufgeteilt.

1. Changepoint Detection
2. Fast Fourier transform
3. Bewertung

Der erste Teil bestimmt Changepoints, welches zur Erkennung von statischen Posen verwendet werden. Im zweiten Teil wird mit FFT Frequenzen bestimmt, welche der Erfassung repetitiver Bewegungen dienen. Die Changepoints und Frequenzen evaluiert und ein Muskelarbeit-Score gebildet. Zum Schluss werden die Muskelarbeit Werte für die beiden Körperregionen zum Assistenzsystem weiter geleitet. In Abbildung 4.1 ist dieser Ablauf grafisch dargestellt.

4 Konzept

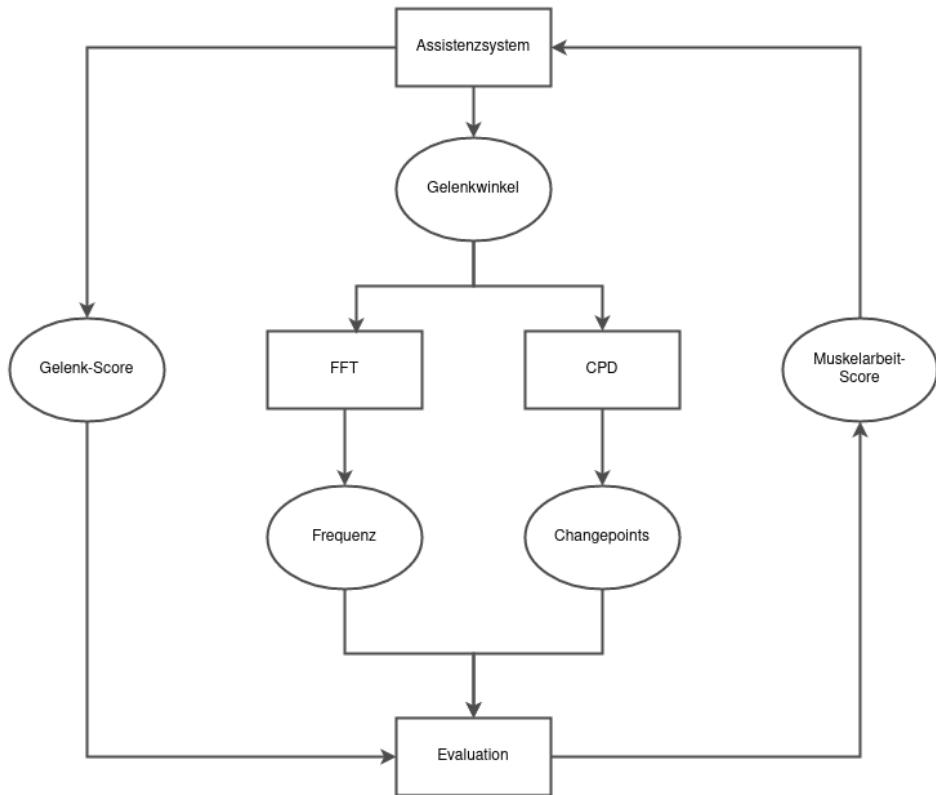


Abbildung 4.1: Aufbau des Programms

Die Herausforderungen dabei sind, dass viele Daten in kurzer Zeit, mit möglichst wenig Rechenaufwand in Echtzeit analysiert werden müssen.

die Evaluation der Ergonomie gewählt. Bei der Arbeitstation handelt es sich um eine Werkbank, welche in Abbildung 4.2 zu sehen ist. An dieser sollen Arbeiten simuliert werden.

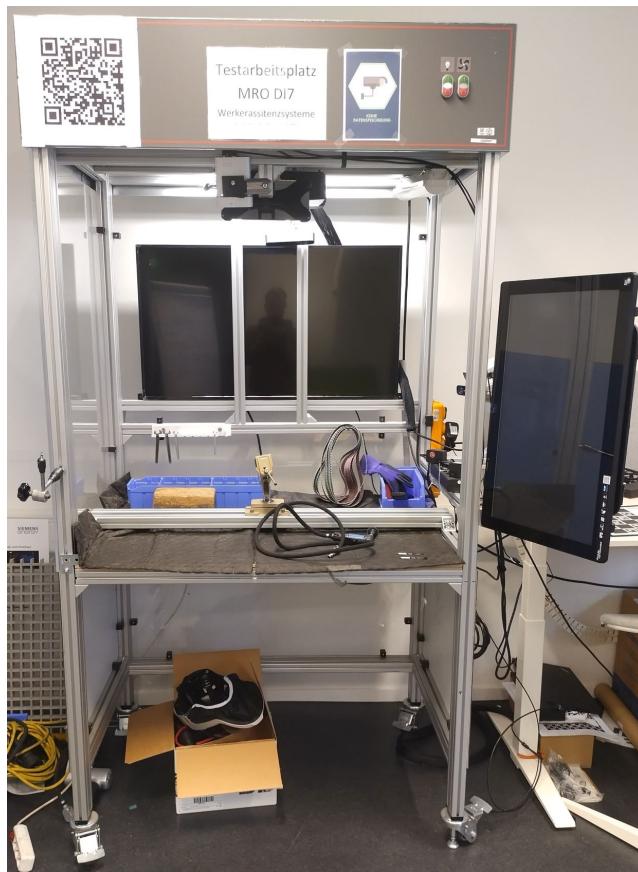


Abbildung 4.2: Werkbank, an dem die Tests durchgeführt werden

4.3 Konzept Changepoint Detection

Es gibt viele verschiedene CPD Algorithmen, wobei jeder bestimmte Vor- und Nachteile hat. Hierbei müssen diese immer abgewogen werden. Die Anforderungen an einen CPD Algorithmus für diese Arbeit sind:

- Echtzeit Verarbeitung
- Changepoints möglichst schnell erkennen
- Möglichst keine False-Alarms
- Resistent gegen Rauschen
- Resistent gegen einzelne stark abweichende Messungenauigkeiten

Ein nicht unbedingt notwendiger Bonus ist, dass die Rechenzeit begrenzt werden kann. Dies ist entweder durch ein vorher definiertes Limit möglich oder durch den Abbruch des Algorithmus, wobei dieser die bis dahin beste errechnete Lösung anbietet.

Bei der Auswahl ist zu beachten, dass parametrisierend Algorithmen höhere Rechenzeiten haben und nicht gut mit großen Datenmengen skalieren,

zudem müssen die vorher trainiert werden. Dafür erreichen sie eine höhere Genauigkeit [2].

In dieser Arbeit kommt der Bayesian Online Changepoint Detection (BOCD) [1] zum Einsatz. BOCD ist ein online, nicht parametrierender Algorithmus mit einer linearen Worst Case Laufzeit. Diese Eigenschaften machen ihn sehr schnell. Dabei wird die Implementation von Tolpin verwendet [23]. Diese erfüllt alle genannten Anforderungen. Außerdem verfügt sie über eine integrierte Lösung alter Daten, was Speicherprobleme verhindert. Zudem kann die Rechenzeit vorher begrenzt werden.

4.4 Frequenz Bestimmung

Im folgenden Absatz geht es um die Bestimmung der Frequenz von Gelenken. Repetitiven Bewegungen können auch als periodische Wellen gesehen werden. Periodische Wellen können wiederum als eine Summe von Sinuswellen beschrieben werden.

Hierbei gibt es zwei verschiedene Methoden diese zu bestimmen, einmal mittels FFT oder Wavelets. FFT kann nur die Frequenzen eines Signals aus einem ganzen Datensatz herausfiltern. Während Wavelets auch eine zeitliche Auflösung besitzen. Das bedeutet, es ist möglich eine Änderung der Frequenzen innerhalb eines Datensatzes zu erfassen. Dies geschieht auf Kosten der Auflösung im Frequenzbereich, womit Wavelets die zeitliche Auflösung mit der im Frequenzbereich abwägen müssen. Zudem ist eine sehr hohe Auflösung im Frequenzbereich erforderlich, da äußerst kleine Frequenzen erkannt werden müssen. Daraus erschließt sich, dass in dieser Arbeit FFT verwendet wird.

4.5 Bewertung

In diesen Teil werden die Changepoints und Frequenzen aus den anderen beiden Teilen evaluiert. Die statischen Phasen werden auf der Grundlage der gemessenen Changepoints erfasst. Auf Grundlage der gemessenen Frequenzen von der FFT werden repetitive Bewegungen identifiziert. Der Grundwert für Muskelarbeit ist für beide Körperregionen 0.

Wenn ein Gelenk über eine Minute keinen Changepoint aufweist, gilt es als statisch und der Muskelarbeit-Score für die Körperregion wird auf 1 gesetzt. Im RULA Text gibt es die Vorgabe, dass eine Bewegung als repetitiv gilt, wenn diese 4-mal pro Sekunde ausgeführt wird. Eine Bewegung in der Minute entspricht $\frac{1}{60} \text{Hz}$.

$$4 * \frac{1}{60} \text{Hz} = 0,066 \text{Hz} \approx 0,06 \text{Hz}$$

4 Konzept

Wenn die Frequenz eines Gelenks höher als $0,06\text{Hz}$ ist, gilt dies als repetitiv und der Muskelarbeit-Scores der dazugehörigen Körperregion wird auf 1 gesetzt.

Zum Schluss werden die beiden Muskelarbeit-Scores an das Assistenzsystem gesendet.

5 Implementierung

Ausgehend von der Erläuterung der Technik, über die Beschreibung des Arbeitsplatzes soll dann die Implementierung des Programms beschrieben werden.

5.1 Technik

5.1.1 ROS

Die Arbeit von Sohst nutzt das Robot Operating System (ROS) Framework. Um eine einfache Integration zu ermöglichen, wird diese Arbeit ebenfalls ROS nutzen.

ROS ist ein Open Source Entwicklungs-Kid für Robotik. Dabei basiert es auf sogenannte Nodes. Jeder Node ist dabei einem bestimmten Funktionsbereich zugeordnet. Das Programm dieser Arbeit ist ein Node. ROS ermöglicht dabei eine Kommunikation zwischen den Nodes. Die Übertragungswege können in zwei Hauptkategorien eingeordnet werden.

1. Topics: Dieser Weg ist für die Übertragung von Datenströme geeignet. Die Kommunikation erfolgt asynchron, in dem ein Node auf einen Topic die Daten veröffentlicht und andere Nodes diesen abonnieren können. In dieser Arbeit wird dieser Weg ausschließlich verwendet.
2. Services: Ist eine synchrone Möglichkeit der Kommunikation zwischen Nodes. Hierbei werden hauptsächlich kleine und zeitkritische Daten übertragen. Dies kann nützlich sein, um z. B. Einstellungen von Nodes zu ändern.

ROS ist dabei Sprachen unabhängig. Damit besteht die Möglichkeit mit jeder Programmiersprache arbeiten zu können. Da ROS libraries für C++ und Python anbietet, ist es sinnvoll diese zu nutzen. Ein Vorteil von ROS ist zudem mit Rosbag Kommunikation aufzunehmen und wieder abzuspielen. ROS wird seit 2007 entwickelt. Es gibt 2 Hauptversionen: ROS1 und ROS 2. In dieser Arbeit wird ROS 1 verwendet. Jede ROS Version hat Unterversionen, welche jeweils für eine bestimmte Ubuntu und Python Version konzipiert wurden. Sohst verwendet ROS Melodic für Ubunut 18.04 mit Python 2.

5.1.2 Kinect

Die Kinect Kamera ist eine D-RGB Kamera, welche von Microsoft entwickelt wurde und als Hardware Zusatz der X-Box 360 konzipiert wurde. Für diese Arbeit wird eine Azure-Kinect eingesetzt. Es handelt sich hier um die dritte, weiterentwickelte Version. Diese Version ist nicht mehr mit der X-Box kompatibel und somit ausschließlich für Entwickler konzipiert. Die Azure-Kinect findet hier Anwendung, da sie über eine Schnittstelle mit ROS verfügt und automatische Personenerkennung [11].

5.1.3 Docker

In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass Software auf einem System funktioniert und auf einem anderen nicht. Ursache hierfür sind meistens unterschiedliche Versionen von Programmen, Betriebssystemen oder Dateien. Mit Docker ist es möglich, dieses Problem zu umgehen. Docker ist ein Tool, welches eine isolierte Umgebung für eine Software erschafft, dabei ist sie Arbeitsweise ähnlich zu einer Virtual Machine (VM). Durch seine Architektur ist Docker wesentlich effizienter und benötigt weniger Ressourcen als eine VM. Zuerst muss ein Docker-Image mit dem Programm und einer passenden Umgebung erstellt werden. Anschließend kann dieses Dock-Image auf jedem Zielsystem verwendet werden. Jedes Docker-Image hat dann alle benötigten Dateien und Software gespeichert. Aus einem Docker-Image kann ein Docker-Container generiert werden. In diesem Docker Container können die Programme isoliert vom Hauptsystem und anderen Docker-Containern laufen [5]. Dabei gibt Betriebssystem jedoch übergreifende Einschränkungen. In dieser Arbeit wird Docker verwendet, um Versionsunterschiede zu umgehen. Da die Arbeit von Sohst in Python 2.7 geschrieben ist, wird in dieser Arbeit Docker verwendet, um so die Implementation des BOCD [22] einfacher verwenden zu können. Die BOCD Implementation [23] benötigt aber Python 3. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit Docker verwendet. Zudem ermöglicht Docker eine einfachere Installation ermöglicht.

5.2 Programm

Im Folgenden wird der Aufbau des Programms zur Erfassung der Muskelarbeit erläutert. Dafür wird zuerst der Umgang mit den Daten erklärt. Anschließend die Umsetzung der beiden Methoden CPD und FFT. Abschließend erfolgt die Bewertung erläutert.

5.2.1 Verarbeitung der Daten

Das Assistenzsystem überträgt die den Wert für die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Gelenke und deren Posture-Score. Diese Daten werden 15 mal in der Sekunde übertragen. Nach dem Empfangen werden die Daten für die Handgelenke gelöscht. All diese Daten sofort zu verarbeiten, ist zu rechenintensiv. Deshalb werden die Daten zuerst zwischengespeichert und dann zweimal pro Sekunde abgearbeitet.

Bei der Bearbeitung werden zuerst die neuen zwischengespeicherte Daten, dem Datensatz, welcher bearbeitet wird, angefügt. Es werden maximal 900 Daten gespeichert. Das entspricht bei 15 Daten pro Sekunde 1 Minute. Ältere Daten werden gelöscht. Die Daten werden zunächst durch die CPD verarbeitet und anschließend durch FFT. Die Ergebnisse werden anschließend in der Bewertung evaluiert.

5.3 Erfassung von Changepoints

Beim Start des Programms wird eine BOCD-Instanz für jedes Gelenk erstellt. Diese Instanzen besitzen als Parameter eine Verzögerung und ein Schwellenwert. Dabei hat sich wie später in Kapitel 6 erläutert herausgestellt, dass 7 für die Verzögerung und 30% für die Evaluation die optimalen Werte sind. Diese werden in der Hauptschleife für jeden Winkel mit allen neuen Datenpunkten aufgerufen. Dabei wird für jeden neuen Datenpunkt die BOCD-Instanz upgedatet. Hierbei speichert die Instanz die Datenpunkte und berechnet dann für jeden Datenpunkt eine Wahrscheinlichkeit, dass dieser einen Changepoint darstellt. Diese Berechnung wird immer präziser, je weiter der Punkt in der Vergangenheit liegt. Anschließend werden diese Wahrscheinlichkeiten auf Changepoints geprüft. Die Prüfung funktioniert so, dass der Datenpunkt um die Verzögerung, nach einem Changepoint überprüft wird. Somit muss an dieser Stelle zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit abgewogen werden. Wenn der geprüfte Datenpunkt eine Wahrscheinlichkeit für einen Changepoint hat, der größer als der Schwellenwert ist, wird dieser Punkt als Changepoint behandelt.

In der Abbildung 5.1 wird der Schwellwert am Beispiel der Gelenkwinkel des Beckens dargestellt. Die obere Grafik zeigt dabei die Werte des Beckens, während die untere Grafik die dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten abbildet. In dem Beispiel sind alle Werte über 20% ein Changepoint.

Wurde ein Changepoint detektiert, werden anschließend alle Daten vor dem Changepoint werden gelöscht. Diese Punkte sind für die weitere Berechnung nicht mehr relevant. Danach stehen nur noch die neuesten Daten bis zur Verzögerung zur Verfügung. Konnte längere Zeit kein Changepoint erkannt werden, werden Daten, die länger als eine Minute vorliegen, gelöscht um Rechenzeit zu sparen. Die erkannten Changepoints werden anschließend in

der Bewertung weiter evaluiert.

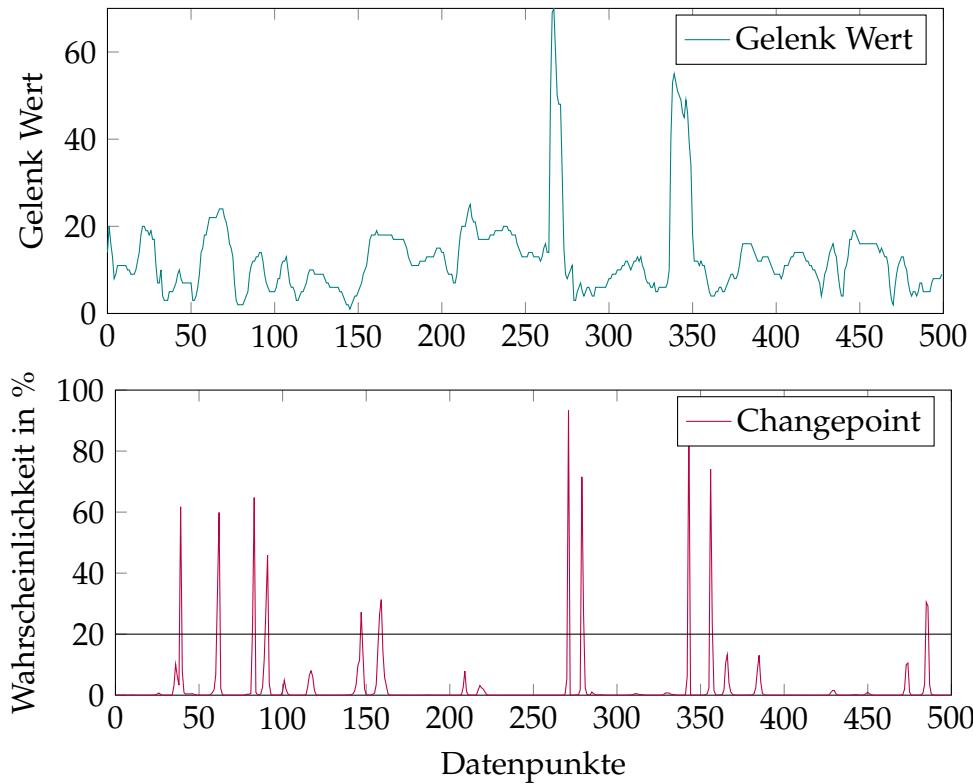


Abbildung 5.1: Beispiel für eine grafische Darstellung der Datenermittlung mittels BOCD anhand des Beckens.

5.4 Analyse der Bewegungen

Wie in Abschnitt 4.5 beschrieben, gilt ein Winkel mit einer Frequenz von $0,06\text{Hz}$ oder höher als repetitiv. Somit muss mindestens eine Auflösung von $0,06\text{Hz}$ gegeben sein. Wie bereits erwähnt bekommt das Modul 15 Datenpunkte pro Sekunde pro Gelenk übermittelt. Das entspricht 15Hz . Dabei berechnet sich die mindestens benötigten Datenpunkte wie in Unterabschnitt 2.2.2 beschrieben wie folgt:

$$\frac{15}{0,06} = 250$$

250 Datenpunkte bei 15 Datenpunkte pro Sekunde entspricht 16,66 Sekunden. Da es sich aber nicht um perfekte Sinuswellen handelt, sondern um Bewegungen, sind mehr Daten erforderlich. In Kapitel 6 gezeigt sind 900 Datenpunkte notwendig. Bei 15 Daten pro Sekunde entspricht das einer Zeitreihe mit einer Länge von einer Minute. Mit dieser Datenmenge kann

eine maximale Frequenz von $7,5\text{Hz}$ mit einer minimalen Auflösung von $0,0167\text{Hz}$ gemessen werden. Diese geringe minimale Auflösung ist wichtig, weil auch kleinere Frequenzen gemessen werden müssen, um nicht repetitive Bewegungen zu erfassen. Der Nachteil dabei ist, dass das Programm eine Minute benötigt genau arbeiten zu können.

Die Daten dieser Arbeit sind nicht periodisch da es sich um Bewegungen handelt. Deshalb muss, wie in Abschnitt 2.3 erläutert, das Signal noch mit einem Window verrechnet werden. Dabei wird in dieser Arbeit das Hann-Window verwendet. Hann eignet sich hier, weil es einen guten Kompromiss bei der Genauigkeit zwischen der Amplitude und der Frequenz bietet [25]. In Abbildung 5.2 wird die Signalverarbeitung an einem Beispiel veranschaulicht. Das oberste Diagramm zeigt das Eingangssignal. Die Grafik darunter stellt das Hann-Window dar. Die nächste Grafik stellt das Signal, welches mit dem Hann-Window multipliziert wurde, dar. Hierbei ist zu sehen, dass das Signal die Form des Hann-Windows angenommen hat. In der untersten Grafik sind die gefilterten Frequenzen zu sehen

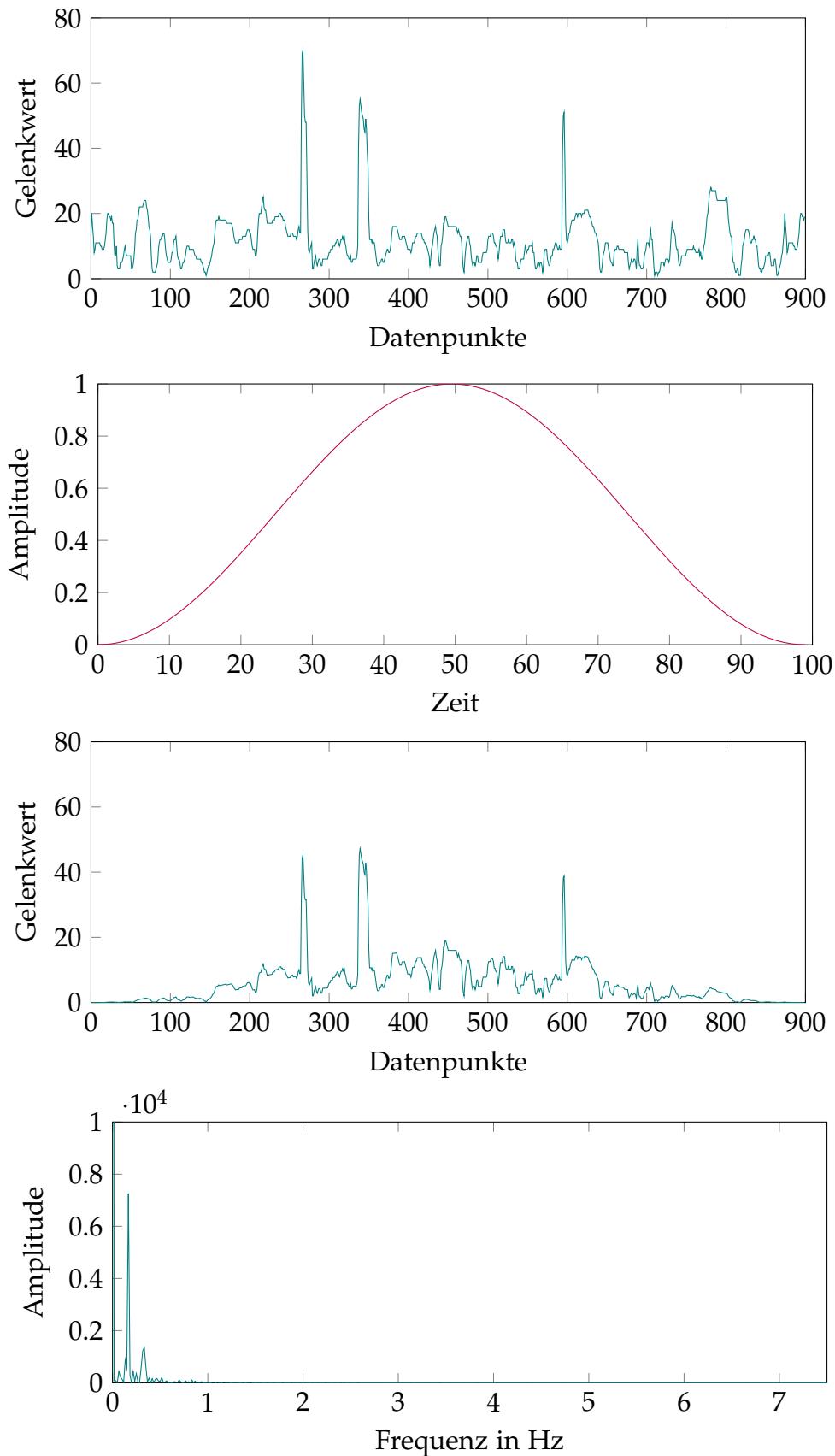


Abbildung 5.2: Beispielhafte Darstellung der Signalverarbeitung
26

Wie in der untersten Grafik der Abbildung 2.3 zu sehen ist, bestehen die Ergebnisse aus vielen verschiedenen Frequenzen. Daraus muss als Nächstes ein einzelner Wert gebildet werden, an dem gemessen werden kann, ob es sich um eine repetitive Bewegung handelt oder nicht. Dafür gibt es zwei Ansätze. Die erste Möglichkeit ist, einen gewichteten Durchschnitt zu bilden. Alternativ kann auch der höchste Ausschlag gewertet werden. Hier besteht auch die Möglichkeit, den Durchschnitt aus den beiden höchsten Ausschlägen zu bilden.

Test haben ergeben, dass ein gewichteter Durchschnitt keine verwendbaren Daten erzeugen. Dabei entstanden nur Frequenzen zwischen 0,02 und 0,03Hz, egal auf welchen Datensatz und Gelenk. Zu den ähnlichen Ergebnissen führte die Verwendung von einem gewichteten Durchschnitt. Somit wird nur die Frequenz mit der höchsten Amplitude genommen, was auch am besten der generellen Frequenz des Winkels darstellt. Aus diesem Grund wurde auf die Anwendung eines Fensters verzichtet.

5.5 Bewertung

Es wird für jedes Gelenk bestimmt, ob dieses, in Abhängigkeit zum Gelenk-Score, als statisch oder repetitiv bewertet wird. Wenn das Signal einem der beiden Bewertungen zugeordnet werden kann, wird der Muskelarbeit-Score der entsprechenden Körperregion auf 1 gesetzt. Wenn kein Gelenk einer Körperregion als statisch oder repetitiv gewertet wird, ist der Muskelarbeit-Score dieser Körperregion 0.

Ein Gelenk wird als statisch gewertet, wenn kein Changepoint im Zeitraum von einer Minute für das Gelenk gemessen wurde. Damit auch nur anstrengende statische Haltungen als Muskelarbeit gewertet werden, muss zusätzlich der Gelenk-Score größer als 1 sein. Die Bewertung basiert, wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, auf der Zuordnung dass ein Score von 1 den Idealzustand darstellt. Werte die darüber liegen, werden als belastende Muskelarbeit gewertet.

Analog dazu wird bei der Bewertung der repetitiven Bewegungen vorgegangen. Hier wird ein Gelenk als repetitiv gewertet, wenn seine Bewegungen eine Frequenz von über 0,06Hz aufweisen und der Gelenk-Score über 1 ist. Daraus ergibt sich ein Tupel an Muskelarbeit-Scores. Dieses Tupel wird anschließend an das Assistenzsystem gesendet. Hier wird der Muskelarbeit-Score in den RULA-Score integriert.

6 Evaluation

Im folgenden Kapitel wird das Programm evaluiert. Ziel ist es, die Wirksamkeit des Programms zu überprüfen. Hierzu werden in einem ersten Schritt die Werte für die Verzögerung sowie der Schwellenwert des BOCD bestimmt. Im nächsten Schritt erfolgt die Beschreibung der Testdaten, die in den folgenden Test Verwendung finden und es werden die Bewertungskriterien definiert. Im Anschluss wird noch einmal die gesamte Erkennung statischer Posen getestet und den Ergebnissen entsprechend angepasst. Zum Schluss gibt es eine Evaluation des gesamten Systems.

6.1 CPD Parameterbestimmung

Im folgenden Abschnitt wird die Genauigkeit des BOCD ermittelt. Dabei werden verschiedene Einstellungen der Parameter, Schwellenwert und die Verzögerung getestet. Zuerst werden die Testdaten beschrieben und im Anschluss die Bewertungskriterien. Danach wird der BOCD auf jeden Datensatz mit verschiedenen Werten für Verzögerung und den Schwellenwert getestet. Im Anschluss werden anhand der Qualität der Changepoints die besten Einstellungen ermittelt.

6.1.1 CPD Testdaten

Für die Tests werden 6 Datensätzen ausgewählt. Die ersten vier Datensätze zeigen jeweils einen Abschnitt eines Gelenks von aufgenommenen Daten. Die letzten beiden Datensätze wurden künstlich generiert. Diese Datensätze sind sehr unterschiedlich und sollen ein breites Spektrum von Situationen abdecken. Alle Testdatensätze bestehen aus 1000 Datenpunkten, was bei 15Hz einer Dauer von 66,667 Sekunden entspricht.

Diese Datensätze sind in Abbildung 6.1 zu sehen. Der Datensatz *1 Statisch* zeigt die Messung eines statischen Gelenks, welches sich am Anfang kurz bewegt. Der Datensatz *2 Repetitiv* steht für ein Gelenk mit einer repetitiven Bewegung. Hier gibt es viele Changepoints. Der nächste Datensatz *3 Statische Phasen* zeigt ein Gelenk, welches in Bewegungen ist und statische Phasen hat. Der Datensatz *4 Statische Abschnitte* besteht aus statischen Phasen.

Die Changepoints für die Messdaten wurden manuell bestimmt und mit roten Linien gekennzeichnet. Es ist möglich, dass hier einige Changepoints

nicht erkannt werden oder dass zu viele Changepoints identifiziert werden. Aufgrund der hohen Anzahl der Changepoints im Datensatz *2 Repetitiv*, wird das Ergebnis durch nicht erkannte Changepoints weniger stark beeinflusst. Ziel ist es jedoch in allen Messdaten möglichst alle Changepoints zu identifizieren.

Die Datensätze *5 Künstlich* und *6 Weißes Rauschen* sind künstlich generiert wurde. Dabei stellt *5 Künstlich* mehrere statische Phasen dar. Es ist zu erwarten, dass alles Changepoints erkannt werden und keine zu viel, da die Grenze zwischen den Abschnitten klar definiert sind. Der letzte Datensatz ist ein Weißes-Rauschen. Dieser zeigt eine lange statische Phase ohne Changepoints. Der Datensatz dient zum Test der Sensibilität der Einstellung. Hier ist zu erwarten, dass keine Changepoints erkannt werden.

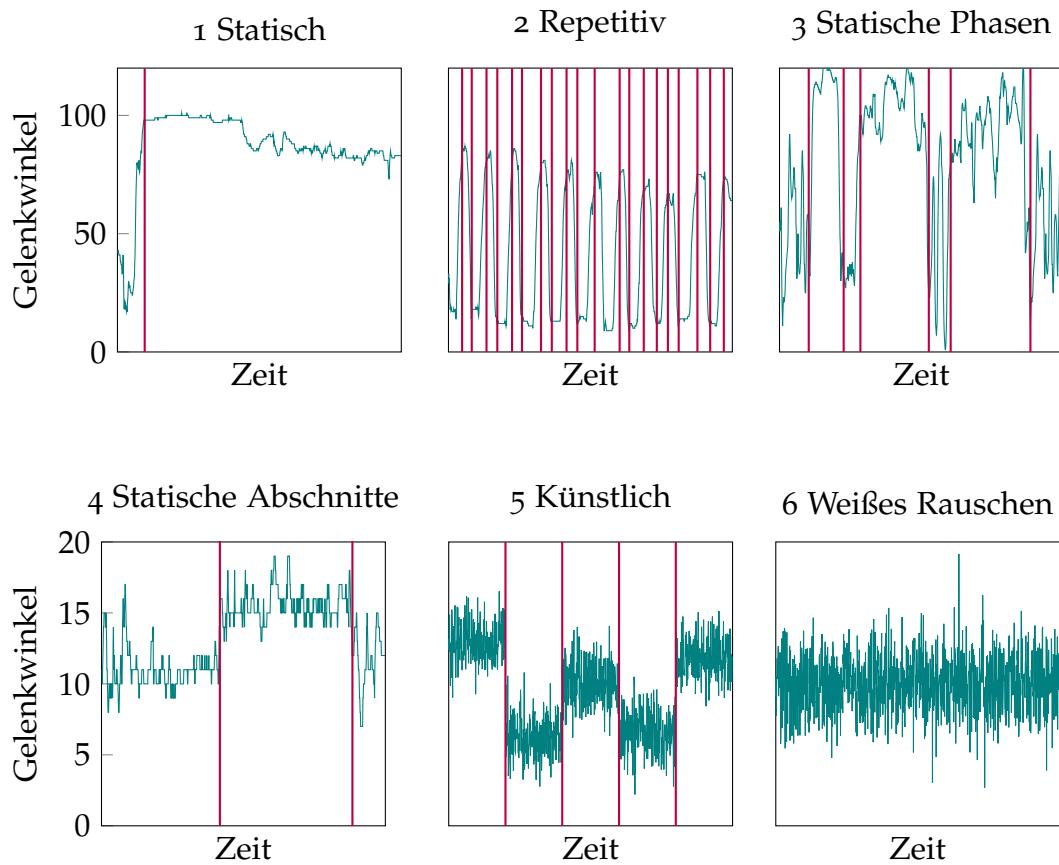


Abbildung 6.1: Datensätze zur Evaluation des BOCD

6.1.2 CPD Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien, für die Werte des BOCD werden im folgenden Abschnitt erläutert. Zunächst müssen die Variablen definiert werden. Bei der Erkennung der Changepoints haben Aminikhaghahi und Cook [2] zwischen 4 Fällen unterschieden, welche in Tabelle 6.1 zu sehen sind.

	Changepoint erkannt	kein Changepoint erkannt
Changepoint	TP	FN
Kein Changepoint	FP	TN

Tabelle 6.1: Changepoint Klassifikation [2]

- TP → True Positive
- FP → False Positive
- FN → False Negative
- TN → True Negative

FN steht für die Anzahl der nicht erkannten vorhandenen Changepoints. FP stellt die Zahl falsch detektierten Changepoints dar. Hier wurden Changepoints angezeigt, die nicht vorhanden sind. TN zeigt hingegen die nicht vorhandene Changepoints, die auch als solche erkannt wurden.

Es ist zu erwarten, dass TN nur schwer zu ermitteln sein wird. Ursache hierfür ist, dass es keine klare Abgrenzung zwischen den Abschnitten gibt. Ob ein Changepoint richtig erkannt wird, erfolgt für die ersten vier Datensätze manuell, da der Übergang fliesend ist. Während bei den künstlichen Datensätzen dieser genau definiert ist. Nachdem der BOCD die Changepoints bestimmt hat, wird mithilfe der Formel f_{per} die Performance bestimmt. Wobei n die Anzahl der Changepoints im Datensatz repräsentiert.

$$f_{per} = \begin{cases} 1 & , \text{ wenn } FP \text{ und } n = 0 \\ \frac{TP}{TP+FN+n} & , \text{ sonst} \end{cases}$$

Diese Formel gibt einen Wert von 0 – 1 wieder, wobei 1 nur erreicht wird, wenn alle Changepoints korrekt und keine zusätzlichen Changepoints erkannt wurden. Wird im Datensatz keine der vorhandenen Changepoints gefunden, ist $f_{per} = 0$. Wenn es in einem Datensatz keine Changepoints gibt und auch keiner gefunden wurde, so ist der Wert 1. Wenn fälschlicherweise mindestens ein Changepoint erkannt wurde, beträgt der Wert 0. Anschließend wird ein Mittelwert aus den Scores gebildet.

6.1.3 CPD Tests

Zuerst werden verschiedene Werte für die Verzögerung getestet. Der Wert von 15 ist dabei der Standardwert für diese BOCD Implementation. Kleinere

6 Evaluation

Werte sind jedoch sensitiver zu lokalen Veränderungen [2]. Aus diesem Grund erfolge eine Festlegung auf die Werte 15, 7 und 3. Dabei wurde ein Schwellenwert von 35% für die Tests verwendet, da dies der vermutlich beste Wert ist. Dieser Parameter wird im Anschluss evaluiert. Das Ergebnis ist in Tabelle 6.2 zusehen.

Datensatz/Verzögerung	15	7	3
1 Statisch	0,5	1	0
2 Repetitiv	0,333	0,333	0,333
3 Statische Phasen	0,667	0,607	0,157
4 Statische Abschnitte	0,1875	0,117	0
5 Künstlich	0	0	0,1
6 Weißes Rauschen	1	1	0
Durchschnitt	0,447	0,509	0,098

Tabelle 6.2: Vergleich CPD Verzögerung

Hierbei hat der Wert 7 den höchsten Score erreicht. Im Anschluss wird dieser Wert für die Verzögerung verwendet und damit der Schwellenwert ermittelt. Hierbei ist 50% der empfohlene Wert. Höhere Werte sorgen für eine schlechtere Erkennung der Changepoints. Aus diesem Grund wurde sich für die Werte 50%, 35% und 20% entschieden. In Tabelle 6.3 sind die Ergebnisse der Tests zu sehen.

Datensatz/Schwellenwert	50%	35%	20%
1 Statisch	0	1	1
2 Repetitiv	0,333	0,333	0,0,25
3 Statische Phasen	0,257	0,607	0,667
4 Statische Abschnitte	0,055	0,117	0,25
5 Künstlich	0	0	0,1
6 Weißes Rauschen	1	1	1
Durchschnitt	0,274	0,509	0,544

Tabelle 6.3: Vergleich CPD Schwellenwert

Hierbei hat der Wert von 20% den höchsten Score. Somit ergeben sich die besten Einstellungen von einer Verzögerung von 7 und einen Schwellenwert von 20%. Diese werden anschließend in der Evaluation des Gesamtsystems verwendet.

Allgemein bleibt der BOCD hinter den Erwartungen zurück, da die Changepoints zu ungenau erkannt wurden. Besonders bei dem Datensatz 5 *Künstlich*, in dem die Changepoints klar zu erkennen sind. Außerdem wurden beim repetitiven Datensatz die letzten 4 Changepoints nie erkannt.

6.2 Datensätze

Für alle nachfolgenden Tests werden rosbag-Daten verwendet, dies sind Aufnahmen von einer Person. Die Aufnahmen beinhalten alle eine klare Bewegung oder Pose. Zur Anwendung kommen dabei 5 verschiedene Datensätze: Die Datensätze haben eine Länge von 50 – 80 Sekunden. Tabelle 6.4 zeigt eine Übersicht der Testdaten sowie die Festlegung, welche Reaktion gemessen werden soll. Durch die geringe Länge der Datensätze wurden beim Testen diese in Schleife für 240 Sekunden abgespielt.

Zur Erstellung der Datensätze wurde immer eine Person an der gleichen Werkbank aufgenommen. Ein Beispiel ist in Abbildung 6.2 zu sehen. Es ist kein Video zur Evaluation verfügbar, sondern nur das Skelett auf der rechten Seite. Im Datensatz 1 *Arbeitssimulation* wird eine Arbeit mit einem Werkstück an einer Werkbank simuliert. Bei diesem Datensatz ist zu erwarten, dass nichts erkannt wird. Datensätzen 2 *Arme mehrfach heben* und 3 *mehrfach vorbeugen* zeigen verschiedene Armbewegungen. Hier wurden die Arme mehrfach gehoben bzw. der Oberkörper mehrfach vorgebeugt wird. 4 *Statisch halten* und 5 *Statisch sitzen* werden, ebenfalls dem Namen entsprechend, Aktivitäten beschrieben, bei denen die Arme statisch in der Luft gehalten bzw. sitzt der Körper statisch. Jeder Datensatz impliziert, dass die Testperson am Anfang der Messphase zur Werkbank hin und am Ende wieder von ihr weg geht. Dies sorgt für eine Unterbrechung der statischen Phasen.

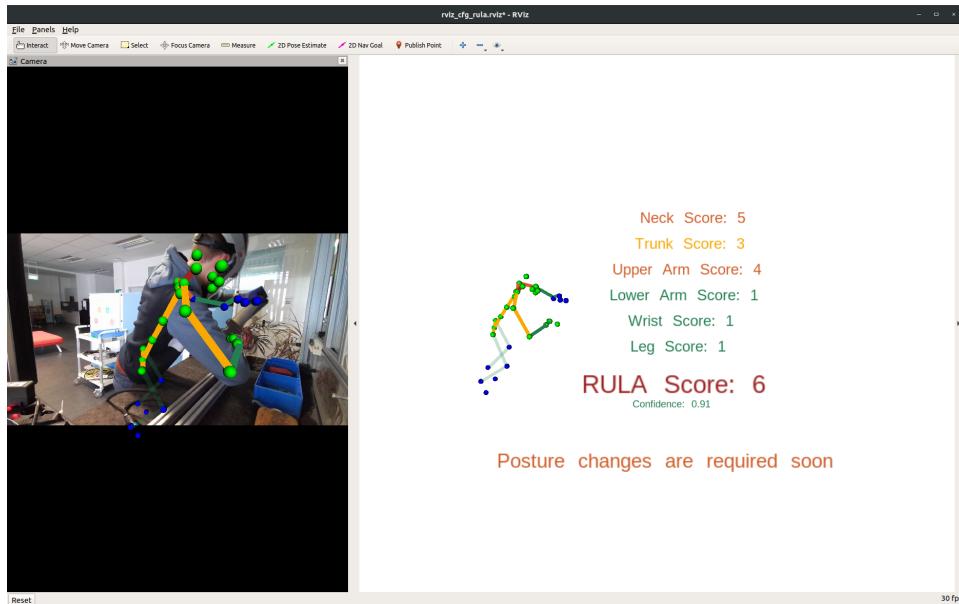


Abbildung 6.2: Aufnahme von Daten [21]

Datensatz	statisch		repetitiv	
	Arme	Körper	Arme	Körper
1 Arbeitssimulation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Arme mehrfach heben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Mehrfach vorbeugen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4 Statisch halten	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Statisch sitzen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabelle 6.4: Übersicht der Testdatensätze mit der Festlegung der zu messenden Reaktion

6.3 Evaluation statischer Phasen

Während der Überprüfung hat sich gezeigt, dass das CPD Veränderungen in den Zeitreihen nicht präzise genug erkennen kann. Im Ergebnis wurden mehr Changepoints erfasst, als tatsächlich vorhanden waren. Bei nicht statischen Bewegungen sind zu viel erkannte Changepoints vernachlässigbar. Um damit trotzdem statische Posen erkennen zu können, wird eine Pose erst bei einer bestimmten Anzahl von Changepoints pro Minute als nicht statisch klassifizieren.

Bei der Analyse der Datensätze *4 Statisch Halten* und *5 Statisch sitzen* werden in den statischen Phasen 0 – 0,16 Changepoints pro Sekunde erkannt. Dadurch, dass es bei der Wiederholung Unterbrechungen der statischen Posen gibt, steigen an diesen Stellen die Changepoints pro Sekunde an. Dabei kommt es beim Datensatz *5 Statisch sitzen* zu einem gemessenen Maximalwert von 0,15 Changepoints pro Sekunde.

Dieser Wert ist jedoch niedriger als der gemessene Wert von 0,16 Changepoints pro Minute im Datensatz *4 Statisch Halten*. Somit ist es nicht möglich, zuverlässig statische Phasen erkennen zu können. Um statische Posen dennoch möglichst genau erkennen zu können, wurde sich für einen Kompromiss entschieden und ein Wert von 0,05 Changepoints pro Sekunde eingesetzt, was 3 Changepoints pro Minute entspricht. Erst wenn mehr als 3 Changepoints pro Minute erkannt werden, zählt eine Pose als nicht statisch. Somit dauert es auch eine Minute bis eine Pose als statisch erkannt wird.

6.4 Ergebnisse der Tests

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Tests erläutert. Jedes der folgenden Diagramme zeigt einen Datensatz über Zeit. Die ersten 60 Sekunden wurden abgeschnitten, wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, erst danach die Evaluation funktioniert. Es sind die Stellen markiert, an denen das Programm statische oder repetitive Bewegungen für die jeweilige Körperregion feststellt.

6 Evaluation

Im ersten Datensatz *1 Arbeitssimulation* sind weder statische noch repetitive Bewegungen. Wie in Abbildung 6.3 zu sehen, wurden nicht statischen Posen korrekt erkannt. Zusätzlich wurden fälschlicherweise repetitive Bewegungen erkannt. Hier sind die Wiederholungen des Datensatzes zu erkennen. Anzumerken ist zudem, dass bei den Armen nach 120 Sekunden die repetitiven Abschnitte nicht mehr erkannt wurden. Diese müssten aber konsequenterweise auch später fälschlich erkannt werden. Das kann auf Fehler in der Aufnahme hindeuten, da manchmal für Winkel Datenpunkte fehlen. Es ist wahrscheinlich, dass Teile des Körpers während der Datenerfassung verdeckt waren, was zu den fehlenden Datenpunkten führen könnte.

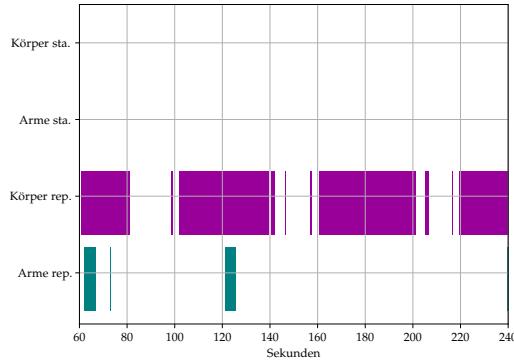


Abbildung 6.3: Evaluation von 1 Arbeitssimulation

Im zweiten Datensatz *2 Arme mehrfach heben* sollten die Arme als repetitiv erkannt werden. In Abbildung 6.4 ist zu sehen, dass dies auch korrekt erfolgte. Aber auch die repetitive Bewegung des ganzen Körpers wurde erkannt, obwohl dieser sich nur sehr wenig bewegte. Ein menschlicher Beobachter hätte diese Bewegungen als vernachlässigbar interpretiert. Dass die Arme zusätzlich als statisch erkannt wurden ist ebenfalls korrekt, da sich die Unterarme nur beim rein und herausgehen bewegen.

6 Evaluation

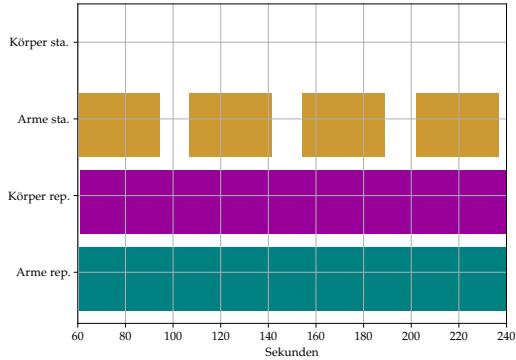


Abbildung 6.4: Evaluation von 2 Arme mehrfach heben

Im Datensatz 3 *Mehrfach vorbeugen* wurde richtig die repetitive Bewegung des Oberkörpers erkannt. Zusätzlich wurden aber auch fälschlicherweise eine repetitive Bewegung der Arme erkannt. Dies wie in Abbildung 6.5 zu sehen ist.

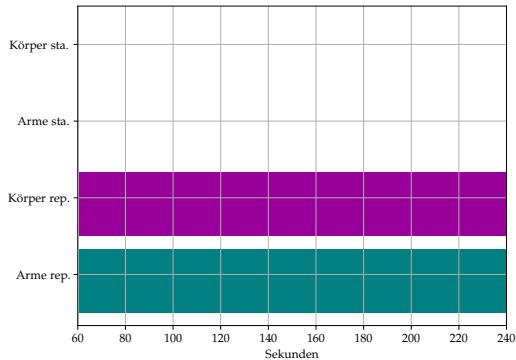


Abbildung 6.5: Evaluation von 3 Mehrfach vorbeugen

Im vierten Datensatz 4 *Statisch halten* wurde korrekt der statische Körper erkannt. Die statische Pose der Arme wurde hingegen nur phasenweise erkannt, das ist in Abbildung 6.6 zu sehen. Zum einen traten Phasen der Bewegung durch das Herein und Rausgehen auf. Zum anderen fiel es den Probanden schwer, die Arme fast eine Minute bewegungslos in der Luft zu halten. Hier gab es leichte Bewegungen. Ein menschlicher Beobachter hätte diese Bewegungen vernachlässigt. Das CPD erfasste diese minimalen Schwankungen als repetitive Bewegungen.

6 Evaluation

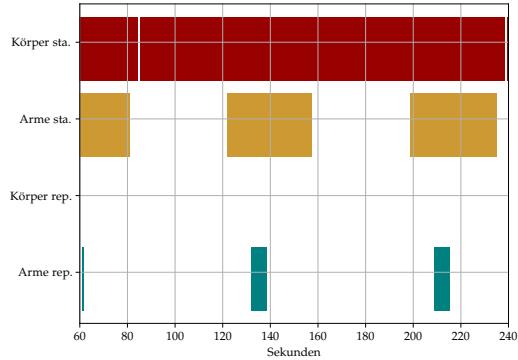


Abbildung 6.6: Evaluation von 4 Statisch halten

Im fünften Datensatz *5 Statisch sitzen* wurde korrekt die statische Haltung des Körpers und der Arme erkannt. Wie in Abbildung 6.7 zu sehen, wurden die Arme aber noch als repetitiv klassifiziert, was hier eine falsche Einschätzung ist. Die repetitiven Gelenke sind dabei die linke Schulter und der rechte Oberarm. Dies kann durch Messungenauigkeiten erklärt werden, welche nicht herausgefiltert werden konnten.

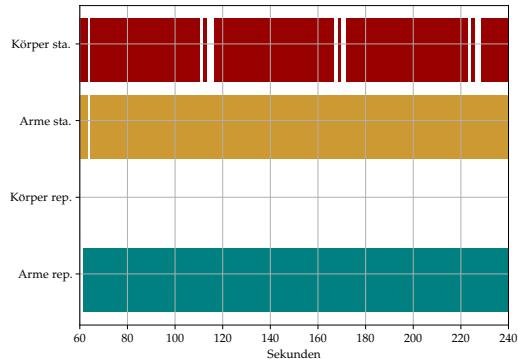


Abbildung 6.7: Evaluation von 5 Statisch sitzen

Durch die Evaluation konnte ermittelt werden, dass die Erkennung von repetitiven Phasen durch das CPD zu sensibel erfolgt. Repetitive Bewegungen konnten zwar zuverlässig erkannt werden, jedoch wurden auch Bewegungen als repetitiv analysiert, die ein menschlicher Beobachter vernachlässigt hätte. Die Evaluation von statischen Posen funktionierte besser, aber auch hier wäre eine präzisere Analyse wünschenswert. Dies ist auf die Ungenauigkeit der CPD zurückzuführen. Ebenso war es nicht möglich, exakt die gleichen Ergebnisse bei mehrmaliger Analysen der gleichen Datensätze zu generieren. In manchen Datensätzen wurden bis zu 70% weniger Daten für

6 Evaluation

die Beine gesendet werden. Ursache ist hierfür vermutlich eine Verdeckung der Beine, sodass sie während der Messung nicht erfasst werden konnten.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wird zuerst diese Arbeit zusammengefasst und anschließend wird diskutiert, wie an diesem Projekt weitergearbeitet werden kann. In dieser Arbeit wurde das Assistenzsystem von Sohst um die Erkennung von statischen und repetitiven Bewegungen erweitert. Dies kann zu einer besseren Evaluation des RULA Scores führen, wodurch Menschen bei der Arbeit unterstützt werden können. Zur Erfassung der statischen Posen wurde ein CPD Ansatz und dazu eine passende Implementierung ausgewählt. Dabei wurden anhand von Tests zuerst die Verzögerung und im Anschluss der Schwellenwert bestimmt. Im Anschluss erfolgte die Evaluation und die Anpassung der erkannten statischen Posen. Zuvor galt ein Gelenk als nicht statisch, sobald ein Changepoint auftrat. Dies wurde dahingehend geändert, dass nun mehrere Changepoints pro Sekunde erkannt werden müssen.

Es wurde eine Methode zur Bestimmung repetitiver Bewegungen entwickelt. Dies geschah auf Grundlage der mittels FFT gefilterten Frequenzen. Die Verwendung von Windows erwies als nicht hilfreich, da dadurch die Daten verfälscht werden. Aus diesem Grund wurde auf den Einsatz eines Windows verzichtet.

Im Anschluss wurden zwei Varianten getestet, die Frequenzen auf einen einzelnen Wert zu reduzieren. Dabei stellt sich heraus, dass nur mit der Frequenz der höchsten Amplitude weitergearbeitet werden kann.

Im Anschluss wurde das gesamte System mit 5 verschiedenen Datensätzen getestet. Die Testergebnisse zeigten, dass das System noch zu ungenau ist, um in der Praxis Anwendung zu finden. Hierfür ist es erforderlich, die Präzision in beiden Bereichen zu verbessern. Zukünftig müsste, die BOCD noch besser an die spezifischen Anforderungen anzupassen. Eine weite Option wäre, andere CPD-Ansätze zu verwenden. Vortests haben jedoch ergeben, dass andere CPD-Ansätze noch weniger geeignet sind. Beide Vorgehensweisen wären mit großem Aufwand verbunden.

Bei Definition von repetitiven Bewegungen aus RULA führt zu verfälschten Ergebnissen. Wird ein Gelenk, kurz und schnell viermal bewegt, wird die ganze Körperregion als repetitiv bewertet. Der Umfang der Bewegung wird nicht definiert. Hierbei ist zu empfehlen sich nicht an die Definition zu halten, sondern eine eigene bessere Definition zu finden.

Ein weiterer neuer Ansatz könnte zukünftig auch der Einsatz von Künstlicher Intelligenz sein. Damit ist es möglich, die Daten schneller und präziser zu verarbeiten. Dieses ist besonders bei der Erkennung von repetitiven Phasen

7 Zusammenfassung und Ausblick

zu empfehlen, zusätzlich kann auch für die statische Erkennung angewendet werden.

Die Arbeit ist Teil des "MRO 2.0 Upgrade statt Repair" Projekts und baut auf einer vorhandenen Arbeit, in der die Funktionen von RULA bereits umgesetzt wurden, auf. In diesem Rahmen konnte nachgewiesen werden, dass eine computerbasierte Analyse von statischen und repetitiven Haltungen möglich ist. Auch wenn es wünschenswert ist noch differenziertere Analyseergebnisse zu erzielen, konnte mit der Arbeit ein weiterer Baustein im Projekt erarbeitet werden.

Literatur

- [1] Ryan Prescott Adams und David JC MacKay. »Bayesian online changepoint detection«. In: *arXiv preprint arXiv:0710.3742* (2007) (siehe S. 19).
- [2] Samaneh Aminikhahgahi und Diane J Cook. »A survey of methods for time series change point detection«. In: *Knowledge and information systems* 51.2 (2017), S. 339–367 (siehe S. 6, 19, 30, 31).
- [3] Istvan Balogh u. a. »Self-assessed and directly measured occupational physical activities—fluence of musculoskeletal complaints, age and gender«. In: *Applied ergonomics* 35.1 (2004), S. 49–56 (siehe S. 1).
- [4] James W Cooley und John W Tukey. »An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series«. In: *Mathematics of computation* 19.90 (1965), S. 297–301 (siehe S. 6).
- [5] *Documentation - Docker*. [Online; accessed November 14, 2022]. 29. Aug. 2019. URL: <https://docs.docker.com/> (siehe S. 22).
- [6] Manlio Massiris Fernández u. a. »ErgoExplorer: Interactive Ergonomic Risk Assessment from Video Collections«. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2022) (siehe S. 10, 12).
- [7] Sue Hignett und Lynn McAtamney. »Rapid entire body assessment (REBA)«. In: *Applied ergonomics* 31.2 (2000), S. 201–205 (siehe S. 3).
- [8] Osmo Karhu, Pekka Kansi und Iikka Kuorinka. »Correcting working postures in industry: A practical method for analysis«. In: *Applied ergonomics* 8.4 (1977), S. 199–201 (siehe S. 3).
- [9] Dohyung Kee. »Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA based on a literature review«. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19.1 (2022), S. 595 (siehe S. 1, 4, 15).
- [10] Dohyung Kee und Waldemar Karwowski. »LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time«. In: *Applied ergonomics* 32.4 (2001), S. 357–366 (siehe S. 3).
- [11] *Kinect Azure*. <https://www.microsoft.com/de-de/d/azure-kinect-dk/8pp5vxmd9nhq?activetab=pivot:techspecstab>. Accessed: 2022-10-25 (siehe S. 22).

- [12] Ilkka Kuorinka u. a. »Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms«. In: *Applied ergonomics* 18.3 (1987), S. 233–237 (siehe S. 4).
- [13] Brian D Lowe, Patrick G Dempsey und Evan M Jones. »Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals«. In: *Applied ergonomics* 81 (2019), S. 102882 (siehe S. 1).
- [14] Vito M. Manghisi u. a. »AUTOMATIC ERGONOMIC POSTURAL RISK MONITORING ON THE FACTORY SHOPFLOOR –THE ERGO-SENTINEL TOOL«. In: *Procedia Manufacturing* 42 (2020). International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019), S. 97–103. ISSN: 2351-9789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.091>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920306569> (siehe S. 10, 11).
- [15] Vito Modesto Manghisi u. a. »Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor«. In: *Applied ergonomics* 65 (2017), S. 481–491 (siehe S. 10).
- [16] Mark Middlesworth. *A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool*. [Online; accessed Oktober 19, 2022]. 2019. URL: <https://ergoplus.com/wp-content/uploads/rapid-upper-limb-assessment-rula-1.png?x68850> (siehe S. 5).
- [17] Lynn McAtamney und E Nigel Corlett. »RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders«. In: *Applied ergonomics* 24.2 (1993), S. 91–99 (siehe S. 4, 15).
- [18] Alberto Sanchez-Lite u. a. »Novel ergonomic postural assessment method (NERPA) using product-process computer aided engineering for ergonomic workplace design«. In: *PLoS one* 8.8 (2013), e72703 (siehe S. 3).
- [19] Christof Schroth, Dr. Julien Siebert und Janek Groß. *Time Traveling with Data Science: Focusing on Change Point Detection in Time Series Analysis (Part 2)*. [Online; accessed Oktober 25, 2022]. 2021. URL: <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/change-point-detection/> (siehe S. x, 6).
- [20] Maria Schumann u. a. *Gesundheitsreport 2022*. 2022. URL: <https://www.dak.de/dak/download/gesundheitsreport-2022-pdf-2548398.pdf> (siehe S. 1).
- [21] Christoph Maximilian Afer Sohst. »Entwicklung einer automatischen Ergonomieanalyse basierend auf einer bildgestützten Körperposenerfassung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten«. Bachelor Arbeit. 2022 (siehe S. 1, 2, 10, 12, 13, 16, 32).

- [22] Sudip Subedi und Nipesh Pradhananga. »Mapping datafication in construction-worker safety research to minimize injury-related disputes«. In: *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction* 13.2 (2021), S. 04521009 (siehe S. 1).
- [23] David Tolpin. *Bayesian Online Changepoint Detection*. <https://github.com/dtolpin/bocd>. 2018 (siehe S. 19, 22).
- [24] Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science - MRO 2.0 Werkerassistenzsysteme. [Online; accessed November 25, 2022]. 5. Aug. 2020. URL: https://www.ignc.tu-berlin.de/menue/forschung/projekte/wvsc_mro_20_werkerassistenzsysteme/ (siehe S. 1).
- [25] Windows and Spectral Leakage. [Online; accessed November 04, 2022]. 29. Aug. 2019. URL: <https://community.sw.siemens.com/s/article/windows-and-spectral-leakage> (siehe S. 8, 9, 25).
- [26] Saeid Yazdanirad u. a. »Comparing the effectiveness of three ergonomic risk assessment methods—RULA, LUBA, and NERPA—to predict the upper extremity musculoskeletal disorders«. In: *Indian journal of occupational and environmental medicine* 22.1 (2018), S. 17 (siehe S. 4).

8 Appendix

Im Folgenden wird beschrieben, wie das Programm auszuführen ist. Als Voraussetzung muss Docker und das Assistenzsystem von Sohst installiert sein. Das Docker Image muss zuerst mit dem folgenden Befehl geladen werden:

```
$ docker load < musclework_docker_image.tar
```

Das Docker Image ist anschließend mit folgendem Befehl auszuführen:

```
$ docker run -it --net=host musclework_docker_image:1.0
```

Der Quell Code kann unter dieser URL gefunden werden:

<https://github.com/Baumll/musclework>