## Mögliche Korrektur systematischer Fehler

In der Arbedit wurde dargelegt, dass es sich bei einem grossen Teil des Fehlers um systematische Fehler handelt, was bedeutet, dass sie theoretisch im Nachhinein herausgerechnet werden können. Dies wird in diesem Kapitel an einem Beispiel einer Squat Übung für die Pose Estimation von PoseFormerV2 und für den Kniewinkel gemacht. Hier handelt es sich um ein heruntergebrochenes Beispiel einer einzelnen Übung und dies kann nicht für alle Übungen und Personen eins zu eins übernommen werden. Es soll aber aufzeigen, dass es theoretisch möglich ist, solche systematischen Fehler zu verkleinern und somit bessere Leistungen der HPE-Modelle zu ermöglichen. Die ausgewählte Übung wird in Abbildung 49 wiederum als Zeitreihe und als Scatterplot dargestellt.

**Abbildung 1**: Zeitlicher Verlauf und Winkeldifferenz der Übung Squat

Ein Bild, das Diagramm, Reihe, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Wir sehen ein sehr ähnliches Bild wie in Abbildung 30 in der Arbeit. Es gibt klare systematische Effekte. Es soll in dieser Demonstration der systematische Fehler von Kamera 2 (stärker werdender Fehler bei kleineren Kniewinkeln) sowie das etwas konstantere Unterschätzen von Kamera 3 verbessert werden. Dazu wird als erstes die systematischen Unterschiede dieser Person berechnet. Dies ergibt einen Scatterplot wie er für alle Übungen bisher verwendet wurde, allerdings sind alle Übungen dieser Person inbegriffen. Der Scatterplot wird in Abbildung 50 dargestellt und zeigt das bekannte Muster. Die dichteren Punkte bei circa 90° sind zu beobachten, viele Übungen wie Steps oder Sprint bei diesem Winkel ihnen Umkehrpunkt haben.

**Abbildung 2**: LOWESS Glättung einer Person über alle Übungen

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

In der Abbildung ist ausserdem eine berechnete Linie eingezeichnet, die die Punktewolke repräsentiert. Um diese zu berechnen, wurde eine LOWESS-Glättung mit einem Glättungsparameter von 0.2. Dies wurde mithilfe der Python-Bibliothek «statsmodels» durchgeführt. Beim LOWESS-Algorithmus handelt es sich um ein gängiges Glättungsverfahren, dass eine gewichtete Regression durchführt. Dies ergibt Linie, die für jeden wahren Winkel (Vicon) eine möglichst gute Schätzung abgibt, wie viel daneben das Modell, in diesem Fall PoseFormerV2, liegt, der in einer Liste gespeichert werden kann. Wird dieser Wert nun jeweils vom geschätzten Wert subtrahiert, ist der geschätzte Wert wesentlich näher am wahren. Das Problem in der Umsetzung liegt darin, dass der wahre Wert in einem Setting ohne Referenzsystem nicht bekannt ist. Dafür wurde für diesen Ausgleich des systematischen Fehlers die Werte des Schulterflexionswinkel genommen. Wie in Kapitel 5 gezeigt, kann PoseFormerV2 aus Kamera 2 die Schulterflexionswinkel für die meisten Personen sehr gut berechnen und dieser kann somit zur Kalibrierung benutzt werden, da bei der Squat Übung der Schulterflexionswinkel und der Kniewinkel dieselben Muster haben, was in Abbildung 3 anhand der Vicon-Winkel gezeigt wird.

**Abbildung 3:** Zeitlicher Verlauf Schulterflexionswinkel (orange) und Kniewinkel (blau) bei der Übung Squat

Ein Bild, das Text, Reihe, Schrift, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Die Winkel verlaufen genau entgegengesetzt. Im aufrechten Stand sind die Kniewinkel gross und die Schulterflexionswinkel klein. Während der Übung wird der Kniewinkel verkleinert und gleichzeitig die Arme gehoben und umgekehrt. Um den Schulterflexionswinkel als Schätzung des Kniewinkels zu nehmen, muss also noch eine Umrechnung stattfinden. Dazu wird als erstes der Schulterflexionswinkel gespiegelt und danach skaliert. Für die Spiegelung werden die Werte für jeden Zeitpunkt vom doppelten Durchschnitt subtrahiert:

,

wobei der Winkel zum Zeitpunkt t ist und der durchschnittliche Winkel. Das Ergebnis für die zwei Kameraperspektiven ist auf der linken Seite in Abbildung 52 zu sehen. Nach der Spiegelung müssen die Winkelamplituden noch angepasst werden. Dafür wird der Range der jeweiliger Perspektive der Modelle der Schulterflexionswinkel mit der Range der Vicon-Kniewinkel dividiert. Jeder gespiegelt und skalierte Wert wird nun mit diesem Skalierungswert dividiert, sodass die Amplituden angepasst werden. Um sie auf die gleiche Höhe zu bringen, wird noch der durchschnittliche Wert der Vicon-Winkel addiert. Die Range und Mittelwerte der wahren Winkel sind in Wirklichkeit natürlich auch nicht genau bekannt, können aber aus der Bewegungsaufgabe gut geschätzt werden. Das Ergebnis ist auf der rechten Seite der Abbildung 4 zu sehen und zeigt, dass so die Werte sehr gut übereinstimmen.

**Abbildung 4:** Gespiegelter (links) und skalierter (rechts) Schulterwinkel der Kamera 2 und 3

Ein Bild, das Reihe, Diagramm, Schrift, Text enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Diese umgerechneten Schulterflexionswinkel können also gut als Schätzung für den wahren Kniewinkel herangezogen werden. Für jeden aus den PoseFormerV2 Daten berechneten Kniewinkel kann nun für jedes Frame ein Wert subtrahiert werden. Dieser wird durch den (vom Schulterwinkel geschätzten Kniewinkel) «wahren» Kniewinkel und der LOWESS Linie definiert. Abbildung 5 zeigt links oben die korrigierten Werte der beiden Kameraperspektiven. Oben rechts sind die ursprünglichen, unkorrigierten Werte. Die unteren Scatterplots zeigen die Winkelabweichungen der unkorrigierten Daten in blau und die korrigierten in orange. Durch die starke Systematik des Fehlers ist es also möglich, diesen im Nachhinein zu einem grossen Teil herauszurechnen.

**Abbildung 5**: Korrigierte (links) und unkorrigierte (rechts) Kniewinkel. Unten: Winkeldifferenzen vor Korrektur (blau) und mit Ausgleich (orange) von Kamera 3 (links) und Kamera 2 (rechts)

Ein Bild, das Text, Reihe, Diagramm, parallel enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Das Ausgleichen des systematischen Fehlers ist vor allem dann besonders attraktiv, wenn der systematische Teil des Fehlers den zufälligen stark überwiegt, was vor allem bei den Kniewinkeln und stärker bei PoseFormerV2 ist. Auch wenn es sich hier nur um ein einziges Beispiel einer einzelnen Übung handelt, bei dem die durchschnittliche systematische Abweichung der Person bekannt war und es aufgrund der Bewegungsaufgabe eine Bewegung gibt, die als Referenz für den Kniewinkel genommen werden kann, wird gezeigt, dass es theoretisch möglich ist und trotz einiger Schwierigkeiten Möglichkeiten zur Umsetzung gibt.

Um das Ganze etwas zu verallgemeinern, wurde dasselbe noch modifiziert, indem die LOWESS-Glättung mit allen Versuchen aller Personen durchgeführt wurde. So kann der Teil des systematischen Fehlers, der von Person zu Person variiert nicht mehr miteinbezogen werden, sondern nur der Teil, der über alle Personen vorhanden ist und deshalb tatsächlich an der Kameraperspektive liegt.

**Abbildung 6:** LOWESS-Glättung über alle Trials aller Personen

Ein Bild, das Text, Diagramm, Screenshot, Reihe enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

Wird mit diesen Werten dasselbe getan, wie oben erläutert, kommen für dieselbe Übung die Ergebnisse heraus, die in Abbildung 7 dargestellt sind. Kamera 3 kann auch mit diesen Werten sehr gut angepasst werden. Hier sehen wir auch in den beiden Lowess-Glättungen, dass die berechneten Linien wenig voneinander abweichen, was bedeutet, dass die systematische Abweichung bei allen Personen ziemlich konstant ist und diese somit einfacher herausgerechnet werden kann. Bei Kamera 2 scheinen die persönlichen Unterschiede etwas grösser zu sein, was für diese Berechnungen auch bedeutet, dass dieser Winkelausgleich weniger gut funktioniert.

**Abbildung 7:** Korrigierte Winkel der Kamera 2 und 3 und die Winkeldifferenzen vor und nach der Kalibration

Ein Bild, das Reihe, Diagramm enthält.

Automatisch generierte Beschreibung