

Drohngestütztes Tracking von Athleten zur automatischen Erkennung von Bewegungsabläufen und Feedbacksteuerung im Rudern

Nils Brauckmann¹, Martin Hünermund¹ & Klaus Richter¹

¹Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

E-Mail: nils.brauckmann@iff.fraunhofer.de

Schlüsselwörter: Drohnen, Gelenk-Kinematik, LiDAR, Stereovision, KI

Einleitung

Die objektive Echtzeiterkennung von Bewegungsmustern im Leistungssport Rudern gestaltet sich in der Praxis nach wie vor sehr aufwändig. Analyseboote, wie das FES Ruderboot, sind bereits in der Lage zahlreiche Parameter wie Ruderwinkel, Schlaglänge, Kraftverteilung sowie Bootsgeschwindigkeit und -beschleunigung aufzuzeichnen. Die biomechanische Analyse von Bewegungsmustern der Athlet:innen bleibt dabei unberücksichtigt. Eine Optimierung der individuellen Technik ist dabei maßgebend für die bestmögliche Leistungssteigerung. Ein echtzeitfähiges Feedback ermöglicht den Athlet:innen zudem in der Bewegungsausführung eine direkte Optimierung der Technik.

Herkömmliche visuelle Bewegungsanalysen auf dem Wasser werden meist mithilfe von Beibooten freihändig erfasst und nachgelagert analysiert. Für eine hochgenaue Datenerfassung und Analyse zwischen einem mobilen Messsystem und dem zu Untersuchenden sind folgende Faktoren maßgebend:

- konstante Geschwindigkeit,
- konstanter Abstand und
- konstanter Aufnahmewinkel.

Auf einem Trainerboot sind die vorgenannten Kriterien, bedingt durch äußere Faktoren, nur schwer umsetzbar. Deswegen etablieren sich zunehmend kommerzielle Drohnensysteme mit Personenverfolgungs- und Video-funktionen in den Trainingsalltag (vgl. Munn, 2016). Diese ermöglichen zumindest eine bedingt- genaue sowie nachgelagerte Auswertemöglichkeit der Gelenk-Kinematik mithilfe spezieller Software wie beispielsweise Dartfish®. Allerdings ist die Positioniergenauigkeit mit GNSS sowie die Abstands- und Positionsschätzung zu bewegten Objekten bei kommerziellen Drohnen, wie der DJI Mavic 3, für leistungsdiagnostische Untersuchungen unzureichend.

Das Ziel ist es ein auf die zuvor beschriebenen Problemstellungen optimiertes Drohnensystem zu entwickeln, welches eine präzise Steuerung für hochwertige Aufnahmen ermöglicht und zudem in Echtzeit Bewegungsanalysen durchführt, sodass Athlet:innen und Trainer:innen unmittelbar nach dem Ausführen der Bewegung ein Feedback zur Optimierung der Technik umsetzen bzw. anweisen können. Die Übertragung des Video Feedbacks zwischen Drohne(n) und Kontroll- bzw. Feedbackeinheit muss dabei drahtlos erfolgen, was eine besondere Herausforderung hinsichtlich resilienter Datenübertragung darstellt.

Method

Um die hochpräzise Steuerung einer Drohne und eine damit verbundene quantitativ hochwertige Datenaufnahme für Analysen zu erzielen, müssen zwingend mobile Sensorsysteme zum Einsatz kommen, die eine hohe Genauigkeit und Auflösung, auch bei sich ändernden äußeren Umweltfaktoren, bieten.

Systemkonzept

Angefangen wurde nach umfangreicher Recherchearbeit mit der Konzepterstellung eines Echtzeit-Drohnen-Feedback Systems. Als wichtigste Anforderung sollte ein mobiles Motion Capturing System für Felduntersuchungen mittels Multisensorsystem auf Drohnen zur echtzeitfähigen (gelenk-) kinematischen Untersuchung von Sportlern entwickelt werden. Das Multisensorsystem wurde im Rahmen des zugehörigen Forschungsprojektes „fast athletics“ bei vorherigen Untersuchungen für den Anwendungsfall Skilanglauf entwickelt und erprobt (Brauckmann et al., 2020). Das Messsystem beinhalten synchronisierte LiDAR (Light Detection and Ranging) Sensoren und Stereovision Kameras, die als Basis genutzt und auf das Drohnensystem portiert werden.



Abbildung 1: Konzept Echtzeit-Drohnen-Feedback System (Fraunhofer IFF)

Die Abbildung 1 verdeutlicht die Systemkomponenten des Gesamtkonzepts für die Realisierung eines Systems zur automatischen Steuerung einer oder mehrerer Drohnen in konstantem Abstand und Winkel zu den Athlet:innen. Die Entwicklung erfolgt sportartübergreifend, wobei für zukünftige Arbeiten eine dedizierte Feedbackgenerierung anzustreben ist. Entstanden ist ein Funktionsdemonstrator als mobiles Drohnenmesssystems. Darin wird die eigentliche Drohne als Sensorträgersystem spezifiziert. Im Schwerpunkt musste das Sensorträgersystem spezielle Anforderungen, wie leichte Hard- und Software-Erweiterbarkeit bzw. Modifizierbarkeit sowie eine hohe Positioniergenauigkeit von bis zu 1cm zum Beispiel mittels Real Time Kinematic (RTK), erfüllen. Auch bei der Auswahl der Sensorik wurden hochgenaue Positions-Systeme gewählt, die im Einzelnen bis zu 2 cm Positionsgenauigkeit für die Gelenkwinkelerkennung zulassen.

Algorithmen

Nach erfolgreicher Integration der Hardwarekomponenten wurden echtzeitfähige Algorithmen entwickelt und erprobt. Die Sensoren des Kin-Payload (vgl. Abbildung 1) dienen als Datengrundlage für eine möglichst genaue Objekterkennung und -verfolgung. Zur Implementierung wurde eine externe Recheneinheit physisch mit einer DJI Drohne gekoppelt. Über ein verfügbares Onboard Software Development Kit (Onboard SDK) ist eine individuelle Steuerung und Erweiterbarkeit der Drohne möglich.

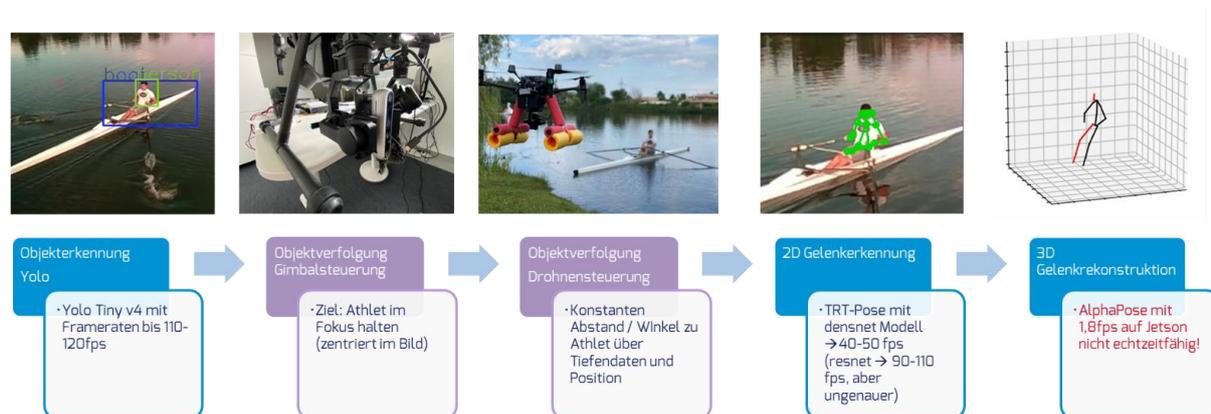


Abbildung 2: Phasen und Algorithmen zur Umsetzung eines Multisensor-Messsystems auf mobilen Sensorträgern (Fraunhofer IFF)

Die Erkennung fundiert auf einer echtzeitoptimierten Yolo-Detektion, mit dessen Hilfe Objekte KI-gestützt identifiziert werden können. Die Verfolgung der Zielpersonen wurde ein zweistufiges Modell implementiert. So können Feinjustierungen über einen Gimbal für eine permanente Zentrierung der Zielperson im Bild durchgeführt und Grobjustierungen zur physischen Positions- und Abstandskontrolle der Drohne zum Ziel vorgenommen werden. Für die Gelenkpunkterkennung wurden verschiedenste Ansätze diskutiert und Algorithmen wie OpenPose (Macedo et.al., 2022) implementiert und getestet. Aus Performance-Gründen wurde sich schließlich für TRT-Pose entschieden, um eine echtzeitfähige (gelenk-) kinematische zweidimensionale Analyse des Bildes sowie der Gelenkpunkte zu generieren. Abschließend erfolgt eine Gelenkrekonstruktion mit Alphapose (vgl. Abbildung 2). Die externe Recheneinheit ist als Accesspoint konfiguriert, sodass das Analyseergebnis direkt über ein Wireless Local Area Network (WLAN) im Standard IEEE 802.11ac im 5GHz Frequenzbereich an ein Web Interface an Trainer:innen oder Athlet:innen übertragen werden kann. Im Freien können dadurch theoretisch hohe Datenraten von bis zu 867 MBit/s erreicht und auf bis zu 50 m übertragen werden (Elektronik-Kompendium.de, 2022). Praktisch erfordert das Livestreaming eines 1080p Videos mit einer Framerate von 60 fps 10 Mbit/s, sodass auch größere Übertragungsentfernungen bis zu 100 m möglich sind.

Ergebnisse

Der Funktionsdemonstrator wurde erfolgreich aufgebaut, in ersten Untersuchungen an Athlet:innen im Feldtest erprobt und hinsichtlich verschiedener Timings optimiert. So konnte die Erkennungsrate der Athlet:innen auf dem Wasser mit vorhandener Sensorik grundlegend verbessert werden. Anfangs wurden die Zielpersonen häufig verloren, was zu Messabbrüchen geführt hat. Im Verlauf der Untersuchung konnte das Problem vollständig behoben werden, sodass über eine Messstrecke von 100 m keine Messabbrüche mehr zu verzeichnen waren.

Ein im Konzept definierter LiDAR-Sensor zur hochgenauen Distanzerkennung konnte aufgrund der Limitierung des Payload-Gewichts der Drohne nicht integriert werden. In Hinblick auf die Echtzeitfähigkeit der einzelnen Algorithmen (vgl. Abbildung 2) wurden jeweils Laufzeitmessungen durchgeführt. Die KI-gestützte Objekterkennung und -verfolgung sind mit einer Updaterate von 120 fps möglich. Je nach Genauigkeitsanforderungen ist auch eine hochfrequente 2D-Gelenkwinkelerkennung mit bis zu 110 fps umsetzbar. Die 3D Gelenkwinkelrekonstruktion auf der Onboard Recheneinheit liegt bei 1,8 fps.

Diskussion

Bei den ersten Untersuchungen zeigte sich eine hohe Akzeptanz des Systems bei den Athlet:innen. Die Ergebnisse der Datenauswertung und des aktuellen Systemsettings sind als sehr positiv anzusehen. Das entwickelte System kann mithilfe der optischen Sensoren und der integrierten Algorithmen in Echtzeit adaptiv auf Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen der Zielobjekte reagieren, sodass eine konstante Entfernung als Grundlage für ein möglichst genaue Messung, wie unter Laborbedingungen, auf dem Wasser vorgenommen werden kann. Die Messdaten werden in Echtzeit verarbeitet, sodass daraus abgeleitete Gelenkwinkelverläufe in der Bewegung bewertet und angepasst werden können. Die Genauigkeiten der Gelenkwinkelverläufe sowie eine Fehlerabschätzung müssen in weiterführenden Studien evaluiert werden. Die Möglichkeiten des Systems, insbesondere die komfortable Erfassung der Gelenkkinematik, stellen eine optimale Ergänzung zum FES Ruderboot dar, da somit weitere Zielparameter erfasst und komplexere Analysen vorgenommen werden können.

Optimierungspotential bietet die Sensorik zur Distanzerkennung. Im weiteren Vorgehen muss eine Möglichkeit gefunden werden, eine möglichst störungsfreie und präzise Verfolgung von Athlet:innen zu realisieren, um hochpräzise Messergebnisse in der (gelenk-) kinematischen Untersuchung erzielen zu können. Aktuelle Ergebnisse zeigen, dass die eingesetzten Stereovision-Kameras bzgl. Ihrer Zuverlässigkeit in der Tiefenwahrnehmung aufgrund von variablen Sonnenlichtverhältnissen und Reflektionen auf dem Medium Wasser teilweise an ihre Grenzen stoßen. Die Einbindung eines leichtgewichtigen LiDAR Systems ist geplant, um Tiefenabschätzungen genauer treffen zu können und eine performantere 3D Rekonstruktion auf Grundlage gemappter RGB – LiDAR Daten zu erreichen.

Unter der Voraussetzung, dass eine „Follow-Athlete“ Grundfunktionalität zuverlässig und präzise umgesetzt werden kann, ist das Ziel mehrere Drohnen gleichzeitig synchronisiert einzusetzen, um Tote-Winkel durch Segmentüberlagerungen des Athlet:innen aus einer Perspektive bei der Analyse zu reduzieren.

Eine erweitertes Userinterface erhöht die einfache Nutzbarkeit des Systems und ermöglicht gleichermaßen eine Feedbackfunktionalität an den Trainer oder den Athlet:innen selbst.

Danksagung

Die Autoren danken dem Deutschen Ruderverband und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung Deutschland für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Zwanzig20-Programms. <https://de.fast-zwanzig20.de/>

Literatur

- Brauckmann, N., & Schütz, A. (25. & 26. September 2020). Multisensorsystem zur Echtzeitanalyse von Bewegungen im Skilanglauf. In *Zukunftsperspektiven von Sportinformatik & Sporttechnologie im Leistungs- und Breitensport : Tagungsband zum 13. Symposium der dvs-Sektion Sportinformatik und Sporttechnologie* (S. 44f). Bayreuth: https://doi.org/10.15495/EPub_UBT_00005003. Von <https://epub.uni-bayreuth.de/5003/> abgerufen
- Elektronik-Kompendium.de. (31. Mai 2022). *Elektronik-Kompendium.de*. Von <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/1602101.htm> abgerufen
- Macedo, V., Santos, J., & Baptista, R. (2022). *Automatic Rowing Kinematic Analysis Using OpenPose and Dynamic Time Warping*. Bastos-Filho, T.F., de Oliveira Caldeira, E.M., Frizera-Neto, A. (eds) XXVII Brazilian Congress on Biomedical Engineering. CBEB 2020. IFMBE Proceedings, vol 83: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70601-2_93.
- Munn, J. S. (2016). Using an Aerial Drone to Examine Lateral Movement in Sweep Rowers. The University of Western Ontario .