



Doctoral Thesis

Human motion assistance with wearable computing applied to swimming and freezing of gait

Author(s):

Bächlin, Marc

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006246265> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Human motion assistance with wearable computing Applied to swimming and freezing of gait

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

MARC BÄCHLIN

Dipl.-Ing. Universität Karlsruhe (TH)

born July 13th, 1979

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner

Prof Dr. Kurt Murer, co-examiner

Abstract

Human motion analyses have become an investigative and diagnostic tool in medicine and sports. In the process of motion assistance, the motion analysis is one out of four stages, which are motion sensing, motion spotting, detailed analysis of body motions, and feedback. The feedback can be a confirmation, support, or correction instruction.

Technological supported analysis is most often based on video systems. However, for continuous motion assistance during everyday life, we believe that wearable assistants will often have advantages over video-based systems. These wearable assistants consist of on-body sensors, real time analysis and feedback capabilities. This thesis evaluates the concept of wearable motion assistants for two concrete applications:

- (a) a wearable swim-assistant for swimmer, and
- (b) a wearable gait-assistant for Parkinson's disease (PD) patients.

On-body motion sensing solutions have been reviewed with respect to the sensors entropy, the placement, and the wearability. Specific systems have been developed for both applications.

The sensing part of the swim assistant consists of four acceleration sensors worn at both wrists and at the lower and upper back. Motion detection algorithms have been developed to detect swim activity events in the continuous sensor data. Evaluation of the swim-motion detection algorithms has shown that the timing of arm strokes, lane turns, and start and end of a lane can be detected with an inaccuracy of less than 0.3 s. For a detailed analysis of swim movements, a swim-model is introduced to simulate the acceleration data of crawl swimming. This model was used to evaluate the measurement accuracy of the swim analysis algorithms. Further, this swim model helped to analyze the signal components (e.g. gravitation, linear acceleration, centripetal acceleration, ...) of the recorded sensor data. The system was tested during a study with twelve swimmers, and it could be shown, that the system can analyze the body balance and body rotation of a swimmer. Finally, three different feedback modalities have been developed, tested, and evaluated. Tactile and visual feedback outperformed audio feedback during swimming.

The PD assistant consists of a wearable computer worn at the belt and acceleration sensors worn at the leg. Sensor positions at the ankle,

the knee, and the hip have been evaluated. A freezing of gait detection chain has been developed and evaluated. In a study with ten PD patients, it was demonstrated that online detection of freezing of gait is feasible. A detection performance of 73.1% sensitivity and 81.6% specificity was achieved with a user independent parameter set. The gait variability between PD patients has been analyzed. The detection performance of the freezing of gait algorithm could be improved up to 88.6% sensitivity and 92.4% specificity with a parameter adaptation. In addition to the FOG detection, online audio feedback has been tested and evaluated during the study. The patients gave us a promising feedback regarding the wearability and performance of our system. Half of the participants experienced a positive effect on their gait by our system.

Zusammenfassung

Bewegungsanalysen gehören zu den gängigen Untersuchungs- und Diagnosemethoden im Sport- und Gesundheitsbereich. Die Bewegungsanalyse ist ein Teil der Bewegungsbetreuung, die aus vier Teilen besteht: der Bewegungserfassung, der Bewegungserkennung, der detaillierten Analyse von Bewegungen und der Rückmeldung (dem 'Feedback') an den Sportler bzw. den Patienten. Das Feedback kann dabei eine Bestätigung, Unterstützung oder Korrekturanweisung sein.

Technologisch unterstützte Bewegungsanalysen basieren meistens auf Videosystemen. Für eine kontinuierliche Bewegungsanalyse und Betreuung während des Alltags sehen wir für viele Anwendungen einen tragbaren 'technischen Assistenten' mit Vorteilen gegenüber einem videobasierten System. Diese 'technischen Assistenten' bestehen aus am Körper getragenen Sensoren, einer Echtzeitanalyse und einer Feedback-Möglichkeit. Diese Arbeit analysiert das Konzept des tragbaren 'technischen Assistenten' für zwei konkrete Anwendungen:

- (a) einen tragbaren Schwimm-Assistent für Schwimmer, und
- (b) einen tragbaren Geh-Assistent für Parkinson-Patienten.

Tragbare Lösungen zur Bewegungserfassung wurden im Hinblick auf den Informationsgehalt der Sensoren, die Positionierung und den Tragekomfort überprüft. Für beide Anwendungen wurden spezifische Systeme entwickelt.

Die Bewegungserfassung des Schwimm-Assistenten besteht aus vier Beschleunigungssensoren, welche an beiden Handgelenken und am unteren und oberen Rücken getragen werden. Algorithmen zur Bewegungserkennung wurden entwickelt, um Schwimmbewegung in den kontinuierlichen Sensordaten zu erkennen. Die Auswertung der Algorithmen zur Erkennung der Schwimmbewegungen hat gezeigt, dass die Zeitpunkte von Schwimmarmszügen, Wenden, und Anfang und Ende einer Schwimmbahn mit einer Messgenauigkeit von weniger als 0,3 s erkannt werden. Für die detaillierte Analyse von Schwimmbewegungen wurde ein Schwimmmodell eingeführt, das die Beschleunigungsdaten von Kraulschwimmen simuliert. Dieses Modell wurde verwendet, um die Messgenauigkeit der Schwimm-Analyse-Algorithmen zu bewerten. Zusätzlich half das Modell, die einzelnen Signalkomponenten (z.B. Gravitation, lineare Beschleunigung, zentripetale Beschleunigung,

...) der erfassten Sensordaten zu analysieren. In einer Studie mit zwölf Schwimmern wurde das System getestet. Das System kann die Lage und Körperrotation eines Schwimmers während des Schwimmes analysieren. Schliesslich wurden drei verschiedene Feedback-Modalitäten entwickelt, erprobt und evaluiert. Visuelles und taktiler Feedback wurden während dem Schwimmen besser wahrgenommen als akustisches Feedback.

Der Parkinson-Assistent besteht aus einem am Gürtel getragenen Computer, sowie am Bein befestigten Beschleunigungssensoren. Sensorpositionen am Sprunggelenk, am Knie und an der Hüfte wurden evaluiert. Es wurde ein "Freezing-of-Gait" Erkennungsalgorithmus entwickelt und evaluiert. In einer Studie mit zehn Parkinson-Patienten wurde nachgewiesen, dass eine online Detektion von "Freezing-of-Gait" möglich ist. Eine Erkennungsgenauigkeit von 73,1% Sensitivität und 81,6% Spezifität wurde während der Studie mit einem patientenunabhängigen Parametersatz erreicht. Die Gangvariabilität der Parkinson-Patienten wurde analysiert. Die Erkennungsgenauigkeit des "Freezing-of-Gait" Algorithmus konnte durch Parameteranpassung auf 88,6% Sensitivität und 92,4% Spezifität verbessert werden. In der Studie wurde zusätzlich ein akustisches 'online Feedback' getestet und bewertet. Die Patienten gaben uns eine vielversprechende Rückmeldung in Bezug auf Tragbarkeit und Leistung unseres Systems. Die Hälfte der Patienten nahm einen positiven Einfluss unseres Systems auf ihr Gehverhalten wahr.