

Human Activity Recognition and Gesture Spotting with Body-Worn Sensors

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

Holger Junker
Dipl. Ing. TU Braunschweig
born July 6th, 1972
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerhard Tröster, examiner
Prof. Dr. Paul Lukowicz, co-examiner

Abstract

Wearable systems promise to become the next generation computer systems. Seamlessly integrated into the user's outfit, a wearable computer will create a truly mobile workspace using enhanced human-computer interfaces. Moreover, it will act as an invisible, personalized assistant for the user, being able to sense and adapt to the user's context and personal needs.

The implementation of such systems presents many challenges in a number of research areas. In this respect, reliable recognition of human motion is an important issue, enabling e.g. gesture-based, human-computer interaction, and providing the basis for the recognition of the user's overall context. In our work, we cover this issue and focus on the design and evaluation of approaches to facilitate on-line recognition of human motion with body-worn sensors. Furthermore, we deal with the development of methodologies to help in the design process of motion-aware, wearable systems.

In order to design appropriate recognition schemes, it is appropriate to consider the temporal properties of the motions to be recognized. In our work, we specifically deal with two categories of human motion: firstly, with motions of periodic nature, typically having some extent in time (activities), and secondly, with motions characterized by distinctive-typically short-motion sequences (motion events).

To facilitate continuous, on-line recognition of activities given streaming sensor data, we discuss a simple approach which is based on an artificial partitioning of the signal streams into segments. On-line recognition is then achieved by subsequent recognition of these segments with appropriate classification algorithms. Based on the recognition of human modes of locomotion, we derive relevant characteristics and possible improvements of this approach. We then present an alternative, event-based scheme for the recognition task at hand. This scheme partitions the data in a natural way, facilitating robust recognition of human locomotion on a step basis.

For the localization and recognition of sporadically occurring motion events in a continuous data stream from body-worn sensors, we present

a multistage spotting approach. Based on a natural partitioning of the sensor signals, signal sections likely to contain specific motion events are identified in a first stage, using a simple similarity measure. These sections are then passed on to a second stage and classified with appropriate recognition algorithms, eliminating sections falsely retrieved in the first stage. Based on the spotting of typical, everyday gestures involving movements of the right arm, we discuss implementation details of our spotting approach. We then show that our approach is able to identify relevant motion patterns in a continuous stream of data, while successfully rejecting irrelevant motion sequences.

In order to provide design decisions for a recognition system, we present a methodology, allowing the identification of relevant sensors for a given recognition task in a systematic way. The methodology is based on feature selection techniques using mutual information as evaluation criterion. In a case study, we show how the proposed methodology can be used to derive an optimized design for a motion-aware, wearable system.

Zusammenfassung

Tragbare Computersysteme, die mit der Kleidung des Benutzers verschmelzen, läuten die nächste Computergeneration ein. Diese Computersysteme, die über effiziente Schnittstellen zum Benutzer verfügen, schaffen mobile Arbeitsplätze und fungieren als unsichtbare, personalisierte Assistenten, die den Kontext und die persönlichen Bedürfnisse der Benutzer erfassen und sich entsprechend anpassen können.

Die Realisierung solcher Systeme stellt viele wissenschaftliche Herausforderungen dar. In diesem Zusammenhang spielt die zuverlässige Erkennung menschlicher Bewegungen eine entscheidende Rolle, da sie beispielsweise eine gestenbasierte Interaktion zwischen dem Benutzer und dem Computer ermöglicht und die Grundlage für die Erkennung des Benutzerkontextes schafft.

In der vorliegenden Arbeit befassen wir uns mit dieser Thematik und behandeln schwerpunktmäßig den Entwurf und die Evaluierung von Ansätzen zur Online-Erkennung menschlicher Bewegungen mit am Körper getragenen Sensoren. Darüber hinaus setzen wir uns mit der Entwicklung von Methoden zur Unterstützung des Designprozesses von tragbaren Bewegungserkennungssystemen auseinander.

Für die Entwicklung geeigneter Erkennungsverfahren ist es zweckmässig, die zeitlichen Eigenschaften der Bewegungen zu berücksichtigen. In unserer Arbeit befassen wir uns speziell mit zwei Kategorien menschlicher Bewegungen. Die erste Kategorie (Aktivitäten) beschreibt Bewegungen periodischer Natur, die typischerweise eine gewisse zeitliche Ausdehnung haben. Die zweite Kategorie umfasst Bewegungen, die durch spezifische, typischerweise kurze Bewegungssequenzen charakterisiert sind (Bewegungsereignisse).

Für die Online-Erkennung von Aktivitäten, basierend auf kontinuierlichen Datenströmen, diskutieren wir einen einfachen Ansatz, welcher die Datenströme anhand einer künstlichen Partitionierung in einzelne Segmente zerlegt. Die Online-Erkennung wird durch Klassifikation der einzelnen Segmente mit geeigneten Algorithmen erreicht. In einer Fallstudie, die sich mit der Erkennung von menschlichen Gangarten befasst, leiten wir grundsätzliche Eigenschaften dieses Erkennungsansatzes ab

und benennen mögliche Verbesserungen. Anschließend präsentieren wir einen ereignisbasierten Ansatz zur Erkennung der Gangarten. Bei diesem Ansatz werden die Sensordaten nicht künstlich, sondern auf natürliche Art segmentiert, wodurch eine zuverlässige, schrittbasierte Erkennung ermöglicht wird.

Für die Lokalisierung und Erkennung von sporadisch auftretenden Bewegungsereignissen in einem kontinuierlichen Datenstrom von am Körper getragenen Sensoren schlagen wir ein mehrstufiges Klassifikationsschema vor. Basierend auf einer natürlichen Partitionierung der Sensorsignale werden mit Hilfe eines einfachen Ähnlichkeitsmaßes in einer ersten Stufe potentielle Signalabschnitte identifiziert, die spezifische Bewegungsereignisse beinhalten könnten. Diese Signalabschnitte werden anschließend in einer zweiten Stufe mit geeigneten Erkennungsverfahren klassifiziert, um diejenigen Abschnitte, die fälschlicherweise in der ersten Stufe selektiert wurden, zu eliminieren. Anhand einer Fallstudie, welche die Erkennung von typischen, alltäglichen Gesten behandelt, diskutieren wir Implementierungsdetails unseres Ansatzes und zeigen, daß dieser geeignet ist, um spezifische Bewegungssequenzen in einem kontinuierlichen Datenstrom zu erkennen.

Um Entscheidungshilfen für den Entwurf eines Erkennungssystems bereitzustellen, präsentieren wir eine Methode zur Identifikation relevanter Sensoren. Diese Methode basiert auf Merkmalsselektionsverfahren, welche die informationstheoretische Größe 'Transinformation' als Evaluierungskriterium verwenden. Anhand einer Fallstudie zeigen wir, wie die Methode zur Optimierung eines Bewegungserkennungssystems verwendet werden kann.