



# Konzepte, Methoden und Anwendungen zur Analyse und Optimierung von eingebetteten Inertialsensorsubsystemen bei menschlicher Interaktion

## Dissertation

VORGELEGT VON:

**Nils Büscher,**

geboren am 27.07.1989 in Witten

ZUR ERLANGUNG DES

AKADEMISCHEN GRADES EINES

DOKTOR-INGENIEUR (DR.-ING.)

DER FAKULTÄT FÜR INFORMATIK UND ELEKTROTECHNIK

DER UNIVERSITÄT ROSTOCK

EINGEREICHT AM:

07.03.2022

# Zusammenfassung

Inertialsensoren spielen eine zentrale Rolle bei der Umsetzung zahlreicher neuer technischer Anwendungen, insbesondere im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI). Dazu zählen Methoden wie Gestenerkennung für die Steuerung eines Gerätes, virtuelle Zeigergeräte, Headsets für Virtuelle Realität (VR) oder Indoor-Navigation. Durch immer leistungsfähigere Hardware ist eine fast unbegrenzte Anzahl unterschiedlicher Anwendungen möglich. Auch in kleineren eingebetteten Systemen werden immer häufiger die Daten der Inertialsensoren direkt verarbeitet und genutzt. Damit die Anwendungen verlässlich funktionieren, müssen die Messdaten der Inertialsensoren sowie die durch Sensordatenfusion erzeugten Ergebnisse genau, robust und zuverlässig sein. Besonders bei Smartphones haben Untersuchungen aber gezeigt, dass die Qualität der Sensordaten und der Sensordatenfusion sehr stark variieren kann. Bei der Entwicklung von Anwendungen sowohl auf Smartphones, als auch auf anderen eingebetteten Systemen stellen die Unterschiede bei der Qualität der Sensoren oder der Sensordatenfusion eine große Herausforderung dar.

Das Ziel der in dieser Abhandlung beschriebenen Arbeiten ist es, Entwickler:Innen eine Hilfestellung bei der Erstellung von zuverlässigen und genauen Anwendungen zu geben. Die Arbeiten stellen neuartige Konzepte und Methoden vor, mit denen es auf einfache Weise und ohne teure externe Hilfsmittel möglich ist, die Qualität der Sensordatenfusion oder des Inertialsensorsubsystems zu beurteilen. Hierbei werden Konzepte, Methoden und Anwendungen auf zwei Abstraktionsebenen vorgestellt. Zum einen auf der Anwendungsebene, auf der die Anwendungen auf Daten von bereits vorhandenen Inertialsensorsubsystemen zugreifen. Zum anderen auf der Firmware-Ebene, auf der direkt auf dem eingebetteten System eine Verarbeitung oder Fusion der Sensordaten stattfinden soll.

Weiterhin werden Erkenntnisse aus Untersuchungen vorgestellt, die als Entscheidungshilfe dienen sollen, um bei der Entwicklung die richtigen Algorithmen und Datenformate auszuwählen. Zuletzt wird eine Anwendung vorgestellt, mit der es auf schnelle und unkomplizierte Weise möglich ist, Sensordaten zu manipulieren und zu erweitern, um Anwendungen zu entwickeln und zu testen, oder um Algorithmen zur Gestenerkennung zu trainieren und zu verifizieren.

# Abstract

Inertial sensors play an important role in the implementation of numerous new technical applications, especially in the field of human–machine interfaces (HMI). These include methods such as gesture recognition for controlling a device, digital pointing devices, headsets for virtual reality (VR) or indoor navigation. Due to increasingly powerful hardware, an almost unlimited number of different applications is possible. However, also on smaller embedded systems, data from inertial sensors is processed and used directly more often. In order for the applications to function dependably, the data measured from the inertial sensors and the results generated by sensor fusion have to be accurate, robust and reliable. However, especially for smartphones, studies have shown that the quality of sensor data and sensor data fusion varies dramatically. When developing applications on both smartphones and embedded systems, the differences in the quality of sensors or sensor fusion poses a great challenge.

The goal of the works presented in this thesis is to provide guidance to developers in developing reliable and accurate applications. This thesis presents concepts and methods that make it possible to assess the quality of sensor data fusion of the inertial sensor subsystem in a simple way and without the requirement for expensive external tools. The concepts, methods, and applications are presented at two levels of abstraction. First, at the application level, where applications access the data from already existing inertial sensor subsystems. Secondly, on the firmware level, where processing or fusion of sensor data is implemented directly on the firmware of the embedded system.

Furthermore, findings from investigations are presented, which should serve as a decision support to select the right algorithms and data formats during development for a selected use case. Finally, an application is presented with which it is possible to manipulate and augment sensor data in a fast and uncomplicated way to evaluate applications, train and verify algorithms for gesture recognition or assess processing steps of the sensor data prior to being implemented in the firmware.