

# Validierung und Auswertung von Beschleunigungsdaten

## Einsatz von inertialen Messeinheiten zur präzisen Bewegungsanalyse

Diplandin



Laura Thoma

**Problemstellung:** Die vorliegende Bachelorarbeit ist Teil des Forschungsprojekts Alpine Guard. Ziel dieses Projekts ist es, ein tieferes Verständnis für die physikalischen Prozesse zu entwickeln, die Lawinenbildung und -dynamik beeinflussen, um daraus praktische Anwendungen, wie präzisere Vorhersagemodelle oder sicherere Infrastrukturen, abzuleiten. Die OST entwickelt dafür eine robuste, kostengünstige und leicht skalierbare Sensorplattform, die AvaNode. Diese Plattform besteht aus mechanischen, elektronischen und softwaretechnischen Modulen (siehe Abbildung 1). Insbesondere die Nutzung der inertialen Messeinheit (IMU) ICM-20948, ermöglicht detaillierte Messungen von Beschleunigungs- und Rotationswerten, die zur Untersuchung von Schneedeckenbewegungen und Lawinendynamiken verwendet werden können. Trotz der technologischen Fortschritte bei der Entwicklung von IMUs bestehen erhebliche Herausforderungen bei der Verlässlichkeit und Genauigkeit der Sensordaten. Sensorrauschen, Drift und fehlerhafte Sensorfusion können zu ungenauen Ergebnissen führen. Dies ist besonders kritisch, wenn die Daten zur Ableitung von Bewegungsvektoren in dreidimensionalen Raum genutzt werden sollen. Darüber hinaus erfordert die Verarbeitung dieser Daten die Integration komplexer mathematischer Filtermethoden, um präzise Ergebnisse zu gewährleisten. Ein weiteres Problem liegt in der Darstellung linearer Bewegungen, bei denen die Ergebnisse oft ungenau oder fehlerhaft sind. Das Ziel dieser Arbeit war es, ein Verfahren zur Validierung und Analyse der von der ICM-20948 IMU erfassten Daten zu entwickeln.

**Ergebnis:** Die Arbeit kann erfolgreich demonstrieren, dass die Gravitationskompensation die Gravitation effektiv aus den gemessenen Beschleunigungen entfernt, jedoch führen Drift und Ungenauigkeiten in den Orientierungswinkeln zu Transformationsfehlern. Diese Fehler beeinträchtigen die korrekte Berechnung der linearen Beschleunigung und können Abweichungen in der Bewegungsrekonstruktion verursachen. Der eingesetzte erweiterte Kalman-Filter (EKF) zeigt sich als sehr effektiv bei der Glättung der Daten und der Reduktion von systematischen Fehlern. Allerdings kann der Filter bestehende Fehler in den Eingangsdaten, wie anfängliche Ausschläge oder Drift, nicht vollständig ausgleichen. Während der rekonstruierte Bewegungsweg (Abbildung 2) durch den EKF deutlich realistischer ist als die ungefilterten Daten (Abbildung 3), bleiben Abweichungen bestehen, die die Genauigkeit der Darstellung beeinflussen.

**Fazit:** Die Ergebnisse zeigen das Potenzial der ICM-20948 IMU für die Analyse von Bewegungsdaten und liefern wichtige Erkenntnisse, die zur Weiterentwicklung der Sensorplattform beitragen können. Trotz der erzielten Fortschritte bleiben einige

offene Punkte. Die Genauigkeit der Gravitationskompensation bedarf weiterer Verbesserungen, wobei der Ansatz, die lineare Beschleunigung direkt mithilfe des Digital Motion Processors zu berechnen, eine vielversprechende Alternative darstellen könnte. Ebenso sollte die Integration der IMU-Daten mit GPS-Daten implementiert werden, um die Präzision der Bewegungsrekonstruktion zu steigern. Eine zusätzliche Herausforderung liegt in der Anpassung der Filterparameter des erweiterten EKFs, um die Leistung bei nichtlinearen Dynamiken zu verbessern. Zukünftige Arbeiten sollten sich außerdem auf eine umfassende Analyse der Sensorkalibrierung und

Abbildung 1: Breakout Version der AvaNode  
Eigene Darstellung

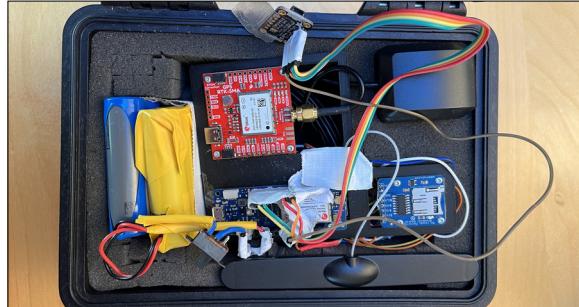


Abbildung 2: Rekonstruierter Pfad der gefilterten Beschleunigungsdaten einer Kreisbewegung  
Eigene Darstellung

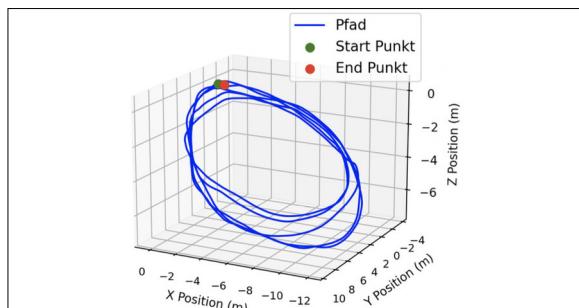
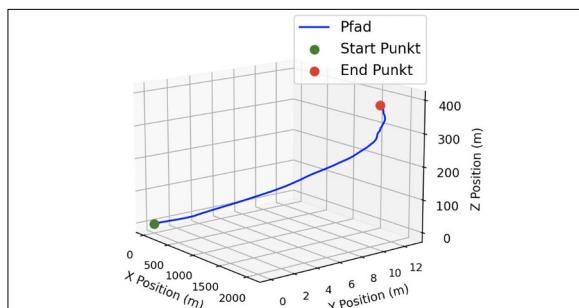


Abbildung 3: Rekonstruierter Pfad der ungefilterten Beschleunigungsdaten einer Punkt-Messung  
Eigene Darstellung



Referent  
Prof. Dr. Felix Nyffenegger

Korreferent  
Marco Egli, Intelliact AG, Zürich, ZH

Themengebiet  
Sensorik,  
Maschinenbau-  
Informatik