

Kinematisches Tracking für Echtzeitanwendungen

Kinematische Messsysteme sind unerlässlich um die Bewegung eines Objektes (Trajektorie) in Echtzeit zu bestimmen. Dabei ist eine geringe Latenz erforderlich und die Genauigkeit der beteiligten Messsysteme soll konsistent sein, also unabhängig von der aktuellen Position und Lage des zu messenden Objekts. In dieser Master-Thesis wurde die Performance eines aus mehreren Leica Nova Multistations (MS60) bestehenden Messsystems gesamthaft untersucht und die Messdaten, mit Hilfe eines Linearen Kalman Filters fusioniert.



Abb. 1: Messaufbau Tracking

Messaufbau

Für das Tracking wurde ein 360° Prisma «GRZ122» auf einer LEGO-Eisenbahn montiert und auf einer Teststrecke, die sowohl Kurven wie auch Geraden enthält, von zwei MS60 getrackt. Für die Orientierung der MS60 wurde im Messlabor ein lokales Koordinatensystem erstellt. Hierzu wurden Reflektorfolien aufgeklebt, eingemessen und ausgeglichen. Die beiden MS60 wurden stationiert (Richtung und Orientierung gesetzt) und mit dem Master-Computer via Raspberry Pi verbunden und angesteuert. Die Zusammenführung der Messwerte wurde im Robot Operating System (ROS) auf dem Master-Computer realisiert.

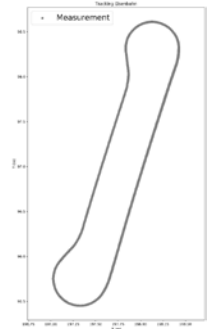


Abb. 2: Tracking-Strecke

Untersuchung des Messsystems

- **Updaterate:** Die angegebene Messfrequenz der MS60 beträgt 20 Hz. Während dem Tracking betrug sie durchschnittlich 0.0512 s (19.5 Hz) mit unregelmässigen Messlücken, in denen teilweise mehrere Messungen fehlen.
- **Doppelte Zeitstempel:** In den Messdaten pro MS60 treten Messungen mit gleichem Zeitstempel auf (Koordinatenunterschied im Mikrometer-Bereich). Es wird vermutet, dass die Ursache bei der MS60 liegt. Die Messungen mit doppeltem Zeitstempel werden im Code abgefangen.
- **Abweichungen zwischen den Messungen der beiden MS60:** In der Lage treten Abweichungen von bis zu 5 mm, in der Höhe von bis zu 2.5 mm auf. Als Ursachen werden, der Einfluss der Rotation des 360° Prismas (Lackner & Lienhart, 2016) und die Messgenauigkeit der MS60 vermutet.
- **Zeit einer Messung bis zum Master-Computer:** Die durchschnittliche Zeit beträgt 0.061 s, die längste Zeitdauer betrug 0.103 s und die kürzeste Zeitdauer 0.030 s

ROS.org

python™

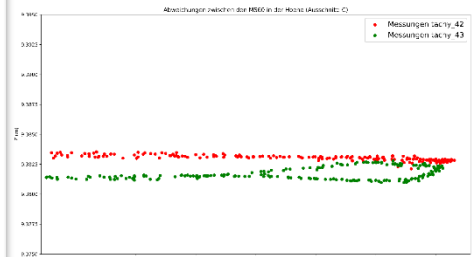


Abb. 3: Abweichung der Messpunkte in der Höhe

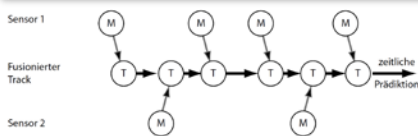


Abb. 4: Sensor-zu-System-Track Fusion (Stücker, 2014)

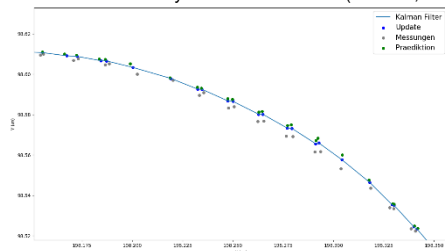


Abb. 5: Arbeitendes Kalman Filter

Sensorfusion mittels Kalman Filter

Für die Implementation eines Linearen Kalman Filters in Python, wurde das Modul «FilterPy» von Roger Labbe (2015) verwendet. Der iterative Algorithmus umfasst die beiden Schritte:

- **Prediction:** Mit dem physikalischen Modell wird der nächste Zeitschritt und deren Unsicherheit geschätzt.
- **Update:** Die Messung wird dem Filter hinzugefügt, die Residuen zwischen geschätztem Zustand (Prediction) und Messung berechnet und die Zustandsschätzung anhand eines Skalierungsfaktors (basierend auf den berechneten Unsicherheiten) aktualisiert.

Die Genauigkeit des Filters ist abhängig von der Wahl des physikalischen Modells, mit dem das System beschrieben wird.

Fazit: Die Abweichungen zwischen den Messungen der beiden MS60 beeinflussen das Filter (Zickzack-Bewegung). Die Verzögerungen bei der Messwerteinbringung führen in der Berechnung zu negativen Δt und wurden im Code herausgefiltert. Sowohl beim Tracking der Eisenbahn, wie auch bei der Anwendung des Filters auf eine Testfahrt, wurden Performanceprobleme festgestellt. Wurden die Rosbags bei Originalgeschwindigkeit gestreamt, konnten Fehler beim Speichern der Ergebnisse in «FilterPy» festgestellt werden. Trotz Herausforderungen, konnte das implementierte Lineare Kalman Filter, dank der hohen Updaterate, mit guten Ergebnissen auf ein nicht lineares System angewendet werden.

Referenzen:

- Labbe, Roger (2015b): GitHub. rlabbe/Kalman-and-Bayesian-Filters-in-Python. Online im Inter-net: URL: <https://github.com/rlabbe/Kalman-and-Bayesian-Filters-in-Python> (Zugriff am: 30.12.2019).
Lackner, S. Lienhart, W (2016): «Impact of Prism Type and Prism Orientation on the Accuracy of Automated Total Station Measurements.» In: Joint International Symposium on De-formation Monitoring, (2016).
Stücker, Dirk (2004): Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im automobilen Straßenverkehr. Dissertation. Carl von Ossietzky-Universität. Oldenburg. (Zugriff am: 16.09.2019).

Autorin: Carmen Bucher
Examinator: Prof. Dr. David Grimm
Co-Projektleitung: Pascal Stucki
Experte: Dr. Axel Wendt