**Ergebnis der Arbeit in der Signalverarbeitung**

**Warum sind so genannte „self-contained“ Positionstracker erstrebenswert?**

* Viele existierende Systeme (z.B. GPS) benötigen externe Quellen oder Infrastrukturen und haben Einschränkungen wie Sichtbehinderung, Rauschanfälligkeit und andere Störungen.
  + Anfällig für „Jamming“ oder Interferenz
* Limitation bestehender Lösungen:
  + Systeme wie Pedometer können Schritte zählen, haben allerdings keine Positions- und Richtungsinformationen
  + Die Quadratische Driftfehlerakkumulation bei Inertialsensoren wurde als signifikantes Hindernis angesehen

**Problem:**

Die MPU, mit der gearbeitet wurde hat, wie die meisten MPUs, das Problem, dass diese aufgrund von Rauschen und Messabweichungen schnell zum „Driften“ neigt. Hierbei wird konkret durch das Berechnen der Beschleunigungswerte in Positionswerte zweifach integriert. Dabei werden allerdings Messfehler aufsummiert.

* Ein Offset beim Beschleunigungswert führt dazu, dass falsche Geschwindigkeiten berechnet werden. So misst der in der Realität in Ruhe liegende Sensor (keine Beschleunigung) beispielsweise, dass er minimal beschleunigt wird. Dadurch wird mit der ersten Integration fälschlicherweise eine steigende Geschwindigkeit errechnet, welche nach der zweiten Integration quadratisch in einem „Drift“ der Positionswerte resultiert.
* Lösung hierfür: Low-Pass-Filter, um dem Rauschen entgegenzuwirken und damit zumindest ein bisschen weniger drift zu haben

Noch ein Grund für den Drift ist die Abweichung der Winkelgeschwindigkeit mit der Zeit. Da in unserer MPU kein Magnetometer verbaut ist, gibt es in diesem Falle auch keine Orientierung zum (geographischen) Nordpol und damit auch keinen Anker, um dem Abweichen der Werte auf den horizontalen Achsen entgegenzuwirken. Der einzige Anker, den wir haben ist die Erdbeschleunigung, die wir mit dem Accelerometer messen. Dadurch können wir vertikale Drifts (zumindest für diese Fehlerart) einschränken.

* Lösung: Magnetometer nutzen

Allerdings besteht der Drift mit diesen Lösungsansätzen immer noch, wodurch der genaue Plan unseres Projektes verfällt. Im Folgenden ist deshalb eine alternative Projektidee vorgeschlagen:

**Lösungsansätze**

MPU am Fuß + Zero-Velocity Updates (ZUPT)

Hierbei ist die Idee, dass man die Uhr (nach eventuellem Umbau und Anpassung) am Fuß trägt. Bei dieser Variante wäre das Bewegungsmuster anders als am Arm.

Die Driftkorrektur basiert auf der Nutzung von Momenten, in denen die Geschwindigkeit des Fußes null ist, wie beispielsweise während der Stützphase des Gangs (Zero-Velocity Updates). Diese Phasen werden durch eine Analyse von Sensorwerten wie Beschleunigung und Winkelgeschwindigkeit zuverlässig erkannt. Dabei zeigt die Z-Achsen-Beschleunigung während der Stützphase einen konstanten Wert, der hauptsächlich durch die Schwerkraft bedingt ist, während horizontale Beschleunigungen und Rotationsgeschwindigkeiten minimal bleiben.

Sobald ein solcher Nullgeschwindigkeitspunkt identifiziert wird, erfolgt eine Korrektur der Geschwindigkeitsdrift. Hierbei wird die gemessene Geschwindigkeit auf null gesetzt, und der Fehler, der sich durch die vorherige Integration der Beschleunigungswerte angesammelt hat, wird berechnet und angepasst. Diese Korrektur kann sowohl vorwärts als auch rückwärts auf die Beschleunigungsdaten angewendet werden, um Fehler über die gesamte Dauer des Bewegungszyklus zu minimieren. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die zukünftige Integration korrektere Geschwindigkeits- und Positionswerte liefert.

In experimentellen Tests konnte diese Methode erfolgreich validiert werden. So zeigte ein einfacher Bewegungstest, bei dem ein Sensor über eine Strecke von einem Meter bewegt wurde, vor der Korrektur eine Abweichung von bis zu 33 %. Nach Anwendung der Driftkorrektur reduzierte sich dieser Fehler auf nur noch 0,3 %, was nahezu exakte Ergebnisse darstellt. Diese Technik nutzt die zyklische Natur von Bewegungen wie Gehen oder Laufen effektiv, um Driftfehler zu minimieren und eine hohe Positionsgenauigkeit zu erreichen.s

Ein Bild, das Text, Diagramm, Reihe, Zahl enthält.

Automatisch generierte Beschreibung

|  |  |
| --- | --- |
| Vorteile | Nachteile |
| Sehr viel weniger Drift als ursprünglich | Abhängigkeit von Nullgeschwindikeitspunkten:  Diese Methode ist nicht für kontinuierliche Bewegungen ohne Stopps gedacht |
| Keine externen Bezugspunkte nötig (z.B. GPS) | Limitierte Genauigkeit bei unregelmäßigen Bewegungen (z.B. unregelmäßiges Stolpern oder Springen) |
| Im Gegensatz zum ursprünglichen Plan wären hier die Positionsdaten auch nutzbar (jedoch auch über einen begrenzten Zeitraum) | Muss am Fuß getragen werden |

Quellen:

Zum Thema MPU am Fuß:

<https://www.researchgate.net/publication/224705514_Self-contained_Position_Tracking_of_Human_Movement_Using_Small_InertialMagnetic_Sensor_Modules>

Implementierungsbeispiel (Eventuell leichte Variation in der Implementierung zum oben genannten Paper):  
<https://x-io.co.uk/gait-tracking-with-x-imu/>