

Indoor-Navigation ohne Verwendung von Infrastruktursensoren

Harald STERNBERG, Christian HÖNNIGER und Matthias FESSELE

1 Einleitung

Dieser Beitrag beschreibt die Prüfung und Weiterentwicklung eines Indoor-Navigationssystems für Fußgänger basierend auf einem kleinen low-cost Inertialnavigationssystem (INS). Die Systemkomponenten werden erläutert und erste Untersuchungen vorgestellt, die auf dem Campus der HafenCity Universität (HCU) vorgenommen wurden. Der Fokus der Untersuchungen ist der Übergang von Outdoor- zu Indoor- Szenarien. Eigene Filteransätze und erste Ergebnisse werden diskutiert. Das Ziel des Projekts ist die optimale Integration der Sensordaten der kleinen INS/GPS Einheit mit anderen Sensoren (z.B. Kameras und GIS mit einem selbstprogrammierten Kalman-Filter (KF)). Die Forschung dazu wird in der eingerichteten Forschungsgruppe „DigitalCity“ an der HCU betrieben.

2 Entwicklung und Konzept

Mit Änderungen in der Sensortechnologie und der Entwicklung von kleinen, leichten und kostengünstigen Sensoren und der Popularitätssteigerung der Fahrzeugnavigation erwachte der Markt für Fußgängernavigation. Dabei gibt es Unterschiede zwischen beiden Arten der Navigation (RETSCHER & SKOLAUT 2003).

- Das dynamische Verhalten der Fußgänger ist gering im Vergleich zur automobilen Fahrdynamik, was auf höhere Anforderungen an relative Sensoren hinausläuft.
- Fußgänger sind nicht eingeschränkt, sich auf der Straße zu bewegen und sich konform der Verkehrsregeln zu verhalten (z.B. eingeschränkte Manöver oder Einbahnstraßen). Dafür ist eine Verbesserung der Positionierung durch Map-Matching Technologien nicht so naheliegend wie in der Fahrzeugnavigation.
- Fußgängernavigation setzt erweiterte Karteninhalte voraus, um derartige Features wie Fußgängerzonen und Unterführungen zu nutzen.
- Erhöhter Aufwand besteht in der Indoor-Navigation, insbesondere bezüglich des Übergangs von Outdoor- nach Indoorszenarien.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Evaluierung von low-cost INS mit integriertem GPS Sensor und dessen Einsatzfähigkeit für Fußgängernavigation. Weitere Fragen wie Routenoptimierung und Zielführung sowie Design und Aufsetzen von Kartendaten für Fußgänger sind nicht berücksichtigt. Der Kern des Indoor-Navigationssystems ist die Bestimmung der Position – ein Gesamtkonzept ist in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei sind verschiedene Positionierungstechniken möglich.

Wir konzentrieren uns dabei auf eine Lösung frei von Infrastruktursensoren. Nur in der Testphase werden diese Sensoren für die Verifizierung der Trajektorie eingesetzt.

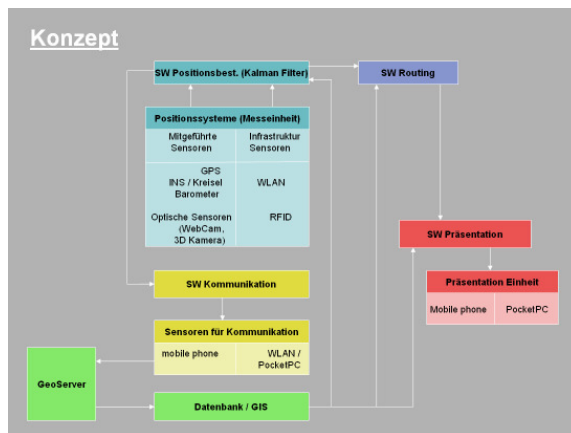


Abb. 1: Gesamtkonzept

Eine Positionierungseinheit besteht aus dem Basissensor: IMU, GPS und Barometer. Zusätzliche Sensoren, um die Orientierung im Gebäude zu stützen, sind optische Sensoren wie Webcams oder 3D Kameras. Kommunikation und Datenstrom für den Austausch von Gebäudeinformationen von und zum Geoserver ist wichtig. Diese Daten beinhalten den Routingprozess, aber auch die Positionsbestimmung. Zumindest wird ein Interface benötigt, um dem Benutzer die Ergebnisse des Navigationsprozesses in einem bedienerfreundlichen, -angepassten Format zu präsentieren. Die Bedienoberfläche wird zusammen mit den Kollegen der Stadtplanung innerhalb der Forschungsgruppe DigitalCity entwickelt.

3 Technologien der Positionierung

Der Aufstieg und Fortschritt in der Fußgängernavigation und die anspruchsvollen Aufgaben, entwickelt aus den Unterschieden zwischen Fußgänger- und Fahrzeugnavigation wie die in Sektion 2 gelisteten Punkte, resultieren danach in vielfältigen Forschungsaktivitäten. Der Fokus liegt hierbei auf den Themen hinsichtlich der Positionierung selbst.

Im Hinblick auf Indoor-Positionierung wurden verschiedene Arten von lokalen Positionierungssystemen (LPS) entwickelt, um lokal begrenzte Positionierung innerhalb von Gebäuden zu ermöglichen. Viele dieser Systeme setzen eine komplexe Infrastruktur voraus. Sie unterscheiden sich in den eingesetzten Frequenzen, in der Art von Senden und Empfangen und in der Teilung des Systems zwischen beweglichen Objekten und Infrastruktur.

Beispiele von Frequenzen und Systemen sind Ultraschall (z.B. Active Bat, Cricket), Infrarot (z.B. Active Badge, WIPS), sichtbares Licht (z.B. Cyber Code) und Radiosignale (z.B. Positionierung via WLAN, Bluetooth). Weitere Informationen zu diesen Systemen und ihren Anwendungen sind in RETSCHER & KISTENICH 2006 beschrieben worden. Erste Untersuchungen Infrastruktursensoren mit mobilen Positionierungssystemen zu kombinieren,

wurden mit der Integration von INS und WLAN Positionierung durchgeführt (FU & RETSCHER 2008). Da LPS auf kleine Bereiche beschränkt sind, in denen sie installiert werden können und ihre Infrastruktur kostenintensiv sein kann, liegt unser Fokus auf Positionierungsmethoden, die ohne Infrastruktur-basierende Technologie einsetzbar sind. Das Ziel ist die Entwicklung eines Fußgängernavigationssystems mit allen Positionierungssensoren in einem Gerät, das klein, leicht und einfach zu benutzen ist. Zusätzliche Sensoren wie Schrittzähler/-messer sind nützlich für die Indoor-Positionierung (GREJNER-BRZEZINSKA, TOTH, MOAFIPOOR & KWON 2007).

4 On-board Sensor Equipment (Low-Cost IMU MTi-G)

Das MTi-G (Miniatur- GPS/INS) von Xsens Technologies ist ein integriertes GPS und eine inertielle Messeinheit. Die Inertialsensoren (3 Achsen) basieren auf MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) Technologie; der GPS Sensor ist ein Miniatur-GPS-Receiver mit externer Antenne. Als zusätzliche Sensoren umfasst das MTi-G ein 3D Magnetometer und einen statischen Drucksensor.

Tabelle 1: GPS Receiver Spezifikation

Receiver Type	16 channels L1, C/A code
GPS Update Rate	4 Hz
Accuracy Position SPS	2.5 m CEP
DGPS/SBAS	2.0 m CEP
Timing Accuracy	50 ns RMS

Das MTi-G ermöglicht die Navigation und die Bestimmung der Lage sowie Bewegungsrichtung innerhalb eines gegebenen Referenzsystems mit Hilfe eines Lage- und Richtungs-Referenzsystem (AHRS) Prozessors. Der interne Signalprozessor wird mit einem Echtzeit-Kalman-Filter betrieben. Dieser liefert inertial verbesserte 3D Positions- und Geschwindigkeitsschätzung und GPS Erweiterung, Orientierungsschätzung, kalibrierte Beschleunigung, Drehrate und Erdmagnetfelddaten und statischen Druck (Barometer).

Tabelle 2: IMU Sensorleistung

	rate of turn	acceleration	magnetic field	static pressure
Unit	[deg/s]	[m/s ²]	[mGauss]	[hPa]
Dimensions	3 axes	3 axes	3 axes	-
Full Scale	+/- 300	+/- 50	+/- 750	300 – 1200
Linearity	0.1 % of FS	0.2 % of FS	0.2 % of FS	0.5 % of FS
Bias stability (1 σ)	5	0.02	0.5	100 Pa/year
Max Update Rate	512 Hz	512 Hz	512 Hz	9 Hz

Diverse Menüs ermöglichen unterschiedliche Einstellungen hinsichtlich spezifischer Verwendungsszenarien. Weitere Sensorspezifikationen sind in der Dokumentation „MTi-G User Manual and Technical Documentation“ (XSSENS 2008) einzusehen.

Verschiedene Output-Modi sind für die spätere Prozessierung verfügbar, die meisten im Binärformat für Echtzeit-Verarbeitung. Auf unterschiedliche Datenlevels kann wie folgt zugegriffen werden.

- Kalman-Filter Output: Orientierung, Position (und Geschwindigkeit), kalibrierte Inertialdaten
- Rohdaten Output: unkalibrierte Roh-Inertialdaten, GPS Rohdaten mit geschätzten Genauigkeiten

Um unterschiedliche Datenquellen zu kombinieren, können drei verschiedene vordefinierte Kalman-Filter Modelle verwendet werden. Die Szenarien (general purpose, aerospace, automotive) unterscheiden sich in der Bestimmung der Bewegungsrichtung wie in Tabelle 3 zu sehen. Zusätzliche Kalman-Filter Modelle können entwickelt und im MTi-G gespeichert werden.

Tabelle 3: XKF-6G Navigationsalgorithmus

	IMU	GPS	Magnetometer	Holonomic
General purpose	•	•		
Aerospace	•	•	•	
Automotive	•	•		•

5 Kalman-Filter

Das MTi-G umfasst einen ‚loose coupled‘ Kalman-Filter für die Verarbeitung der Sensorrohdaten. Da das in den Systemgleichungen formulierte Bewegungsmodell nicht applikationsspezifisch ist, werden für die Zielsetzung der Fußgängernavigation unterschiedliche eigene Filtermodelle entwickelt.

Um eine größere Flexibilität bezüglich der Systemgleichungen (dynamisches Modell) und der Messgleichung (verwendete Sensoren) zu haben, wird ein modulares Systemkonzept aufgesetzt. Dieses ermöglicht die Simulation und das Testen verschiedener Szenarien und Sensorkombinationen. Unterschiedliche MTi-G Ausgangsquellen wie Beschleunigungsmesser und barometrischer Höhenmesser zur driftfreien Höhenbestimmung können integriert werden (TANIGAWA, LUINGE, SCHIPPER & SLYCKE 2008). Externe Datenquellen wie Schrittzähler oder Digitalkamera können ins System eingebunden werden.

Das Koordinatensystem, das für die Kalman-Filterung verwendet wird, ist ein NED-System (North-East-Down). Es ist ein rechtshändiges System, dessen NE-Ebene mit dem UTM Koordinatensystem korrespondiert. Als Positionen werden die Positionen des MTi-G verwendet, die mit der Kalman-Filter Option „aerospace“ berechnet werden. Das NED-System wird eingesetzt, weil auf diese Weise die Höhe als separate Zustandsvariable in den Kalman-Filter eingeführt werden kann.

Die verfügbaren Messwerte unterscheiden sich hinsichtlich verschiedener Zeitepochen. Aus diesem Grunde muss eine Fallunterscheidung im Kalman-Filter angebracht werden. Im Folgenden wird eine Fallunterscheidung für die Messung einschließlich der Konfigurations- und Kovarianzmatrizen eingeführt. Da wir die vorgefilterten Koordinaten des MTi-G

einsetzen, benötigen wir keine GPS Positionen direkt im Kalman-Filter. Die verwendeten Positionen sind auch für jede Filterstufe außerhalb des Gebäudes und sogar innerhalb erhältlich, bis der Aerospace-Filter keine weiteren Positionen mehr liefert.

Fall 1: Außerhalb von Gebäuden

$$l_k = (a_x[k] \ a_y[k] \ a_z[k] \ v_{x,MTiG}[k] \ v_{y,MTiG}[k] \ v_{z,MTiG}[k] \ x_{MTiG}[k] \ y_{MTiG}[k] \ h_{baro}[k])$$

$$\bar{x}[k] = (x[k] \ y[k] \ z[k] \ v_x[k] \ v_y[k] \ v_z[k] \ a_x[k] \ a_y[k] \ a_z[k])$$

s_a^2 = Varianz der Beschleunigungen (MTi-G inbuilt KF); s_x^2 = Varianz der Positionen (MTi-G inbuilt KF)

s_v^2 = Varianz der Geschwindigkeiten (MTi-G inbuilt KF); s_h^2 = Varianz der Höhen (Barometer)

Fall 2: Innerhalb von Gebäuden

$$l_k = (a_x[k] \ a_y[k] \ a_z[k] \ h_{baro}[k])$$

$$C_l = \begin{pmatrix} s_a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s_h^2 \end{pmatrix}$$

Zustandsvektor wie oben.

Für Fußgängernavigation ändert sich der Fall 2 oben aufgrund der Implementierung der Gehgeschwindigkeit zu:

$$l_k = (a_x[k] \ a_y[k] \ a_z[k] \ v_{x,sfreq} \ v_{y,sfreq} \ v_{z,sfreq} \ h_{baro}[k])$$

Nähere Ausführungen zur Implementierung der Gehgeschwindigkeit sind im folgenden Kapitel beschrieben.

6 Erste Resultate und eigener Pedestrian Kalman-Filter (PKF)

Erste Tests unter Verwendung der Inbuilt Kalman-Filter des MTi-G mit verschiedenen Szenarien wurden auf dem Gelände der HafenCity Universität durchgeführt: montiert in einem Fahrzeug; Fußgänger bei guter Satellitenkonstellation; Fußgänger – beim Betreten eines Gebäude.

Im ersten Szenario „montiert in einem Fahrzeug“ werden gute Ergebnisse erzielt bis das GPS Signal abbricht, z.B. in einem Tunnel. Hierbei können die unterschiedlichen Szenarien durch die Postprocessing-Funktion mit gleichem Datensatz hinsichtlich der Abweichung vom wahren Pfad und gegeneinander verglichen werden. Das beste Resultat kann mittels der Holonomic Funktion erzielt werden. Diese Funktion im Automotive Szenario nimmt

an, dass der Verlauf über Grund gleich der Bewegungsrichtung sein wird und keine seitlichen Fehler auftreten. Das Ergebnis des Aerospace Szenarios mit dem Magnetometer Richtungsupdate ist deutlich schlechter wegen des ungünstigen/nachteiligen Fehlereinflusses auf den Sensor im Fahrzeug.

Im zweiten Szenario haben wir eine gute Satellitenkonstellation für die Fußgängernavigation außerhalb des Gebäudes, die Standardabweichung der Positionierung mit GPS-Rohdaten und dem Abstand/Versatz zur wahren Position liegt im Bereich von 2 m. Die Trajektorie wird im Kalman-Filter geglättet und korrigiert.

Für das dritte Szenario, den Übergang von außerhalb nach innerhalb, wurden zwei unterschiedliche Kalman-Filter Modelle (general purpose und aerospace) von den drei vordefinierten Modellen (Tabelle 3) geprüft. Holonomic funktioniert nicht, wenn die Geschwindigkeit unter 2 m/s liegt, dies Modell kann somit nicht für die Fußgängernavigation verwendet werden.

Aufgrund dessen, dass das System keine Position errechnet, wenn das GPS Signal für mehr als 10 Sekunden verloren ist, ist kein Kalman-Filter Output im Gebäude verfügbar. Das Magnetometersignal kann sehr gut verwendet werden, um den Übergang ins Gebäude zu bestimmen (Abbildung 2).

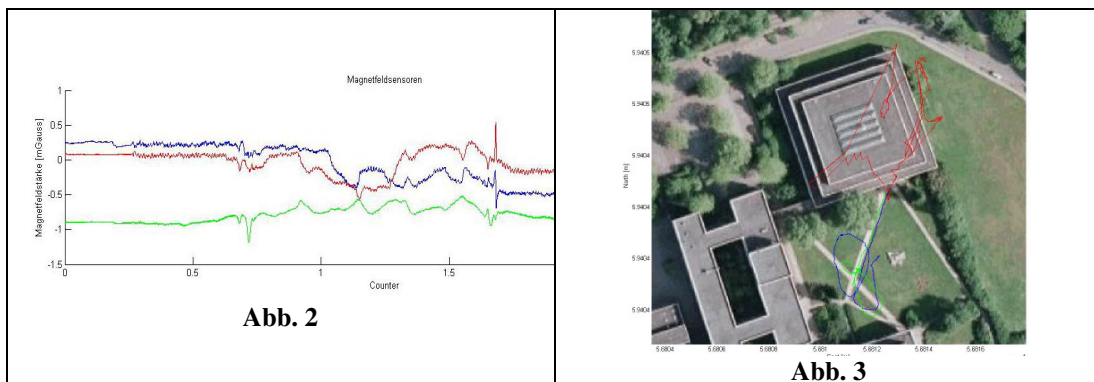


Abb. 2: Signifikante Spitzen im Signal beim Betreten ($0,7 \times 10^4$) und Verlassen ($1,7 \times 10^4$) des Gebäudes aufgrund der Metallstruktur am Eingang. **Abb.3:** Pfad berechnet mit Kalman-Filter Modell aerospace. Blau vor Betreten, rot im Gebäude, grün nach Verlassen des Gebäudes.

Ein zweiter Test für das Übergangsszenario wurde mit der neuesten Version der MT Manager Software von Xsens durchgeführt. Besonderes Augenmerk lag auf der tatsächlichen Überleitung ins Gebäude. Die Farben blau, rot und grün markieren die Bereiche vor dem Betreten des Gebäudes, im Gebäude bzw. nach Verlassen des Gebäudes (Abbildung 3). Bei dieser Version sind die GPS Positionen ebenfalls innerhalb des Gebäudes verfügbar. Es ist jedoch unklar, ob diese Positionen vom Kalman-Filter zur GPS Berechnung/Schätzung in einer geschlossenen Schleife zurückgeführt wurden oder ob die Sensibilität des GPS-Sensors erhöht wurde. Der Yaw-Winkel wird ebenfalls korrekt weitergeführt - auch nach der Überleitung ins Gebäudeinnere.

Eine gute Positionierung während der Überleitung von außerhalb nach innerhalb kann erreicht werden, wenn GPS Signal und Positionierung außerhalb des Gebäudes gut genug ist, um das INS zu stabilisieren. Das Magnetometer kann die Positionierung nicht verbessern, die Signale können jedoch helfen, das Hineinleiten ins Gebäude zu detektieren.

Das Kalman-Filter Basismodell, das im MTi-G Setup verwendet wurde, ist „aerospace“. Für unsere eigene kaskadierte Kalman-Filter Version haben wir den Orientierungs-Output des internen Filters zusammen mit den kalibrierten Inertialdaten der IMU sowie den Rohdaten des GPS und des Drucksensors benutzt. Die Rohdaten beinhalten die folgenden Messwerte: 3D Acceleration (IMU), 3D Velocity (GPS), 3D Position (GPS), Pressure.

Unser eigenes Kalman-Filter liefert eine Vorwärtsfilterung und Rückwärtsfilterung der Daten. Zusätzlich wird eine optimale Glättung zur Verfügung gestellt, um beide Filter zu kombinieren und ein optimales Ergebnis zu erzielen.

Abbildung 4 zeigt die Fahrstrecke eines Fahrzeugs. Alle Ergebnis-Tracks unserer Kalman-Filter Versionen und Glättungen sowie die Tracks des internen Kalman-Filters sind darin dargestellt.

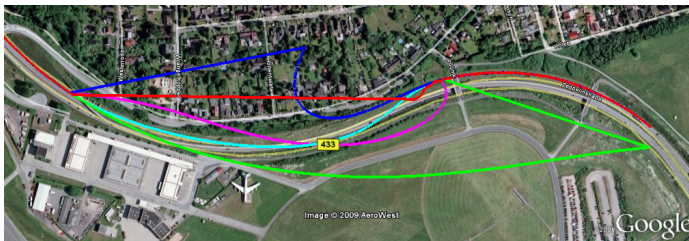


Abb. 4: Fahrstrecke – erfasst durch ein Fahrzeug am Airport-Tunnel in Hamburg

Die Bedeutung der oben verwendeten Farben lautet wie folgt: rot – integrierter KF, blau – vorwärts, grün – rückwärts, cyan und magenta – KF optimale Glättung mit verschiedenen Gewichten; cyan wird im Folgenden eingesetzt.

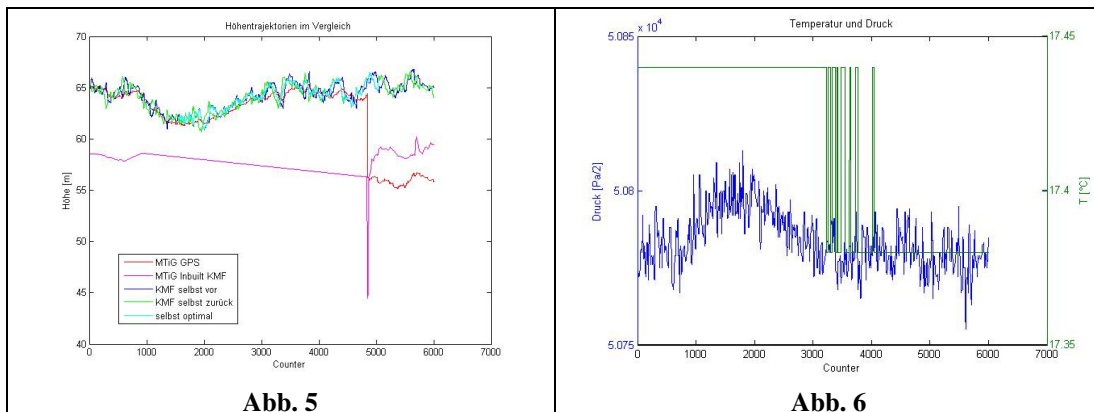


Abb. 5: Vergleich der Höhentrajektorien **Abb. 6:** Temperatur- u. Druckmessreihen MTi-G

Abbildung 5 zeigt den Höhenverlauf der obigen Trajektorie. Der Höhenverlauf der drei Filterergebnisse sowie der Höhenverlauf der internen Kalman-Filter „aerospace“ sind wieder abgebildet. Zusätzlich ist der Höhenverlauf des GPS Filters dargestellt.

Es ist zu sehen, dass ein Versetz zwischen dem Höhenverlauf des internen Kalman-Filter und des GPS Höhenverlaufs besteht. Dies ist das Ergebnis der Integration des internen Drucksensors in das „aerospace“ Kalman-Filter. Es ist zu berücksichtigen, dass die Trajektorie einen Zeitabschnitt einschließt, in dem keine GPS Daten verfügbar waren (Counter 1700 bis 4800). Nach dieser Periode zeigt der Höhenverlauf eine abwärts gerichtete Impulsspitze (Ausschlag/Tiefpunkt), die mit der Re-Initialisierung des GPS Receivers korrespondiert. Diese Spitze beeinflusst offensichtlich die Ergebnisse des aerospace Filters. D.h. nach einem Zeitabschnitt, in dem kein GPS verfügbar ist, wird der interne Kalman-Filter verfälscht. Unsere KF Version verwendet die Druckmessungen, um die Höhe mit einer höheren Gewichtung für die Filterung zu veranschlagen. Die Druckdaten sind in Abbildung 6 dargestellt. Die GPS Meldung beinhaltet die Druck-Daten. Sie kann auch innerhalb verwendet werden, wenn kein GPS Fix möglich ist.

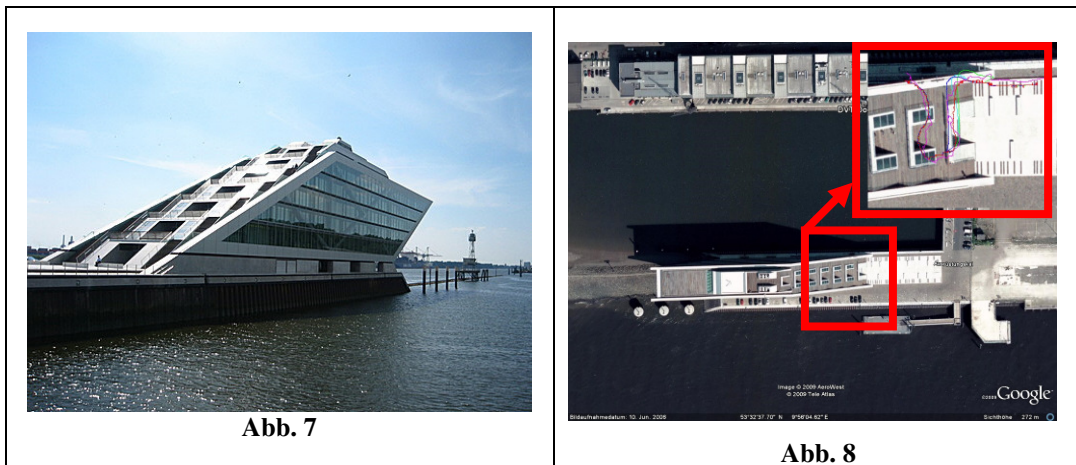


Abb. 7

Abb. 8

Abb. 7: Dockland Gebäude im Hamburger Hafen (Foto von kang, verfügbar bei Google Earth)

Abb. 8: Dockland Gebäude im Hamburger Hafen mit der Trajektorie auf den Stufen an der Ostseite

Nutzung des Drucksensors für Fußgängernavigation: Um den internen Drucksensor für die Höhenbestimmung im Kalman-Filter zu testen, wählten wir einen Pfad außerhalb von Gebäuden und nicht abgeschattet (Abbildung 7). Der Pfad ist in Abbildung 8 dargestellt und beinhaltet Daten des Erdgeschosses und zweier weiterer Etagen unter Verwendung von zwei Treppen.

Der GPS Höhenverlauf, bereitgestellt durch den GPS Filters, ist nicht ausreichend für eine signifikante Bestimmung des Stockwerks. Die Höhe, die mit Hilfe des Barometers ermittelt wurde, hat eine Standardabweichung besser 0.8 m. Somit kann die Höhe mit Submeter-Genauigkeit erreicht werden, was gut genug ist, um das Stockwerk zu bestimmen, insbesondere basierend auf einem Geografischen Informationssystem, das die Informationen über die Geschosswerkshöhen beinhaltet.

Von besonderem Interesse in der Fußgängernavigation ist der Übergang von außen in ein Bauwerk hinein. Um im Inneren eines Gebäudes weitere Beobachtungen für das Kalman-Filter zu erhalten, werden bei ähnlichen Projekten Step-Counter verwendet. Ein Step-Counter stellt die Schrittfrequenz eines Fußgängers zur Verfügung. Basierend auf dieser Frequenz kann die Gehgeschwindigkeit eines Fußgängers bestimmt werden. Da hierfür keine weiteren Sensoren eingesetzt werden sollten, schied ein externer Schrittzähler aus. Die Schrittfrequenz soll direkt aus der Messung des MTi-G Beschleunigungssensors extrahiert und die Gehgeschwindigkeit abgeleitet werden; sie ist dann eine weitere Größe, die für die Stützung in der Kalman-Filterung genutzt werden kann.

Damit kann aus dem vorliegenden Messsystem neben dem eigentlichen Beobachtungsspektrum von GPS-Antenne, IMU, Temperatursensor und Drucksensor noch ein zusätzlicher Informationsgehalt gewonnen werden. Hinzu kommt, dass die Schrittfrequenz mit den anderen Beobachtungen völlig unkorreliert ist. Aus dieser Schrittfrequenz kann unter Annahme einer durchschnittlichen Schrittlänge die Schrittgeschwindigkeit v_{sfreq} bestimmt werden.

Der Geschwindigkeitsvektor des Fußgängers kann somit über die Schrittfrequenz gut ermittelt werden. Der Geschwindigkeitsvektor aus der Schrittfrequenz wird nun in das bestehende Kalman-Filtermodell an Stelle der Geschwindigkeiten aus dem GPS eingeführt. Auf diese Weise besteht die Möglichkeit den Filter auch innerhalb von Gebäuden, wo bisher keine Positionen oder Geschwindigkeiten vorlagen, zu stützen. Dieses Vorgehen wurde in zwei verschiedenen Messanordnungen getestet. Bei der ersten Messung handelt es sich um eine Trajektorie ohne Höhendifferenzen. Der Fußgänger bewegte sich auf der Geländeoberfläche bzw. im Erdgeschoss des D-Gebäudes.

Die Abbildung 9 zeigt die bei dieser Messung bestimmte Lagetrajektorie. Die optimale Glättung gibt die wahre Bewegungskurve des Fußgängers mit einer Standardabweichung von ca. 3 m an. Das Maximum wird dabei im hinteren Teil des Gebäudes erreicht. Abbildung 10 zeigt den Höhenverlauf der Trajektorie. Darin ist zu sehen, dass der Höhenverlauf, den das im MTi-G implementierte Kalman-Filter liefert, einen Sprung beinhaltet. Das lässt sich wieder auf einen Fehler bei der Reinitialisierung des GPS-Sensors beim Verlassen des Gebäudes zurückführen.



Abb. 9

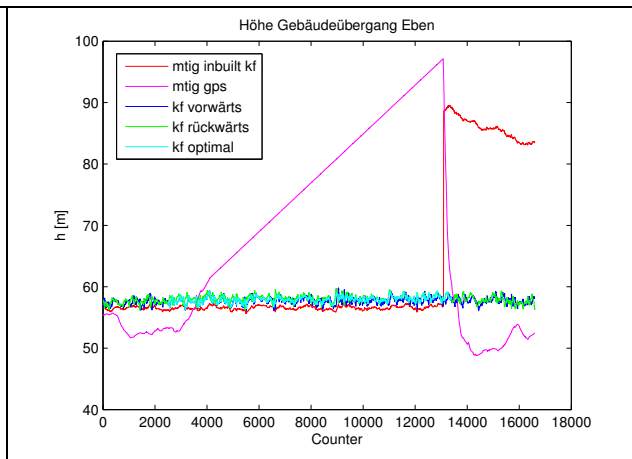


Abb. 10

Insbesondere die Standardabweichung der Höhe wird vom Kalman-Filter besser geschätzt als sie in der Realität ist. Aus dem Höhenverlauf wurde das Rauschen über eine gleitende Mittelwertbildung und anschließende Differenz von Messreihe und geglätteter Reihe, eine Standardabweichung von 0.8 m bestimmt.

Die Geschwindigkeit vom GPS-Sensor sowie die auf Basis der Schrittfrequenz ermittelte Geschwindigkeit sind in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt. Die Messwertlücke bei den GPS-Geschwindigkeiten ist deutlich erkennbar (Abbildung 11 bei Counter 3700 bis 13200). Während dieser Zeit befand sich der Fußgänger innerhalb vom D-Gebäude.

Mit Hilfe der für den gesamten Messzeitraum vorliegenden Geschwindigkeit, welche aus der Schrittfrequenz ermittelt wurde, konnte diese Lücke im Kalman-Filter gut überbrückt werden.

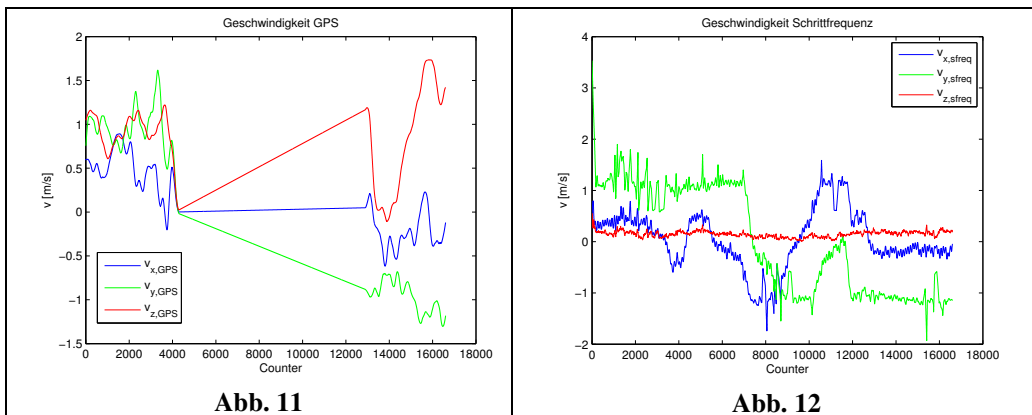


Abb. 11

Abb. 12

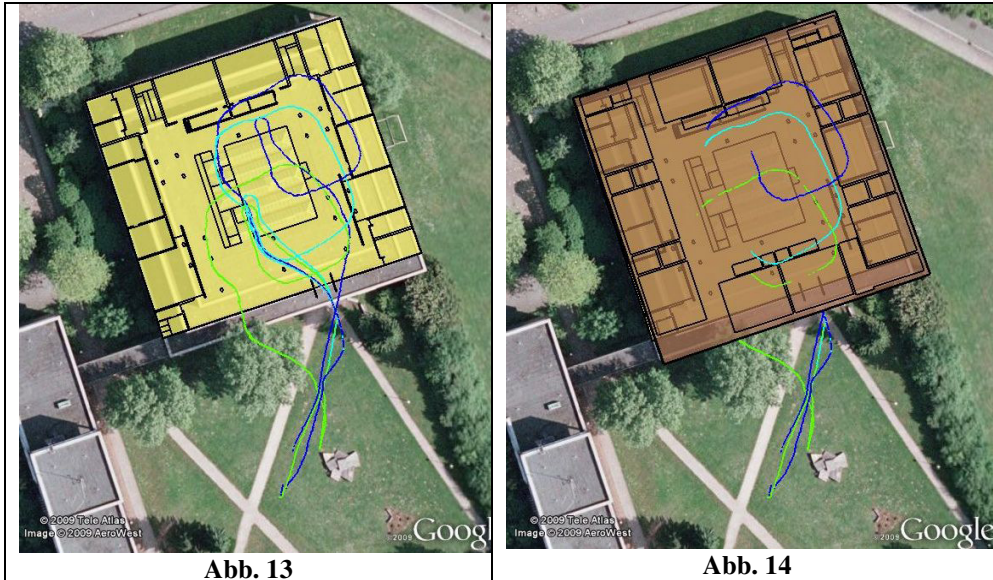
Die Lagetrajektorie (Abbildung 9), die mit Hilfe des von uns entwickelten Kalman-Filters bestimmt wurde, gibt die wahre Bewegungskurve gut wieder. Der Gebäudeübergang von einer Position unter freiem Himmel in ein Gebäude hinein konnte mit dem MTi-G durchgeführt werden. Dabei befand sich der Fußgänger ca. 1,5 Minuten innerhalb des Gebäudes. Zudem wies die Bewegung des Fußgängers keine Änderung in der Höhe auf.

Die Messung wurde so abgeändert, dass sich die Position des Fußgängers auch in der Höhe ändert. Der Fußgänger geht ebenerdig in das D-Gebäude hinein und anschließend gerade die Treppen hinauf in das erste Obergeschoss. Dort geht er einmal im Kreis und steigt die Treppe wieder hinab, wobei er auf halber Treppenhöhe die Abstiegsrichtung ändert, um wieder zum Hauseingang zurückzukehren.

Die Standardabweichungen der Beobachtungen waren bei dieser Messung gleich derer bei der vorigen Messung. Der Fußgänger befand sich bei dieser Messung ungefähr 2 Minuten und 10 Sekunden innerhalb des D-Gebäudes - und damit etwa 40 Sekunden länger als bei der vorigen Messung. Entsprechend schlechter ist die maximale Standardabweichung in der Lage. An der Standardabweichung der Höhe ändert sich hingegen nichts. Für die Höhe wurde auch hier mit gleichem Vorgehen eine Standardabweichung von 0.8 m bestimmt.

Die ungenauere Bestimmung der Lage kann zudem an der Darstellung der Trajektorien in den Stockwerksplänen erkannt werden. So verläuft die Trajektorie im 1. Obergeschoss im

nördlichen Bereich durch die Abstellräume, und im Erdgeschoss verläuft die Trajektorie beim Herabsteigen der Treppe durch das Zelt. Die bei dieser Messung implementierte Höhenänderung sowie zusätzliche Richtungsänderungen beim Hinauf- und Hinabsteigen der Treppen verschlechtern also die Ergebnisse.



Die Abbildungen 13 und 14 zeigen die Trajektorien noch einmal. In diesen Darstellungen ist zu erkennen, dass sich das Stockwerk, in dem sich der Fußgänger bewegt, deutlich auf Basis der Filterergebnisse bestimmen lässt.

Das Navigationsergebnis kann verbessert werden, wenn das MEMS Gyroskop auf einem Dreiachsdrehtisch geprüft wird, um den spezifischen Sensor zu testen und zu kalibrieren. Der Kalibrierprozess ist vergleichbar mit dem von Fahrzeuggyroskopen (STERNBERG & SCHWALM 2007). Weiteres Potential für Verbesserung ergibt sich durch die Schätzung der Schrittlänge im Filter und Adaptierung für horizontale Ebene bzw. Stufen.

7 Ausblick

Um die Navigation innerhalb von Gebäuden zu verbessern, werden GIS Daten im Positionierungsprozess kombiniert und zur Zielführung verwendet. Hierbei wird nicht nur der Grundriss des Gebäudes eingesetzt, sondern auch die Räumlichkeiten und die am häufigsten genutzten Wege bzw. Korridore, um den Navigationsprozess zu stützen. Es ist wichtig einen schnellen Datentransfer vom GIS Server zur mobilen Mess- und Visualisierungseinheit zu nutzen. Akquise von kartographischen und anderen beschreibenden Elementen sind der Schlüssel für eine sinnvolle Routenführung in Gebäuden. Anwendungen werden in der größeren Version zu besonderen Demographie belegt sein, die in nicht vertrauten Gebäuden navigieren müssen, z.B. für Notdienste in signifikant großen Strukturen. Diese Forschung ist bestrebt, einen Beitrag zu leisten, kleinere aber noch nutzbare Systeme herzustellen. Es

ist erforderlich die Sensoren und Technologie zu prüfen/regulieren, um die Algorithmen zu verbessern, um mehr Geoinformationen zu nutzen, um kleinere Einheiten zu konstruieren/herzustellen und die Sensoren an vorhandene mobile Geräte angehängt.

Das verwendete System ist ein sehr kompaktes low-cost Inertialnavigationssystem (alle Sensoren in einer Einheit), das als vollwertiges System wie gezeigt genutzt werden. Zudem ist es sehr bedienerfreundlich. Das Projekt an der HCU Hamburg wird unter Verwendung von Map-Matching für die Positionierung fortgesetzt (z.B. Stockwerkspläne). Dabei werden verschiedene Höhen und Schrittweiten auf horizontaler Ebene und Treppenstufen berücksichtigt.

Literatur

- RETSCHER, G., SKOLAUT, G. (2003): Untersuchung von Messsensoren zum Einsatz in Navigationssystemen für Fußgänger, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 128, pp. 118-129.
- RETSCHER, G., M. KISTENICH, M. (2006): Vergleich von Systemen zur Positionsbestimmung und Navigation in Gebäuden, Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv), 131, pp. 25-35.
- FU, Q., RETSCHER, G. (2008): Using RFID and INS for Indoor Positioning, Location Based Services and TeleCartography: From Sensor Fusion to Ubiquitous LBS: v. 2 (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography) G. Gartner, K. Rehrl, Eds, Berlin: Springer Verlag, pp 421-438.
- GREJNER-BRZEZINSKA, D., TOTH, CH., MOAFIPOOR, S., KWON, J. (2007): Design and Calibration of a Neural Network-based Adaptive Knowledge System for Multi-sensor Personal Navigation, Proceedings of the 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology 2007 (MMT'07), Padua.
- XSENS (2008): MTi-G User Manual and Technical Documentation, Document MT0137P, Revision B (April 1st, 2008)
- STERNBERG, H., SCHWALM, CH. (2007): Qualification Process for MEMS Gyroscopes for the Use in Navigation Systems, Proceedings of the 5th Symposium on Mobile Mapping Technology 2007 (MMT'07), Padua, ISSN 1682-1777, pp. 285-292.
- STERNBERG, H., FESSELE, M., HÖNNIGER, C. (2009): Indoor Navigation without infrastructure –based Local Positioning System, Proceedings of the 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology MMT'09, Presidente Prudente, São Paulo.
- TANIGAWA, M., LUINGE, H., SCHIPPER, L., SLYCKE, P. (2008): Drift –Free Dynamic Height Sensor using MEMS IMU Aided by MEMS Pressure Sensor, Proceedings of the 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication 2008 (WPNC'08), ISBN 978-1-4244-1799-5 , pp. 191-196.