

Satellitenunabhängige Navigation

Zur Bestimmung der eigenen Position auf der Erdoberfläche oder im erdnahen Welt- raum sind satellitengestützte Systeme – allen voran das GPS – inzwischen Stand der Technik in militärischen wie zivilen Anwendungen. Die benötigten Empfangsmodule arbeiten passiv, erreichen eine Genauigkeit von unter zehn Metern und sind durch den entstandenen Massenmarkt preisgünstig zu erhalten. Jedoch gibt es einerseits Einsatzgebiete ohne ausreichende Empfangs- stärke, wie beispielsweise unter Wasser, andererseits sind die von den Navigati- onssatelliten empfangenen Signalstärken auch unter günstigen Bedingungen recht schwach und können daher leicht gestört oder gezielt verfälscht werden. Deshalb rü- cken heute wieder im Prinzip seit langem bekannte und schon vor GPS eingesetzte satellitenunabhängige Navigationsverfah- ren in den Fokus, die auf der Basis neuer Technologieentwicklungen früher kaum für möglich gehaltene Leistungssteigerun- gen erreichen sollen.

Dabei sind zunächst zwei grundsätzlich verschiedene Navigationsansätze zu un- terscheiden. Da sind einerseits alle karten- gestützten Methoden, die sich an zuvor bereits bekannten, also kartieren Punk- ten im Raum orientieren und daraus die eigene Position bestimmen. Der andere Ansatz ist die Trägheitsnavigation. Hier- bei messen Sensoren über die wirkenden Trägheitskräfte jede Bewegungsänderung einer Plattform, das Navigationssystem be- rechnet daraus die in dem Messintervall zu- rückgelegte Wegstrecke und summiert die so ermittelten Wegstreckenabschnitte auf. Mindestens zu Beginn der Navigation muss daher die eigene, absolute Position einmal bekannt sein, weil die Trägheitsnavigation nur Änderungen relativ zu dieser Position ermitteln kann.

Vorteil der kartengestützten Methoden ist ihre über die Zeit stabile Genauigkeit, Nachteil ihre Abhängigkeit von genauen Karten und deren ausreichend differenzier- ter Struktur sowie die Notwendigkeit eines zuverlässigen Empfangs der Messgröße, die zur Orientierung dient. Neue Techno- logieentwicklungen gibt es hier für verschie- denste Anwendungsfälle. In dicht besiedel- ten Gebieten kann das die Auswertung von

für andere Zwecke abgestrahlten Hochfre- quenzsignalen sein. So bilden die Sender des DVB-T2 ein Gleichwellennetz und senden daher in regelmäßigen Abständen leistungsstarke Synchronisierungssignale. Sind die Positionen der Sendeanlagen und der Sendezeitpunkt dieser Signale bekannt, kann über Laufzeitmessung die eigene Po- sition trianguliert werden. So kann nach wenigen Sekunden Messzeit die eigene Position auf bis zu einem Meter genau bestimmt werden. Ein ähnliches, von der terrestrischen Infrastruktur unabhängiges Verfahren vermisst die Winkel, unter denen die Signale von Kommunikationssatelliten empfangen werden. Sind die Bahnparame- ter der Satelliten und ihre Trägerfrequenzen bekannt, kann die eigene Position ermittelt werden. Dabei steigt die Genauigkeit der eigenen Ortsbestimmung mit der Zahl der vermessenen Satelliten. Es wurde bereits experimentell gezeigt, dass nach Überflug von sechs Starlink-Satelliten ein Fehler von unter acht Metern in der eigenen Position erreicht werden kann. Mit dem weiteren Aufbau der Starlink-Konstellation wird sich die erforderliche Messzeit deutlich verkür- zen und die Genauigkeit erhöhen.

Ein interessantes, kartenbasiertes Navi- gationsverfahren für die interplanetare Raumfahrt nutzt die periodische Ausse- ndung von Röntgenblitzen durch Pulsare. Ähnlich der Triangulation aus DVB-T2-Si- gnalen werden auch hier die Pulssequen- zen mehrere Pulsare vermessen. Die hohe Ganggenauigkeit und sehr kurze Pulszeit ermöglichen theoretische Genauigkeiten in der Ortbestimmung von unter 30 Zen- timetern. Jedoch fehlen sowohl die dafür erforderlichen Röntgenteleskope als auch eine ausreichende Zahl gut kartografierter Pulsare. Erste Experimente auf der ISS ha- ben das Funktionsprinzip jedoch bewiesen und eine Ortsunschärfe von unter 15 Kilo- metern erreicht.

Auch die Trägheitsnavigation hat Vor- und Nachteile. Zu letzteren zählt die begrenzte Langzeitstabilität durch die empfindliche Abhängigkeit von systema- tischen Messfehlern, da sich diese mit je- dem Berechnungsschritt aufsummieren. Diese anwachsende Abweichung wird als Drift bezeichnet. Der große Vorteil der

Trägheitsnavigation hingegen liegt in der Unabhängigkeit von äußeren Referenz- systemen, es kommt also ohne Informa- tionen aus der Umwelt aus, ist damit na- hezu nicht störfähig und nicht aufklärbar. Bei zeitlich begrenztem Einsatz, wie et- wa in Lenkflugkörpern, genügen hinrei- chend genaue Trägheitsnavigationssys- teme, solange die erwartbare Drift über den Einsatzzeitraum hinweg akzeptabel bleibt. Als interessante Technologie, die Langzeitstabilität deutlich zu verbessern, zeigen sich Atominterferometer. In ihnen wird ein Strahl aus kalten Atomen in zwei Teilstrahlen aufgespalten, die zwei un- terschiedliche Wege zurücklegen, bevor sie wieder überlagert werden. Wird das In- terferometer bewegt, so ändern sich die Lauflängen der beiden Wege geringfü- gig, was mit hoher Empfindlichkeit am Überlagerungsmuster abgelesen werden kann. Obwohl bisher nur aufwändig im Labor oder als einfache Machbarkeitsstu- die im Feld realisiert, zeigen die Ergeb- nisse, dass mit Atominterferometern als Trägheitssensoren absehbar Driften von unter fünf Metern pro Stunde erreicht werden können.

Bei langandauernden Navigationsanwen- dungen kommen als Alternativen zur sa- tellitengestützten Navigation oft auch Kombinationsverfahren in Betracht, die die Vorteile der Trägheitsnavigation mit denen der kartengestützten Navigation verbinden. So dient die kartengestützte Navigation dazu, in regelmäßigen Ab- ständen eine absolute Positionsbestim- mung durchzuführen, um darüber die Drift aus den Trägheitsmessungen zu kompensieren und den Gesamtfehler klein zu halten. Die Leistungsfähigkeit solcher Kombinationsverfahren wur- de beispielsweise 2020 von den Sandia National Laboratories gezeigt, die einen einfachen Trägheitssensor mit einer Drift von über 40 Kilometern pro Stunde mit einer Messung des Erdmagnetfelds kom- binieren und so für in vier Kilometer Höhe fliegende Plattformen eine zeitun- abhängige, mittlere Positionsgenauigkeit von 300 Metern erreichten.

Dr. Karsten Michael