

Die kinematische Leistungsfähigkeit des iGPS

The Kinematic Performance of iGPS

Claudia Depenthal

iGPS ist ein modular aufgebautes Messsystem, das hauptsächlich für den *Large Volume* Bereich konzipiert wurde und für statische sowie kinematische Anwendungen einsetzbar ist. Um die kinematische Leistungsfähigkeit des iGPS zu analysieren, muss zwischen einer räumlichen 3D- und einer raumzeitlichen 4D-Position unterschieden werden. Für die Beurteilung einer 4D-Position sind zeitreferenzierte Messungen zwingend erforderlich und können mit dem am Geodätischen Institut des KIT (= Karlsruher Institut für Technologie) entwickelten zeitreferenzierten 4D-Kalibrier- und Prüfsystem (Ti4Calibs) durchgeführt werden. Die im Sommer 2009 erfolgten Messungen zeigten, dass iGPS selbst bei Geschwindigkeiten von 3 m/s noch Koordinaten liefert und die Abweichung einer 3D-Position kleiner als 0,3 mm ist. Für die 4D-Position konnte nachgewiesen werden, dass ein Zeit-Offset von etwa 0,3 ms vorliegt. Wird dieses Zeit-Offset berücksichtigt, entsprechen die vorhandenen Abweichungen einer 3D-Position. Da iGPS permanent weiterentwickelt wird, könnte auch dieses konstante Zeit-Offset behoben werden. Aber bereits jetzt präsentiert sich iGPS als ein interessantes kinematisches Messsystem.

Schlüsselbegriffe: iGPS, Kinematik, Zeitreferenzierung

iGPS is a modular, large volume tracking system which is used for positioning and tracking applications. To analyze the kinematic performance of iGPS it has to be distinguished between spatial (3D) and spatiotemporal (4D) positioning. Time referenced measurements are stringently necessary for the evaluation of spatiotemporal positioning and can be executed by the time-referenced 4D-test and calibration-system (Ti4Calibs) which was developed at the Geodetic Institute of KIT. The experimental measurements show that iGPS could process data up to velocities of 3 m/s and that the deviations are less than 0.3 mm for a 3D-position. The spatiotemporal deviations (4D) show that there is a time offset of about 0.3 ms. If this time offset is regarded then the deviations correspond to the 3D-position. The constant time offset could be eliminated because iGPS is developed further continuously. iGPS is shown already as an interesting kinematic measuring system.

Keywords: iGPS, kinematic, time referencing

Der folgende Beitrag bezieht sich auf die kinematische Leistungsfähigkeit des iGPS und stellt eine kurze Zusammenfassung der beiden Veröffentlichungen [3] und [4] dar. Es wird kompakt aufgezeigt, dass es *Nikon Metrology* gelungen ist, die beim iGPS Messsystem theoretisch vorhandenen Verzögerungszeiten zu beseitigen und die kinematische Genauigkeit zu steigern. Infolgedessen wird auch der Einsatzbereich vielfältiger z.B. für kooperierende Roboter [1] oder im Zusammenhang mit einem Laserscanner [2] oder für

eine erste Testmessung im Tunnelleinsatz [2]. Dass iGPS als Messsystem immer interessanter wird, zeigte sich auch auf der ersten internationalen IPIN-Konferenz (IPIN = **I**ndoor **P**ositioning and **I**ndoor **N**avigation) im September 2010 (<http://www.geometh.ethz.ch/ipin/>) an der ETH Zürich.

iGPS ist ein modular aufgebautes, laserbasiertes Messsystem, das vorwiegend für den industriellen *Large Volumen* Bereich konzipiert wurde. Die Hauptbestandteile sind die Transmitter mit ihrer speziellen

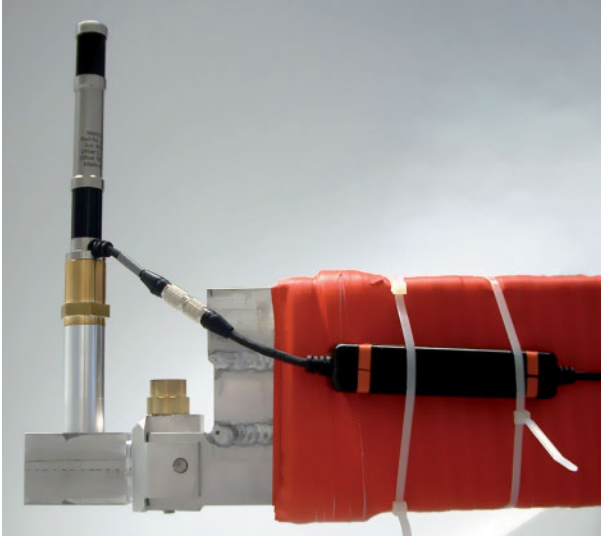


Abb. 1 | Mini-vector-bar mit top und bottom sensor am Ende des Drearms

Laserfächeranordnung und die Sensoren, die die Signale empfangen und entsprechend der Anforderung am Objekt montiert werden. Aus der Zeitmessung und der Laserfächergeometrie werden Azimut und Elevation bestimmt, die einen räumlichen Strahl zwischen Transmitter und Sensor bilden und letztendlich die Koordinaten liefern. In einem Setup-Prozess wird zuvor die jeweilige Transmitter Position im iGPS Arbeitsraum bestimmt. Mehr Einzelheiten zum Systemaufbau sind z.B. in [3] zu finden.

Bei der Analyse der kinematischen Leistungsfähigkeit eines Messsystems muss zwischen der räumlichen 3D-Position und der raumzeitlichen 4D-Position unterschieden werden. Raumzeitlich bedeutet, dass nicht nur die 3D-Position geprüft wird, sondern auch, ob diese Position zu einer bestimmten Zeit erreicht wird. Um eine 4D-Position zu beurteilen, sind zeitreferenzierte Messungen zwingend notwendig. Ein solches zeitreferenziertes 4D-Kalibrier- und Prüfsystem (Ti4Calibs) für optische Messsysteme wurde am Geodätischen Institut (GIK) der Universität Karlsruhe, jetzt KIT (Karlsruher Institut für Technolo-



Abb. 2 | iGPS Transmitter

gie), entwickelt [5]. Das System besteht aus einem schwenkbaren Drearm, einem rotativen Direktantrieb und erreicht eine Messunsicherheit von $U_{k=2} = \pm 4.2''$ an jeder Winkelposition. Vor allem Verzögerungszeiten der Messelemente können hiermit aufgedeckt werden.

Im Sommer 2009 wurde das iGPS Messsystem ausführlich im Labor des GIK getestet. Ermöglicht wurden die zeitreferenzierten Messungen erst durch das kurz zuvor von *Nikon Metrology* entwickelte Digital Input Module (DIM). Für die Messungen wurden 4 Transmitter (Abb. 2) eingesetzt und eine mini-vector-bar mit zwei Sensoren (bottom und top) am Ende des Drearms befestigt (Abb. 1). Die Datenerfassung erfolgte über die iGPS-Surveyor-Software Version 1.2.30. Um unabhängige Messungen zu erhalten, kam zusätzlich der Leica Lasertracker LTD500 zum Einsatz. Es wurden drei verschiedene Positionen des Drearms ausgewählt: eine horizontale, schräge und vertikale Stellung. Die vertikale Drearmposition ist die einzige Stellung, in der beide Systeme – iGPS und Lasertracker – den Sensor bzw. Corner Cube simultan verfolgen können. Gleichzeitig stellt diese vertikale Drearmposition für das iGPS-System eine große Herausforderung dar, da aufgrund der Sichtbarkeit zwischen Transmitter und Sensor die Transmitter nur in einem sehr schmalen Bereich außerhalb der Drearme Ebene aufgestellt werden konnten. Für eine erste Beurteilung werden die Messergebnisse in Form von lotrechten und radialen Abweichungen aus der Drearme Ebene dargestellt. Wesentlich interessanter sind die tangentialen Abweichungen, da diese einen Soll-Ist-Vergleich zwischen dem Kalibriersystem Ti4Calibs und dem Messsystem liefern (siehe [3], [4], [5]).

Jedes neue Messszenarium beginnt mit einer statischen Referenzmessung beider Messsysteme. Bei der horizontalen Drearmposition zeigen sich lotrechte, radiale und tangential Abweichungen bis zu $\pm 50 \mu\text{m}$ für beide Messsysteme. Die vertikale Drearmposition hingegen weist auf die kritische Konfiguration des iGPS Systems hin, da hier die radialen Abweichungen auf $\pm 120 \mu\text{m}$ anwachsen, während die lotrechten und tangentialen Abweichungen in der gleichen Größenordnung wie zuvor bleiben [3].

Für die kinematischen Messungen wurden die Rotationsgeschwindigkeiten sukzessive erhöht bis zur Grenze der Datenlieferung des iGPS-Systems, wobei hier eine beachtliche Rotationsgeschwindigkeit von $160^\circ/\text{s}$ (2,9 m/s) erreicht werden konnte. Bei allen getesteten Geschwindigkeiten sind die lotrechten Abweichungen kleiner als $\pm 80 \mu\text{m}$ und die radialen Abweichungen $< \pm 150 \mu\text{m}$ für die horizontale Drearmposition, während beide Abweichungen bei schräger Drearmposition auf $< \pm 200 \mu\text{m}$ ansteigen. Bei der vertikalen Drearmposition und einer Winkelgeschwindigkeit von $120^\circ/\text{s}$ (2,2 m/s) liegen die lotrechten Abweichungen meist unterhalb von $\pm 100 \mu\text{m}$ für das iGPS und den Lasertracker. Dagegen weisen die radialen Abweichungen des iGPS eine deutliche Sinusschwingung mit Abweichungen bis zu $\pm 350 \mu\text{m}$ auf [3]. Auch hier zeigt sich wiederum die ungünstige iGPS Konfiguration in einer systematischen Abweichung.

Die raumzeitlichen (4D) tangentialen Abweichungen bei einer horizontalen Drearmposition und einer Rotationsgeschwindigkeit von $20^\circ/\text{s}$ (0,36 m/s) sind kleiner als $-0,5 \text{ mm}$. Wird die Rotationsgeschwindigkeit auf $160^\circ/\text{s}$ (2,9 m/s) erhöht, steigen diese Abweichungen auf $-1,3 \text{ mm}$ an (Abb. 3). Die negativen Abweichungen lassen sich als ein Vorlaufen des Sensors interpretieren. Wird die Drehrichtung des Drearms geändert, bestätigt sich das Verhalten.

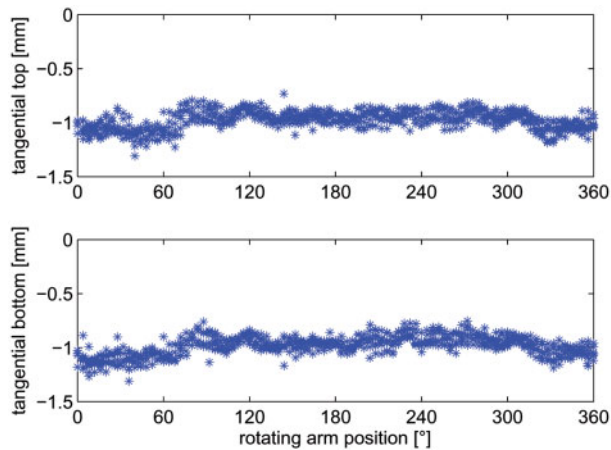


Abb. 3 | Tangentiale Abweichungen, horizontaler Dreharm, 4D, 160 °/s

Ähnliche tangentielle Abweichungen des iGPS-Sensors zeigen sich bei der vertikalen Dreharmposition, während der Lasertracker hier tangentielle Abweichungen kleiner als $\pm 50 \mu\text{m}$ aufweist. Folglich sind die Abweichungen des iGPS-Sensors auf das Messsystem selbst zurückzuführen. Bei allen getesteten Geschwindigkeiten weisen die raumzeitlichen tangentialen Abweichungen des iGPS-Systems darauf hin, dass ein Zeit-Offset von etwa 0,3 ms vorliegt. Wird dieses Zeit-Offset berücksichtigt und somit nur die räumliche 3D-Position betrachtet, dann zeigt sich, dass die tangentialen Abweichungen unterhalb von $\pm 0,3 \text{ mm}$ liegen, selbst bei der ungünstigen vertikalen Dreharmposition (Abb. 4).

Durch die Messungen und die Analyse der kinematischen Leistungsfähigkeit des iGPS-Messsystems wird deutlich, dass beim kinematischen Einsatz zwischen einer 3D- und 4D-Positionierung unterschieden werden muss. Das System ist in der Lage, selbst bei Geschwindigkeiten von fast 3 m/s Koordinaten zu liefern. Wird in den kinematischen Anwendungen die reine 3D-Position benötigt, dann liegen die Abweichungen unterhalb von 0,3 mm. Bei der raumzeitlichen Positionierung muss ein Zeit-Offset von etwa 0,3 ms berücksichtigt werden. Das System wird von *Nikon Metrology* weiterentwickelt, und so könnte mit einer neueren Version das konstante Zeit-Offset behoben werden. Insgesamt erweist sich iGPS als ein flexibles System mit hoher Genauigkeit, und es bietet eine breite Palette an Einsatzmöglichkeiten.

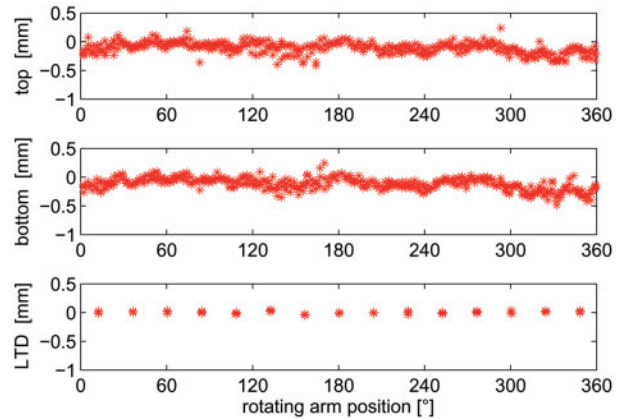


Abb. 4 | Tangentiale Abweichungen, vertikaler Dreharm, 3D, 120 °/s

Literatur

- [1] Schmitt R., Nisch S., Schöber A., Demeester F., Renders S.: Performance Evaluation of iGPS for Industrial Applications. Proceedings of the 2010 International Conference on IPIN, IEEE Xplore, 29.11.2010, <http://ieeexplore.ieee.org>
- [2] Schwendemann J., Müller T., Krautschneider R.: Indoor navigation of machines and measuring devices with iGPS. Proceedings of the 2010 International Conference on IPIN, IEEE Xplore
- [3] Depenthal C.: iGPS used as kinematic measuring system. FIG Congress 2010, Sydney, Australia, www.fig.net/pub/fig2010/techprog.htm
- [4] Depenthal C.: Path tracking with iGPS. Proceedings of the 2010 International Conference on IPIN, IEEE Xplore
- [5] Depenthal C.: Entwicklung eines zeitreferenzierten 4-D-Kalibrier und Prüfsystems für kinematische optische Messsysteme. DGK, Reihe C, Heft 627, 2009 (online)

Dr.-Ing. Claudia Depenthal

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT)
KIC INNOENERGY GERMANY

Albert-Nestler-Str. 26 | D-76131 Karlsruhe
E-Mail: claudia.depenthal@kit.edu

