

Immer genau unterwegs

Navigationssystem mit Koppelnavigation. Ein Drehratensensor (Gyroskop) wird zur Bestimmung der aktuellen Fahrtrichtung verwendet. Diese Information erlaubt dem Navigationssystem in Verbindung mit der zurückgelegten Entfernung des Fahrzeugs die korrekte Bestimmung der Fahrzeugposition – auch dann noch, wenn das Satellitensignal abreißt.

Von Ben Wang

■ Eine große Herausforderung beim Einsatz eines Gyroskops zur Koppelnavigation (Dead Reckoning) besteht darin, dass wenn das Satellitensignal über längere Zeit nicht zur Verfügung steht, der akkumulierte Winkelfehler zu groß wird, um die genaue Fahrzeugposition zu ermitteln.

Dead Reckoning ist eine einfache Lösung dieses Problems. Bild 1 veranschaulicht die grundlegende Funktion von Dead Reckoning: Ein Gyroskop misst die Drehrate eines Fahrzeugs in Grad pro Sekunde. Den Winkel, der die aktuelle Fahrtrichtung des Fahrzeugs repräsentiert, berechnet man durch Integration der Rotationsrate über die Zeit. Indem man die Fahrtrichtung und die zurückgelegte Strecke kombiniert, kann man die Fahrzeugposition bestimmen (rote Linie).

$$\text{angle} = \sum_{i=1}^n r_i \times \tau$$

Darin ist r_i die vom Gyroskop erfasste Drehrate, n die Zahl der Messungen und τ das Messintervall.

Der über die Zeit akkumulierte Winkelfehler (angular error) kann so ausgedrückt werden:

$$\text{angular error} = \sum_{i=1}^n e_i \times \tau$$

Darin ist e_i der Winkelfehler für jede Messung, n die Zahl der Messungen und τ das Messintervall. Wie die Formel zeigt, wird der akkumulierte Fehler größer, wenn sich die erforderliche Integrationszeit verlängert.

mit 3.300 insgesamt aufgezeichneten Messungen. Die blaue Linie zeigt die Messergebnisse des Gyroskops; die rote Linie zeigt den akkumulierten Winkelfehler. Es ist offensichtlich, dass der akkumulierte Winkelfehler über die Zeit größer wird.

Integrationszeit mittels Tiefpassfilter verkürzen

Die herkömmliche Methode zur Reduzierung des Winkelfehlers konzentriert sich auf die Minimierung von e_n . Bei den heutigen Digital-Gyroskopen sind die Fehleraten bereits sehr klein. Der ADXRS810 zum Beispiel weist eine Empfindlichkeit von 80LSB/°/s, einen Offset von +2°/s und 0,03°/s/g Schock-Immunität auf. Dies lässt begrenzten Raum für Verbesserungen. Der Algorithmus zur Kompensation von e_n ist kompliziert. Verglichen mit anderen Applikationen, etwa Elektronische Stabilitätskontrolle (ESC), kann das Gyroskop in einem Navigationssystem mit Dead Reckoning für lange Zeit laufen, auch wenn das GPS-Signal in einem langen Tunnel nicht verfügbar ist. Längere Laufzeiten bedeuten, dass der akkumulierte Winkelfehler signifikanter wird.

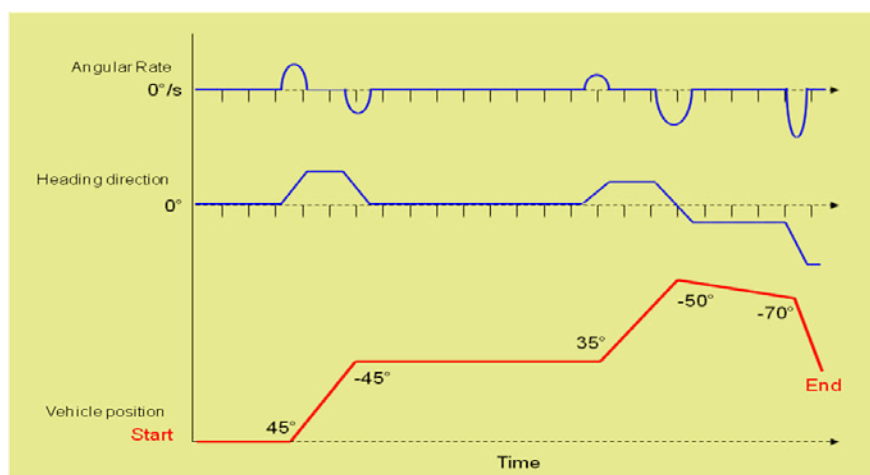


Bild 1: Arbeitsweise von Dead Reckoning

Bei einem Digital-Gyroskop kann die integrierte Drehrate (angle) als Summe von Winkelmessungen (Samples), multipliziert mit dem Messintervall ausgedrückt werden:

ger (Bild 2). Diese Drehratenmessungen, gemessen mit einem Evaluation-Board mit dem Drehratensensor ADXRS810, simulieren ein Dead Reckoning Navigationssystem

KONTAKT

Analog Devices GmbH
 Wilhelm-Wagenfeld-Str. 6
 80807 München
 Tel.: +49 89 76903-0
 Fax: +49 89 76903-157
 Email: cic@analog.com
 www.analog.com

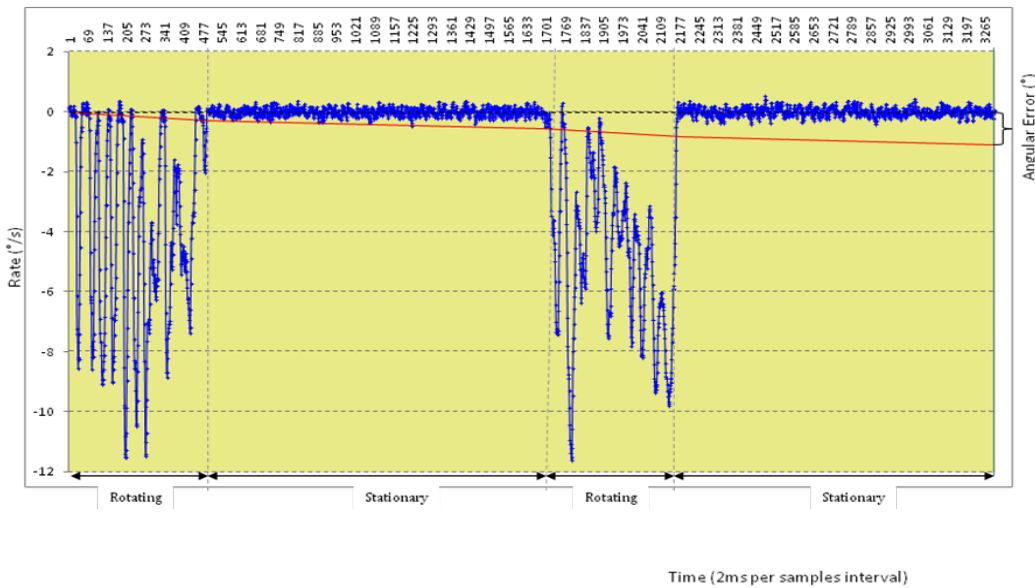
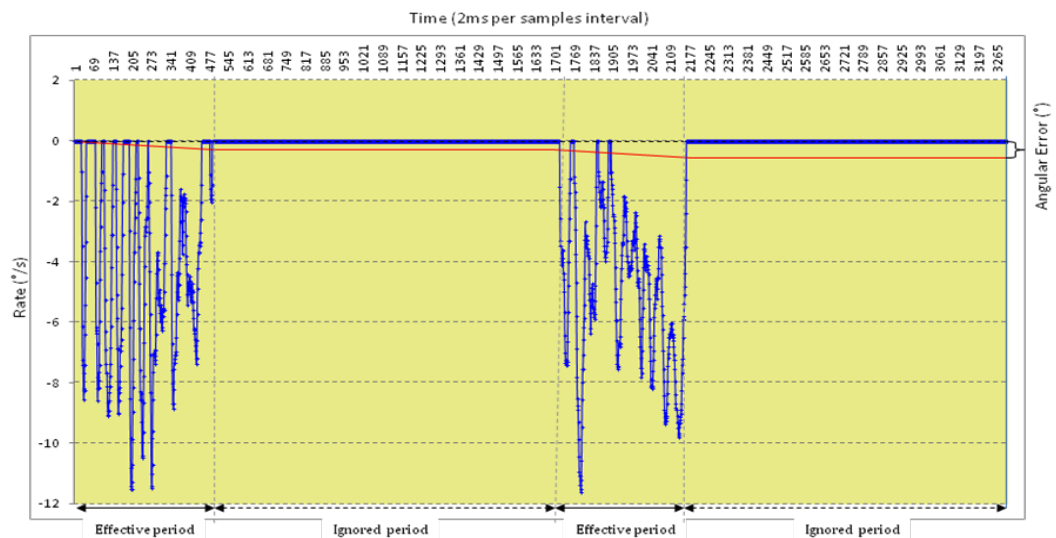


Bild 2: Mit Evaluation-Board ADXRS810 gemessene Drehrate

Bild 3: Drehwinkel, gemessen mit dem Evaluation-Board ADXRS810 und digitalem Tiefpassfilter



Wenn die Integrationszeit verkürzt werden könnte, würde dies den akkumulierten Winkelfehler beachtlich reduzieren. Wenn sich das Gyroskop nicht bewegt, ist das Ausgangssignal klein, aber wegen des Rauschens nicht Null. Der Baustein ADXRS810 erreicht ein sehr geringes Gyroskop-Rauschen und eine hohe Empfindlichkeit. Dies vereinfacht es, Rauschen im digitalen Bereich herauszufiltern. Dazu muss lediglich der geeignete Schwellwert eingestellt werden. Diese Vorgehensweise entspricht der Tiefpassfilterung, da das Winkelrauschen des Gyroskops gegenüber dem Ausgangssignal bei Rotation eine hohe Frequenz hat.

Bild 3 zeigt die Tiefpassfilterversion von Bild 2. Dabei werden alle Messungen unter $1^\circ/s$ zu Null und deshalb bei der Drehratenintegration ignoriert. Die verbleibende Integrationszeit, bezeichnet als effektive Integrationszeit, ist nur etwa 16 Prozent der gesamten Integrationszeit. Dies ergibt eine signifikante Reduzierung der Integrationszeit. Als Ergebnis wird auch der akku-

mulierte Winkelfehler signifikant reduziert (rote Linie).

Genauigkeit erhöhen

In einer praktischen Anwendung beträgt die Lenkradposition eines Fahrzeugs im Mittel Null Grad. Somit kann die effektive Integrationszeit für die Gyroskopdrehung reduziert werden, indem man sie ignoriert. Genau wie im Versuch bei Bild 3. Bild 4 zeigt Gyroskopmessungen bei einem echten Fahrzeugtest. Beim Durchfahren eines Tunnels in etwa 180 s werden auch für die Winkelintegration 180 s benötigt. Ohne Tiefpassfilterung kann der akkumulierte Fehler bei einer Fahrtdauer von 180 s durch den Tunnel bis zu 4° betragen. Dieser Fehler ist zu groß, um die Position des Fahrzeugs im Tunnel genau zu bestimmen. Indem man eine Tiefpassfilterung mit einem Schwellwert von $0,5^\circ/s$ implementiert, wird die effektive Integrationszeit auf lediglich

84s reduziert – dies entspricht einer Reduzierung um etwa 53 Prozent. Der akkumulierte Fehler sinkt auf etwa $0,5^\circ$ (Bild 5). Der Schwellwert der Tiefpassfilterung kann so eingestellt werden, dass die für die Anwendung erforderliche Genauigkeit erzielt wird.

Fazit

Die heutigen Digitalgyroskope haben ausgezeichnete Spezifikationen. Damit ist der Raum zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit recht begrenzt. Bei Navigationssystemen für Fahrzeuge mit Dead Reckoning und andere Anwendungen, die lange Integrationszeiten verlangen, ist die Einstellung eines Schwellwertes für Tiefpassfilterung zur Reduzierung der Integrationszeit eine einfache und effiziente Methode zur Erhöhung der Genauigkeit.

Das Digitalgyroskop ADXRS810 basiert auf MEMS-Technologie von Analog Devices und eignet sich speziell für Na-

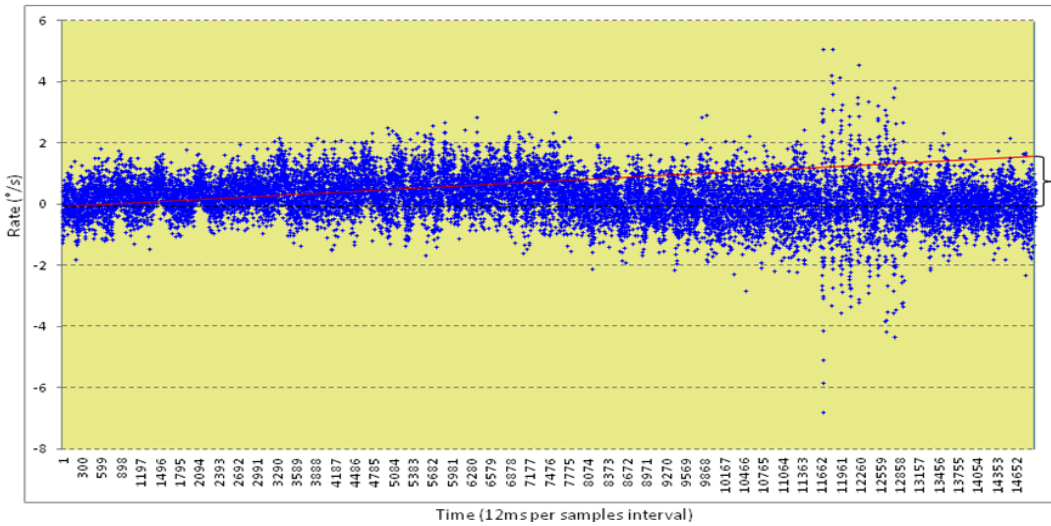


Bild 4: Ungefilterte Gyroskop-Messungen im Fahrzeug

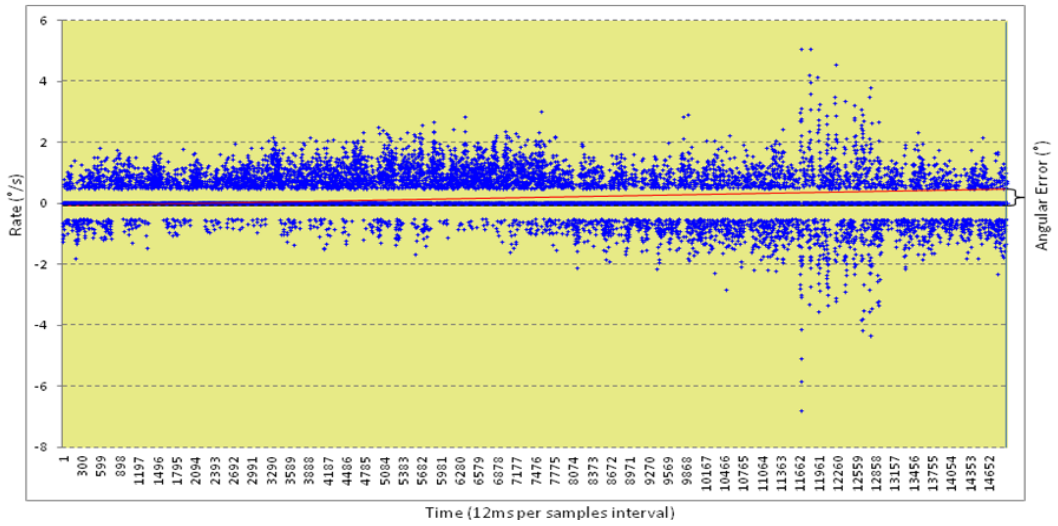


Bild 5: Gyroskop-Messungen im Fahrzeug nach der Tiefpassfilterung

vigationssysteme mit Dead Reckoning. Untergebracht in einem sehr kleinen Gehäuse bietet es Spezifikationen wie geringer Offset, geringes Rauschen und hohe Winkelempfindlichkeit. Durch die Temperaturkompensation auf dem Chip sind keine externen Temperatursensoren erforderlich. Dies vereinfacht den Algorithmus für den Temperaturausgleich. Die hohe Immunität des Digitalgyroskops gegenüber Schock- und Vibrationsbelastungen ist sehr wichtig für Automotive-Applikationen. (sc) ■

Autor

Ben Wang arbeitet bei Analog Devices. Er ist Field Applications Engineer mit Sitz in Shenzhen, China.



High Performance, SPI Digital Output, Angular Rate Sensor (Gyroscope)