

Bedienungsanleitung Larus Segelflugsensor

Allgemeines

Der Larus Sensor stellt verschiedene Messwerte und daraus abgeleitete Größen zur Verfügung, die zur Optimierung im Segelflug dienen. Er hat selber keine Anzeige und stellt seine Meßwerte über verschiedene standardisierte Schnittstellen, z.B. NMEA über RS232 und Bluetooth, binär über einen CAN-Bus zur Verfügung.

Druckmessungen:

Der Larus-Sensor mißt den statischen Druck und den Staudruck. Der statische Druck wird zur Messung der Luftdichte und für die Anzeige der Druckhöhe und des Flight-Level (FL) verwendet. Aus dem Staudruck wird die angezeigte Fluggeschwindigkeit (IAS) gebildet. Zusammen mit der Luftdichte wird die wahre Fluggeschwindigkeit (TAS) berechnet. Eine exemplarabhängige manuelle Kalibrierung des Fahrtmessers (CAS) ist vorgesehen¹.

Positions- und Geschwindigkeitsmessung:

Der Larus-Sensor enthält einen sehr genauen GNSS-Navigationsempfänger. Außer der Position (Genauigkeit ca 1m horizontal und 2m vertikal) wird die Geschwindigkeit über Grund dreidimensional gemessen und zur Stützung der Fluglage-Messung und als eine Meßgröße für das Variometer verwendet. Die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung ist horizontal ca 0.05 km/h und vertikal ca. 2.5 cm/s beim GNSS-Empfänger uBlox F9P. (Ca. 0.06 km/h horizontal und ca. 3cm/s vertikal bei Verwendung des uBlox M9N Einfrequenz-Empfängers). Wie üblich wird auch der Kurs über Grund ("Track") vom GNSS-Empfänger gemessen.

Inertial-Messeinheit (IMU) und AHRS:

Der Larus-Sensor enthält eine hochwertige IMU (Inertial-Measurement-Unit) XSENS MTi-1. Die IMU mißt jeweils dreidimensional Beschleunigung, Drehrate und magnetische Induktion. Aus diesen Daten wird durch Vergleich mit den Geschwindigkeitsdaten des GNSS die Fluglage berechnet (AHRS-Funktion). Diese Messung ist im Nick- und Rollwinkel auf ca. 1 Grad genau. Beim Kreisflug wird durch einen Vergleich der Beschleunigung vom GNSS und vom AHRS der momentane rechtweisende Steuerkurs ("Heading") zeitaufgelöst bestimmt. Dazu ist, bei hinreichend hoher Beschleunigung im Kreisflug, kein Magnetkompass nötig. So bestimmt der Larus-Sensor automatisch beim jedem Kreisflug die Kalibrierung des Magnet-Kompasses², so daß dieser anschließend im Geradeausflug zur Messung des magnetischen Steuerkurses verwendet werden kann. Zusammen mit der einstellbaren magnetischen Mißweisung kann so das True-Heading (relativ zu rechtweisend Nord) mit einer Genauigkeit von etwa 1-2 Grad bestimmt werden.

Diese Messung ist allerdings sehr von Magnetfeldern in der Umgebung des Sensors abhängig. Veränderliche Magnetfelder und starke Störfelder (z.B von Lautsprechern) in der Nähe des Sensors

1 Momentan ist das eine lineare Kalibration über Nullpunkt (Offset) und Steigung.

2 Wenn eine wesentliche Änderung festgestellt wurde oder wenn die Qualität der letzten Messung deutlich besser ist als die des Ergebnisses vorher, speichert der Larus-Sensor diese Kalibrierung im Mikrocontroller-EEPROM dauerhaft ab.

müssen vermieden werden. Idealerweise wird der Sensor in möglichst großer Entfernung von Eisenteilen und Magneten eingebaut.

Durch Verwendung eines D-GNSS-”Kompasses“ (2 gekoppelte Differential-GNSS-Empfänger uBlox F9P) kann die Genauigkeit des Steuerkurses auf ca. 0.05 Grad verbessert werden. Das ist besonders für die Windmessung bei hoher Fluggeschwindigkeit im Geradeausflug von Vorteil.

Die Messung der Fluglage kann für einen künstlichen Horizont sowie zur präzisen Anzeige des momentanen Drift-Winkels (Differenz Track – Heading) verwendet werden.

Messung der Windgeschwindigkeit:

Der Larus-Sensor bestimmt aus der dreidimensionalen Differenz zwischen Grundgeschwindigkeit und Fluggeschwindigkeit die Windgeschwindigkeit. Da die Algorithmen keinerlei Annahmen über das Flugzeug machen (insbesondere über den variablen Anstellwinkel), ist die Vertikalkomponente des Windes dabei allerdings recht ungenau und wird nicht weiter verwendet. Die horizontale Windgeschwindigkeit wird als Momentanwert (sekundengenau) und als Mittelwert gemeldet. Im Geradeausflug wird über 30s (einstellbar) gemittelt. Im Kreisflug wird der Wind über exakt einen Kreis gemittelt. Außerdem wird der beobachtete mittlere Wind seit dem Beginn des Kreises ausgegeben. Er ersetzt beim Kreisen den zeitlich gemittelten Wind. Eventuelle Abweichungen im Kreisflug durch den Anstellwinkel werden von einem speziellen Algorithmus erkannt und eliminiert, so daß der Pilot im Endeffekt den Wind im letzten Kreis und den mittleren Wind in diesem Aufwind auf seiner Anzeige zu sehen bekommt.

TEK-Variometer:

Der Larus-Sensor verwendet einen Kalmanfilter zur Zusammenführung der Meßwerte des GNSS-Höhenmessers, des GNSS-Geschwindigkeitsmessers und der Vertikalbeschleunigung von der Trägheitsplattform (INS) als Meßsystem für das nicht fahrtkompensierte Variometer. Dieser Algorithmus hat praktisch keinerlei Trägheit und liefert verzögerungsfrei und ohne Verwendung der Druckmessung ein hochgenaues unkompensiertes Variometer.

Die Fahrtkompensation wird über mehrere Algorithmen gebildet und über einen speziellen Mechanismus zusammengeführt, so daß die Fehler der einzelnen Algorithmen sich größtenteils gegenseitig aufheben:

- * Differentiation der Geschwindigkeit durch die Luft .
- * Geschwindigkeit durch die Luft (als Vektor) mal Beschleunigung (Vektor)
- * Geschwindigkeit mal Beschleunigung, beides projiziert auf die Flugzeug-Längsachse

Die Geschwindigkeit durch die sich bewegende Luft wird über ein 3D-Kalmanfilter aus den GNSS und INS-Daten zusammen mit dem mittleren Wind ermittelt. Zusammengefasst:

Der Algorithmus verwendet die kinetische Energie der dreidimensionalen Bewegung durch die umgebende Luft zur Fahrtkompensation.

Dämpfung: Das so gewonnene Fahrtkompensierte Variometer hat praktisch keine Verzögerung, was zu einer unnötig schnell variierenden Anzeige führt. Deswegen wird es mit einem Tiefpassfilter (Bessel-Filter 2.Ordnung) mit einer konfigurierbaren Zeitkonstante von 1 bis 2 Sekunden geglättet.

Messung der Luftdichte:

Zur Umrechnung der angezeigten Fluggeschwindigkeit (IAS) in die wahre Fluggeschwindigkeit (TAS) wird die momentane Luftdichte benötigt. Durch eine permanente Beobachtung der Änderung des Luftdrucks als Funktion der GNSS-Flughöhe wird unabhängig von Temperatur, Luftfeuchte und anderer Größen permanent die Luftdichte gemessen und in Echtzeit berücksichtigt.

Das ist zur genauen Bestimmung der Windgeschwindigkeit notwendig, da ja die möglichst exakte Differenz zwischen Fluggeschwindigkeit (TAS) und Grundgeschwindigkeit gebildet werden muss.

Inbetriebnahme des Larus-Sensors

Der Larus-Sensor muß so weit wie möglich weg von allen Eisenteilen und außerdem absolut fest montiert werden. Die Einbaulage ist im Prinzip egal. Allerdings muß sie in der Konfiguration des Sensors mit Hilfe des Files "sensor_config.txt" genau eingestellt werden.

Mit Hilfe des Horizonts in OpenSoar und durch Beobachtung des Kompass-Headings kann man den korrekten Einbau verifizieren.

Vor dem Losfliegen müssen ein paar Dinge korrekt eingestellt bzw kalibriert werden. Die Einstellwerte werden im Mikrocontroller des Sensors (EEPROM-Emulation) abgelegt.

Da im Larus sehr hochwertige Sensoren eingesetzt werden, muß hauptsächlich die Magnetfeld-Sensorik für das magnetische Heading kalibriert werden. Diese Kalibrierung wird im Flug von der Firmware ständig überprüft und nötigenfalls nachgestellt. Die weiteren IMU-Sensorkanäle wurden schon vom Hersteller kalibriert und benötigen keine Nachkalibrierung.

(Ergänzen: Einstellung der Sensor-Orientierung, optionale Kalibration der Druckmessungen)

Kalibration des 3D-Magnetfeldsensors³:

Idee:

Die Feldlinien des Erdmagnetfelds verlaufen in Deutschland von Süden oben nach Norden unten im "Inklinationswinkel" von ca. 70 Grad. Jede Sensorachse muss bei der Kalibration möglichst exakt für einen Moment in diese Richtung, positiv und negativ, ausgerichtet werden. Also gibt es insgesamt 6 Kalibrier-Punkte. Die Kalibration sollte im Freien durchgeführt werden, wo möglichst wenig ferromagnetisches Material das Erdmagnetfeld stört. Autos stören z.B im Umkreis von ca. 5 Metern.

Vorgehensweise beim Kalibrieren:

Man benötigt außer dem Larus-Sensor (mit Powerbank als Stroversorgung) ein Gerät mit der OpenSoar-Software. Achtung: Auch die Powerbank kann eventuell ein magnetisches Störfeld verursachen. Man verbindet sich mit dem Bluetooth-Ausgang des Sensors und wählt als Treiber "Larus". Es muß eine uSD-Speicherkarte eingelegt werden, auf der leere Dateien mit den Namen "sensor.readings" und "magnetic.calibration" existieren. Mit dem Ersten wird die Ausgabe der Messwerte im lesbaren Format eingeschaltet⁴. Das zweite File aktiviert sofort nach dem Einschalten

³ Diese Kalibrierung ist optional und normalerweise nicht unbedingt notwendig. Die automatische Kompass-Kalibration erledigt das normalerweise nach den ersten Kreisflügen in beiden Richtungen ganz automatisch.

eine zweiminütige Kalibrationsphase. Larus löscht dieses File nach den zwei Minuten automatisch, damit nicht beim nächsten Einschalten die Kalibration wieder zerstört wird.

Innerhalb der 2 Minuten muß der Sensor so im Raum bewegt werden, daß möglichst genau die sechs Kalibrierpunkte gefunden werden. Wenn man das akustische Variometer im OpenSoar aktiviert, wird der momentan betraglich größte beobachtete Sensorwert einer Achse als “Steigen” angezeigt. Wenn man also in allen 6 möglichen Richtungen das Steig-Signal auf Maximum bringt, sollte nach den zwei Minuten der Sensor korrekt kalibriert sein.

Nach den zwei Minuten wird das Vario-Tonsignal umgeschaltet. Es zeigt jetzt an, wie sehr das gemessene Magnetfeld vom Normwert abweicht. Gemessen wird dabei der Inklinationswinkel und der Betrag des Magnetfelds. Man dreht also den Sensor in alle möglichen Richtungen und beobachtet das Vario. Wenn das Vario immer deutlich unter 1m Sinken anzeigt, ist alles OK.

Manuelle Kontrolle der magnetischen Kalibrierung:

Geht man in die Nähe eines magnetischen Störfelds wie z.B. eisernes Gartentor oder Auto, dann kann man diesen Effekt gut beobachten. Auf diese Weise läßt sich nun auch verifizieren, daß der Einbau-Ort im Flugzeug brauchbar ist. (Oder nicht ...) Am meisten stören die Magneten von Lautsprechern. Alle anderen Eisenteile stören auch, da sie bei jeder Bewegung des Flugzeugs ein veränderliches Störfeld erzeugen. Dieser Effekt läßt sich nur sehr schwer kompensieren und führt im Wesentlichen zu einer ungenauen Messung des Winds.

Wenn das File „sensor.readings“ existiert, kann man über Bluetooth mit OpenSoar unter anderem das True Heading kontrollieren. Das ergibt eine Möglichkeit zur Kontrolle der Kompass-Kalibration im eingebauten Zustand. Das File “sensor.readings” darf im Normalbetrieb **nicht** auf der Micro-SD sein, damit die Ausgabe der NMEA-Werte für OpenSoar erfolgen kann.

Automatische magnetischen Kalibrierung:

Im Flug kontrolliert die Larus-Firmware die Kalibrierung der Magnetfeld-Messung, und zwar immer beim Kreisen. Hier kann aus den GNSS- und INS-Daten die 3d-Lage im Raum ohne Magnet- oder Satelliten-Kompass exakt ermittelt werden. Dann ermittelt Larus die Kalibrierung seiner Magnetsensoren selbstständig und speichert das Ergebnis, falls es notwendig wird, nach der nächsten Landung im Microcontroller dauerhaft ab. Kleine Änderungen der magnetischen Umgebung oder Drift der Sensoren werden somit automatisch korrigiert.

Achtung: Änderungen des magnetischen Umfelds wie „Haube Öffnen“ oder „Fahrwerk Ausfahren“ führen oft zu einer signifikanten Änderung des Magnetfelds. Eventuell wird dann das Heading und damit die Windmessung im Geradeausflug ungenau.

Die lokalen Daten des Erdmagnetfelds (Inklination und Deklination) sind in einem weltweit gültigen magnetischen Modell gespeichert und werden nach dem ersten Position-Fix des GNSS-Empfängers automatisch berechnet. Diese Daten werden stündlich aktualisiert.

4 Wenn man in OpenSoar mit “Config”/“Devices”/“Monitor” die Ausgabe aktiviert, kann man die Sensorwerte kontrollieren. Dort wird dann auch noch ein NMEA-Protokoll für den Vario-Ton ausgegeben.

Messwert-Logging

Der Larus-Sensor sollte immer mit einer FAT32-formatierten Micro-SD-Karte bestückt sein, damit im Fehlerfall dort Information über das Problem abgelegt werden kann.

Optional schreibt Larus die Rohmesswerte aller Sensoren in ein binäres File, wenn im Root-Verzeichnis ein Unterverzeichnis „logger“ existiert. Falls des Weiteren noch ein Unterverzeichnis „magnetic“ existiert, werden dort lesbare Dateien mit den ermittelten Magnetfeld-Daten abgelegt, sobald diese sich ändern.

Falls die Sensor-Firmware einen Crash erlebt, schreibt sie die Details des Problems in drei Files ins Root der SD-Karte. Die Entwickler können anhand dieser Dateien nachvollziehen, welches Problem aufgetreten ist. Die Firmware startet sich anschließend neu.

Das Konfigurations-File „sensor_config.txt

Dieses File sollte normalerweise nur bei der initialen Inbetriebnahme existieren und man sollte es danach löschen oder umbenennen. Später kann man allerdings mit diesem File noch einzelne Parameter verändern, falls das gewünscht wird. Dieses File sollte im Normalbetrieb nicht auf der Karte vorhanden sein. Andernfalls werden eventuell die Daten der automatischen magnetischen Konfiguration beim nächsten Einschalten wieder überschrieben !

Man startet mit dem Original-File von der Larus GITHUB-Seite.

Die Einstell-Werte befinden sich zeilenweise hinter dem Gleichheitszeichen.

Alles Andere darf nicht verändert werden, sonst ignoriert Larus die Daten.

Das File kann eine beliebige Kombination der folgenden Konfigurationszeilen enthalten:

01 SensTilt_Roll = 0

Drehung des Sensors um die Rollachse (Sensor - Längsachse)

02 SensTilt_Pitch = 0

Drehung des Sensors um die Nickachse

03 SensTilt_Yaw = 0

Drehung des Sensors um die Hochachse

04 Pitot_Offset = 0.0

Offset des Differenzdruck-Sensors in Pa (kann mit „sensor.readings“ ... ermittelt werden)

05 Pitot_Span = 1.0

Steigungs-Korrektur der Differenzdruck-Messung (IAS → CAS)

06 QNH-delta = 0.0

Nullpunkt-Korrektur der Absolutdruck-Messung

17 Mag_Auto_Calib = 1

Einschalten der automatischen Kompass-Kalibration

20 Mag_Declination = 3.5

Magnetische Deklination am Einsatzort, Ost ist positiv

21 Mag_Inclination = 66

Magnetische Inclination am Einsatzort, positiv auf der Nordhalbkugel

30 Vario_TC = 1

Dämpfungs-Zeitkonstante des Momentan-Variometers in Sekunden

Sinnvoller Bereich 0.5-5s

31 Vario_Int_TC = 30

Dämpfungs-Zeitkonstante des Variometers-Integrators im Geradeausflug

32 Wind_TC = 5

Dämpfungs-Zeitkonstante der Windmessung momentan im Geradeausflug

33 Mean_Wind_TC = 30

Dämpfungs-Zeitkonstante der Windmessung momentan im Geradeausflug

34 Horizon_active = 1.0

Möglichkeit zum Deaktivieren des Horizonts für Wettbewerbe etc.

40 GNSS_CONFIG = 1.0

1 für das Single-GNSS uBlox M9N 2 für das D-GNSS 2 * uBlox F9P

und 3 für einen uBlox F9P + F9H

41 ANT_BASELEN = 1.0

Abstand der D-GNSS Antennen in Flugrichtung in Metern

Der Primär-Empfänger sitzt auf der Huckepack-Platine. Seine Antenne sollte in der Nähe des Flugzeug-Schwerpunkts sein. ANT_BASELEN ist nun der Abstand der Antenne des zweiten Empfängers nach vorne.

42 ANT_SLAVE_DOWN = 0.0

Lage der vorderen D-GNSS Antenne relativ zur Haupt-Antenne nach unten in „m“

43 ANT_SLAVE_RIGHT = 0.0

Lage der vorderen D-GNSS Antenne relativ zur Haupt-Antenne nach rechts in „m“

Einspielen älterer Kalibrierdaten

Die folgenden Zeilen können optional aus einem *.EEPROM-File des Loggers übernommen und somit ins EEPROM konfiguriert werden. Normalerweise wird das nicht empfohlen.

```
10 Mag_X_Off = -1.437378e-1
11 Mag_X_Scale = 1.046814e0
12 Mag_Y_Off = -7.391357e-1
13 Mag_Y_Scale = 1.089447e0
14 Mag_Z_Off = 9.246826e-2
15 Mag_Z_Scale = 1.100372e0
16 Mag_Calib_Err = 2.075195e-4
20 Mag_Declination = 2.867432e0
21 Mag_Inclination = 6.474243e1
```

Die Zahlenbeispiele sind von einem Testflug in Bensheim

Der Parameter 16 enthält die geschätzte Standard-Abweichung aller Magnet-Daten aus der aktuellen Messung. Zahlenwerte unter 1e-3 gelten als gut.

Die aktuellen Einstellungen werden, wenn das Directory „logger“ existiert, nach dem Einrasten des GNSS-Empfängers (erst dann sind Uhrzeit und Datum verfügbar) in ein *-EEPROM-File geschrieben.