



Doctoral Thesis

Systematic investigations of error- and system-modelling of satellite based flight approaches and landings in Switzerland

Author(s):

Scaramuzza, Maurizio Fabio

Publication Date:

1998

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001998521> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 12892

**Systematic Investigations of Error- and
System-Modelling of Satellite Based Flight
Approaches and Landings in Switzerland**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
MAURIZIO FABIO SCARAMUZZA
Dipl. Kult. Ing. ETH
born August 15, 1967
citizen of Italy

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. H.-G. Kahle, examiner
Dr. A. Geiger, co-examiner
Dr. W. Lechner, co-examiner

Zurich 1998

Abstract

This work analyses the potential of the Global Positioning System (GPS) for navigation purposes in civil aviation, especially on approaches and landings in rugged terrain. This work is financed by the National Science Foundation (NF) and is part of the scientific analysis of a project borne of different partners, the aim of which is to gain insight and experiences into GPS based approach and landing systems. These aims are achieved by flying approaches and landings in Lugano-Agno and recording simultaneously relevant flight data. The Federal Office of Civil Aviation (FOCA) leads this project whose partners are Crossair, Swisscontrol, Telematica and ETH Zürich.

Based on satellite measurements, GPS allows instantaneous positioning accuracy in the range of 50 - 100 meters. This accuracy is improved to the range of meters by applying the differential GPS mode. This mode is used for navigation purpose during the approach and landing flights. Further position accuracy improvement up to centimeter to decimeter level is achieved by applying carrier phase measurements. This positioning mode is used as reference.

The investigations are based on the coming standards on certification of approach and landing systems. The four Required Navigation Performance (RNP) parameters, accuracy, integrity, availability, and continuity are particularly analysed. These parameters cannot be evaluated statistically meaningful due to the small number of approaches flown until now. Nevertheless these few approaches show a mean horizontal deviation from the desired course of 0.7% of the allowed deviation where the distribution (1σ) is 6% of the allowed deviation. These results are promising for further test flights.

Theoretical analysis and simulations with respect to the RNP parameters, including e.g. flight dynamic and topography, show that the number of visible satellites as well as its constellation can become critical at low altitude and during curved flight. Improvement of continuity can be shown theoretically when using additional satellite systems, especially with the Russian GLONASS and the planned European ENSS. Pseudolites improve the continuity mainly in the region of the critical parts of the final approach.

Two possible error sources, multipath and interference, are further investigated. A model describing the multipath of the GPS code signal is derived and verified with experiments. It is further shown, that the losses of the GPS signal detected during preliminary measurements at the airport of Lugano-Agno can be attributed to GPS carrier phase signal multipath.

A transmitter causing radio frequency interference was identified south of Lugano-Agno. A computer based technique for the identification of potential regions exposed to interference in the environment of a disturbing station is presented.

An enhanced algorithm to monitor the position accuracy by using only range measurements of GPS satellites (Receiver Autonomous Integrity Monitoring, RAIM) is finally developed and tested with simulations. The probability of false alarms is slightly larger than required, whereas the probability of missed detections fulfills the requirements. An improvement of these results can be achieved by integrating altimeter measurements into the algorithm (Aircraft Autonomous Integrity Monitoring, AAIM). By this way all requirements are fulfilled.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht das Potential des Global Positioning System (GPS) im Bereich der Navigation in der zivilen Luftfahrt, insbesondere bei Landeanflügen in gebirgigem Gelände. Die Arbeit ist Teil der vom Schweizerischen Nationalfonds (NF) unterstützten wissenschaftlichen Auswertung eines von verschiedenen Partnern getragenen Projektes, das zum Ziel hat, Erkenntnisse und Erfahrungen im Gebiet von GPS-gestützten Landeanflügen zu sammeln. Diese Ziele sollen durch umfangreiche Landeanflüge im operationellen Betrieb in Lugano-Agno und gleichzeitigem Erfassen von flugrelevanten Daten erreicht werden. Die Leitung des Projektes untersteht dem Bundesamt für Zivilluftfahrt. Partner des Projektes sind die Crossair, Swisscontrol, Telematica und ETH Zürich.

Messungen zu GPS Satelliten ermöglichen eine momentane Positionsbestimmung mit einer Genauigkeit in der Grössenordnung von 50 - 100 Metern. Der Einbezug des differentiellen Modus erlaubt es, die Genauigkeit auf wenige Metern zu steigern. Dieser Modus wird für die Flugführung während den Anflügen verwendet. Eine weitere Steigerung der Positionsgenauigkeit auf Zentimeter bis Dezimeter kann durch den Einbezug von Träger-Phasenmessungen erreicht werden. Dieser Modus wird für die Bestimmung der Referenzposition verwendet.

Die Untersuchungen basieren auf den künftigen Standards zur Zertifizierung von neuen Anflugsystemen. Auf den vier Required Navigation Performance (RNP) Parameter, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Kontinuität wird im speziellen eingegangen. Da bis zum Abschluss dieser Arbeit nur wenige Anflüge vorliegen, können diese Parameter statistisch nicht aussagekräftig ausgewertet werden. Für diese Anflüge liegt die mittlere horizontale Abweichung vom vorgegebenen Flugweg bei 0.7% der erlaubten Abweichung und weist eine Streuung (1σ) von 6% der erlaubten Abweichung auf, was als vielversprechend zu bewerten ist.

Theoretische Analysen und Simulationen bezüglich den vier RNP Parametern, insbesondere unter Berücksichtigung des Flugverhaltens und der Topographie, zeigen, dass bei geringer Flughöhe im Kurvenflug die Anzahl sichtbarer Satelliten sowie ihre Konstellationsgüte für die Navigation kritische Werte annehmen können. Die Steigerung der Kontinuität bei der Verwendung zusätzlicher Satellitensysteme, insbesondere des russischen GLONASS und des geplanten europäischen ENSS, kann gezeigt werden. Pseudolites steigern die Kontinuität insbesondere im Bereich von kritischen Stellen des Endanfluges.

Weiter werden die Signalmehrwegausbreitung und Interferenzen des GPS Signals untersucht. Ein Modell für die Mehrwegausbreitung des GPS Codesignals wird hergeleitet und anhand einer speziell angelegten Versuchsanordnung bestätigt. Die während den Vorversuchen auf dem Flughafen Lugano-Agno beobachteten Auslöschungen des GPS Signals können durch die Mehrwegausbreitung des GPS Träger-Phasensignals erklärt werden.

Südlich von Lugano-Agno konnte ein Sender identifiziert werden, der mit GPS Signale interferiert. Ein computergestütztes Verfahren zur Identifizierung von möglichen Interferenzgebieten in der Umgebung eines bekannten Störsenders wird präsentiert.

Schliesslich wird ein verbesserter Algorithmus zur Überwachung der Positionsgenauigkeit ausschliesslich basierend auf Messungen der GPS Satelliten (RAIM) entwickelt und mit Simulationen getestet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler fälschlicherweise gemeldet wird, liegt leicht über den Anforderungen. Diejenige, dass ein unerlaubter Positionsfehler nicht entdeckt wird, erfüllt die Anforderungen. Eine Verbesserung der Ergebnisse wird dadurch erreicht, dass Daten des barometrischen Höhenmessers in die Berechnungen einbezogen werden (AAIM). Dadurch können alle Anforderungen erfüllt werden.