

Propuesta de TFG

David Morán Soriano

9 de octubre de 2024

Índice general

1	Introducción	2
2	Objetivos	3
3	Planificación	4
3.1	Investigación	4
3.2	Implementación	5
3.3	Evaluación	5
4	Hardware preliminar	6

1 Introducción

En este documento se recogerá la propuesta inicial de un TFG para el grado de *Ingeniería Aeroespacial* en la *UCLM*.

Para este TFG se plantea el estudio, desarrollo e implementación de un sistema de navegación aérea de bajo coste mediante el empleo de medidas inerciales tomadas por sensores MEMS y respaldadas por posicionamiento satelital y medidas barométricas.

Con el fin de unificar toda la información adquirida por los distintos sensores se propone emplear un conjunto de Filtros de Kalman Expandidos ejecutándose en un SoC de bajo presupuesto.

2 Objetivos

A continuación se listarán los objetivos preliminares principales y secundarios que se pretende explorar durante el desarrollo del TFG.

- Principales
 - Lectura en bruto de los sensores de forma periódica y confiable.
 - Preprocesado e interpretación de lecturas.
 - Registrar medidas de forma local(Tarjeta SD).
 - Creación de un modelo de filtro de Kalman ajustado al sistema dinámico con el que se trabaja.
 - Modelado de un sistema dinámico que permita probar el filtro de Kalman.
 - Integración del filtro de Kalman y lectura de sensores en el hardware escogido.
 - Evaluación de rendimiento del sistema (Latencia + precisión + consumo).
- Secundarios
 - Grabar rutas de navegación en Tarjeta SD.
 - Comparar ruta respecto a medidas.
 - Añadir telemetría.
 - Proponer correcciones.
 - Actuar conforme a las correcciones.

3 Planificación

Para abordar este proyecto se plantea tomar un enfoque expansivo en el que se comience alcanzando unos objetivos mínimos y, posteriormente se realice un proceso iterativo en el que se vaya ampliando y mejorando la funcionalidad del sistema.

Este enfoque requiere que se realice un estudio inicial en el que se plantee el alcance máximo del proyecto, de forma que se pueda diseñar el código para ser capaz de incorporar nueva funcionalidad sin necesidad de realizar alteraciones significativas.

Además, dado que se pretende alterar continuamente el código, serán necesarios mecanismos que permitan facilitar y automatizar la verificación de la funcionalidad de forma retroactiva.

El TFG estará dividido en 3 secciones principales, que serán las que se irán ejecutando de forma iterativa.

La primera consistirá en una fase de investigación en la que se estudie y plantee el modelo que se quiera implementar. El resultado será un modelo matemático y una propuesta breve sobre como implementarlo.

La segunda traducirá el modelo a un lenguaje de programación, comúnmente C, aunque también se podrán emplear Python y Matlab para hacer pruebas de funcionalidad o hacer interfaces gráficas. Como resultado se obtendrá un código que se podrá ejecutar en el hardware escogido.

Finalmente, se realizará una fase de evaluación en la que se comprobará el desempeño del modelo en un caso controlado, comparando los resultados con los obtenidos tanto en iteraciones anteriores como respecto a las especificaciones planteadas.

A continuación se desarrollará el proceso de cada fase de forma preliminar.

3.1 Investigación

Durante esta fase se estudiará los métodos físicos y matemáticos que describen a nuestro sistema, de forma que se pueda escoger el más óptimo. También se tratará de investigar algoritmos que puedan acelerar la ejecución de código.

El proceso de investigación se realizará de forma incremental siguiendo el siguiente desarrollo:

1. Establecer sistemas de referencia ground y body. [GPP12, sec. 1.2 - 1.4]
2. Creación de un modelo que simule las medidas de nuestros sensores dados unos parámetros y un tiempo. Inicialmente incorporará giroscopio, acelerómetro y magnetómetro.
3. Estudiar método para cuantificar errores respecto al modelo.
4. Desarrollo de un integrador de las medidas del giroscopio empleando cuaterniones. (Sin ruido y calibrado). [Ash17]
5. Ecuación para obtención de orientación mediante acelerómetro + magnetómetro.
6. Estudio de errores de cada sensor (gir., acc., mag.).
7. Desarrollo de un filtro de kalman extendido simple tomando el giroscopio como medidas externa y ajustando deriva con el acelerómetro y magnetómetro [24b]
8. Incorporar medidas de giroscopio internamente.
9. Estudiar e incorporar efectos de calibración al modelo.

10. Estudiar relación entre coordenadas geográficas y desplazamientos.
11. Estudiar protocolo y estándares GNSS.
12. Estudiar distribución normalizada de medidas GNSS.
13. Estudiar error del barómetro.
14. Añadir GNSS y barómetro al modelo.
15. Ecuación de fusión de sensores.[Bec23]

3.2 Implementación

Durante esta fase se irán implementado los resultados de la fase de investigación. Inicialmente bajo simulación y posteriormente en el hardware elegido.

1. Crear un módulo que incorpore el modelo de simulación.
 - Debe exponer:
 - Función obtención de medidas de giroscopio
 - Función obtención de medidas de acelerómetro
 - Función obtención de medidas de magnetómetro
 - Función con estado total del sistema
2. Función error que compare estados del sistema. Interfaz matlab.
3. Función transformación de vel. ang. de Euler a quaternion.
4. Función integración de quaterniones.
5. Función orientación a partir de acelerómetro y magnetómetro. [24b]
6. Módulo Filtro Extendido de Kalman simple
7. Aplicar calibraciones.
8. Función transformada Desplazamientos <-> Coordenadas geográficas
9. Función obtención de distribución normal GNSS.
10. Función obtención de medidas barométricas
11. Incorporar simulación de GNSS y barómetro al simulador
12. Función de fusión de sensores.
13. Adaptar módulos a esp-idf (FreeRTOS) [ESPnd]

3.3 Evaluación

A lo largo del desarrollo del proyecto se realizarán ensayos tanto simulados como reales en los que se estudie la exactitud, precisión y fiabilidad de los sistemas.

Los resultados de los ensayos se compararán, simulados contra reales y ambos respecto a unas especificaciones (*Aún por determinar*).

4 Hardware preliminar

- SoC: ESP32 [Inc16]
- IMU: GY-91 10 DoF
 - MPU9250 [Inc16]
 - * MPU6500 6 DoF
 - * AK8963 3 DoF
 - BMP280 [24a]
- GNSS: NEO-6M

Referencias

- [24a] Feb. de 2024. dirección: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>.
- [24b] *AHRS: Attitude and Heading Reference Systems — AHRS 0.4.0 documentation*, [Online; accessed 8. Oct. 2024], oct. de 2024. dirección: <https://ahrs.readthedocs.io/en/latest/filters/ekf.html>.
- [Ash17] Ashwin Narayan, “How to Integrate Quaternions”, *Ashwin Narayan*, sep. de 2017. dirección: <https://www.ashwinnarayan.com/post/how-to-integrate-quaternions>.
- [Bec23] A. Becker, *Kilman Filter: From the ground up*, 1ª ed. KilmanFilter.NET, 2023.
- [ESPnd] ESPRESSIF, *IDF Programming Guide*, ESP-IDF Programming Guide, n.d.
- [GPP12] M. A. Gómez Tierno, M. Pérez Cortés y C. Puentes Márquez, *Mecánica del Vuelo*, 2nd. Garceta, 2012.
- [Inc16] I. Inc., *MPU-9250 Product Specification Revision 1.1*, jun. de 2016. dirección: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>.