



# Planificaciones

6666 - Seminario de Electrónica II

Docente responsable: ESPAÑA MARTIN DARIO

## OBJETIVOS

Los sistemas de navegación integrada combinan estadísticamente datos de una variada gama de sensores a bordo de un vehículo. Con la aprobación del curso el estudiante podrá: a) evaluar y diseñar sistemas de navegación integrada para vehículos diversos (aéreos, terrestres, submarinos y espacial), b) desarrollar el software de navegación que integre una amplia gama de instrumentos a bordo del vehículo c) abordar problemas diversos de navegación integrada e imaginar nuevas soluciones. Además incorporará las tecnologías de unidades inerciales y de navegación global satelital y adquirirá los fundamentos matemáticos necesarios para continuar una investigación metodológica en el tema.

## CONTENIDOS MÍNIMOS

Sistemas de referencia y transformaciones. Navegación inercial pura. Dinámica de los errores. Algoritmos numéricos de navegación inercial. Geometría de la Tierra y gravitación. Navegación GNSS. Filtros de fusión de datos. Navegación integrada multisensor. Navegación GPS-inercial. Ejemplos y resultados de aplicaciones prácticas.

## PROGRAMA SINTÉTICO

Instrumentos inerciales. Navegación inercial con y sin plataforma estabilizada. Rotaciones entre sistemas de coordenadas. Parametrización de la orientación de un cuerpo: cosenos directores, eje y ángulo de Euler, cuaterniones. Ecuación del cono. Sistemas de referencia/navegación y transformaciones. Geometría de la Tierra y gravitación. Introducción al sistema GPS. Modelo de los observables de un receptor GPS. GPS Diferencial. Ecuaciones cinemáticas en los distintos sistemas de referencias. Navegación inercial y mecanización de las ecuaciones de navegación. Análisis dinámico. Errores y dinámica de los errores. Algoritmos numéricos de navegación inercial. Modelo de error de los sensores. Algoritmos de fusión de datos y navegación integrada multi sensores. Filtrado no lineal y Filtro de Kalman Extendido. Convergencia de estocástica. Integración de datos INS-GPS-radar-actitud-altímetros, etc. Navegación de precisión. Ejemplo simulado de inyección satelital y resultados de aplicaciones a casos reales.

## PROGRAMA ANALÍTICO

I Introducción: Definiciones. Tipos de sensores. Sistemas de navegación con y sin plataforma estabilizada. Navegación Strap-down. Ejemplos de propagación de los errores. Noción de Navegación integrada.

II Instrumentos inerciales: Principios físicos. Tipos de mediciones. Acelerómetros: masa testigo, fuerza específica, dispositivos de péndulo, dispositivos MEMS. Giróscopos: rotatorios, vibratorios de tecnología MEMS, Ópticos de fibra óptica y de laser. Modelos determinista y estocástico, caracterización de las perturbaciones. Especificaciones, niveles de calidad y categorías.

III Orientación en el espacio: Rotaciones en R3, rotaciones relativas entre ternas de referencia, Parametrizaciones de la orientación: matriz de cosenos directores (MCD), eje y ángulo de Euler, ángulos de Euler, cuaterniones. Composición de las representaciones.

IV Cinemática de la orientación: Ecuaciones cinemáticas. Ecuación diferencial de la MCD, Idem del cuaternión, idem del ángulo de Euler. Ecuación de Cono.

V Ternas de referencia: Gravedad y gravitación. Geometría de la Tierra. Geoide y elipsoide norma. Ternas ECI, ECEF, LGCV, LGV, NAV. Transformaciones de coordenadas.

VI Modelos de gravedad y de gravitación: Gravedad Normal, fórmula de Somigliana. Anomalías y deflexión de la vertical. Gravitación global. Armónicos Esféricos del potencial terrestre.

VII Ecuaciones cinemáticas: Ecuación fundamental de la navegación. Ecuaciones en ECI- mecanización. Esquema general de las Ecs. de navegación. Ecs en ECEF-mecanización, Ecs en LGV, rotación por transporte, dinámica e inestabilidad del canal vertical. Diseño de filtro estabilizador. Mecanización en LGV.

VIII Ecuaciones de los errores cinemáticos: Espacio vectorial de las pequeñas rotaciones. Errores de rotación entre ternas. Error de Posición en terna NAV, relación con errores en Lat. Long. y Alfa. Error de "plataforma" y relación con errores en yaw, pitch y roll. Error inercial de orientación. Error de Velocidad. Error de la rotación por transporte. Ecuación de Estado de la dinámica de los Errores.

IX Propagación de los errores cinemáticos: Ejemplo en coord. NAV=GEO. Caso estacionario. Análisis e interpretación de simulaciones. Sensibilidad a errores iniciales e instrumentales. Presupuesto de errores. Caso de alineación. Autoalineación con realimentación de la velocidad, sensibilidad a los errores.

X Algoritmos numéricos de navegación "strap-down": Notación. Definiciones. Entradas y salidas. Algoritmo en coordenadas LGV, integración de la orientación, integración de la traslación, términos de gravedad, fuerza específica y de Coriolis, correcciones por "gondoleo". Algoritmo en Coordenadas ECEF, integración de la orientación, integración de la traslación, términos de gravedad, fuerza específica y de Coriolis. Algoritmos ECEF para vehículos de alta velocidad. Ventajas y desventajas de ambos algoritmos. Ejemplos de aplicación.

XI Fusión de datos y navegación integrada multi sensores: Definiciones. Vector de estado extendido con parámetros desconocidos. La navegación como caso de filtrado no lineal con medidas discretas. Enfoque Bayesiano exacto. Soluciones aproximadas, extensiones del Filtro de Kalman: EKF (Extended Kalman Filter),

LKF (Linearized Kalman Filter), SPKF (Sigma Point Kalman Filter) y UKF (Unscented Kalman Filter). Ejemplos: Inercial + baro-altímetro; Inercial + radar; Inercial+GPS (con posición y velocidad).

XII GPS I Descripción del Sistema: Segmentos espacial, terreno y usuario. Descripción de las señales, mensaje de navegación, adquisición y seguimiento de cada satélite. Escalas de tiempos involucradas. Modelo del observable pseudo-rango, posicionamiento SPS. Efectos de los errores residuales, dilución de la precisión. Modelo del observable de fase. Tiempos fases y relojes. Fase total y fase medible o de batido. Fase de batido y pseudo rango, ambigüedades reales y enteras. Comparación entre observables. Fase Doppler o delta-pseudo-rango. Determinación de la Velocidad, precisión.

XIII Navegación inercial-GPS fuertemente integrada: Ecuaciones cinemáticas en ECEF, modelo de los sensores inerciales, innovaciones de pseudo rango y Doppler. Filtro de Kalman para la determinación simultánea de los parámetros de los sensores (calibración), los parámetros de navegación y el brazo de palanca antena-unidad inercial. Resultados: a) Sistema de navegación del SAR aerotransportado de la CONAE, b) Idem de la carga útil del cohete VS-30, c) Navegación de un cohete Delta IV (en simulación).

XIV GPS II Soluciones y Precisiones: Problema general del posicionamiento satelital global. Standard Positioning Service, Precision Positioning Service. 1 referencia y un usuario ambulante. Opción DGPS, Sistemas de aumentación. Técnicas de precisión con uso de la fase: diferencias espaciales, diferencias espacio-satelitales, posicionamiento multi época y multi-receptor, diferencias temporales, fase Doppler. Técnicas de determinación de la ambigüedad entera o interferometría GPS, método LAMBDA. Interferometría y medición de orientación.

## BIBLIOGRAFÍA

Farrell, Jay; Barth, Matthew; "The global positioning system and inertial navigation", New York: McGraw-Hill, 1999.

Grewal, Mohinder S.; Weill, Lawrence R.; Andrews, Angus P. "Global positioning systems, inertial navigation, and integration", Hoboken, NJ.: Wiley, 2007.

Lawrence, Anthony; "Modern inertial technology : navigation, guidance, and control", New York: Springer-Verlag, 1993.

Rogers, Robert M.; "Applied mathematics in integrated navigation systems" 3rd. ed, Reston, VA., American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007.

Titterton, David H.; Weston, J. L.; "Strapdown inertial navigation technology", 2nd. ed, Reston, VA. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.

Chatfield, Averil B.; Fundamentals of high accuracy inertial navigation, Reston, VA., American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997,

España Martín.; "Fundamentos de la navegación integrada", Edic. AADECA, 2010

## RÉGIMEN DE CURSADA

### Metodología de enseñanza

El curso consta de una parte teórica y otra práctica. La parte teórica se imparte en clases presenciales. Los alumnos disponen de notas del curso previamente. Los trabajos prácticos son formulados en clase y supervisados en horas suplementarias por el ayudante de TPs.

### Modalidad de Evaluación Parcial

Los alumnos que elaboren satisfactoriamente los trabajos prácticos propuestos adquieren el derecho de presentarse a un examen final integrador de la materia. La nota final es un promedio entre las notas de los TPs y el examen final

## CALENDARIO DE CLASES

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<1> 09/03 al 14/03	Introducción y presentación TP1					Biblog del curso
<2> 16/03 al 21/03	Instrumentos inerciales			TP1: Descripción de trayectorias y simulación de mediciones introceptivas y exteroceptivas a bordo de un vehículo en 2 D.		Biblog del curso
<3> 23/03 al 28/03	Orientación en el espacio			TP1: Descripción de trayectorias y simulación de mediciones introceptivas y exteroceptivas a bordo de un vehículo en 2 D.		Biblog del curso
<4> 30/03 al 04/04	Cinemática de orientación			TP1: Descripción de trayectorias y simulación de mediciones introceptivas y exteroceptivas a bordo de un vehículo en 2 D.		Biblog del curso
<5> 06/04 al 11/04	Temas de referencia			TP2: Construcción de un alg. Strap down. Validación con datos sintéticos.	TP1	Biblog del curso
<6> 13/04 al 18/04	Presentación TP2 y TP3			TP2: Construcción de un alg. Strap down. Validación con datos sintéticos.		Biblog del curso
<7> 20/04 al 25/04	Modelos de gravedad y gravitación			TP2: Construcción de un alg. Strap down. Validación con datos sintéticos.		Biblog del curso
<8> 27/04 al 02/05	Ecuaciones cinemáticas			TP2: Construcción de un alg. Strap down. Validación con datos sintéticos.		Biblog del curso
<9> 04/05 al 09/05	Ecuaciones de errores cinemático			TP2: Construcción de un alg. Strap down. Validación con datos sintéticos.		Biblog del curso
<10> 11/05 al 16/05	Propagación de errores cinemáticos			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.	TP2	Biblog del curso
<11> 18/05 al 23/05	Algoritmos "strap-down" I			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.		Biblog del curso
<12> 25/05 al 30/05	Algoritmos "strap-down" II			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.		Biblog del curso
<13> 01/06 al 06/06	Fusión de datos, navegación integrada			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.		Biblog del curso
<14> 08/06 al 13/06	GPS I: Descripción del Sistema			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.		Biblog del curso

Semana	Temas de teoría	Resolución de problemas	Laboratorio	Otro tipo	Fecha entrega Informe TP	Bibliografía básica
<15> 15/06 al 20/06	Navegación inercial-GPS fuertemente integrada			TP3: Construcción de un alg. de navegación integrada y validación con datos reales del avión del SARAT.		Biblog del curso
<16> 22/06 al 27/06	GPS II: Soluciones y Precisiones:				TP3	Biblog del curso

## CALENDARIO DE EVALUACIONES

### Evaluación Parcial

Oportunidad	Semana	Fecha	Hora	Aula
1º	5			
2º	10			
3º	16			
4º				
Observaciones sobre el Temario de la Evaluación Parcial				
Las evaluaciones parciales corresponden a la evaluación de los TPs solicitados por la cátedra.				