

GUÍA DIDÁCTICA DE LA ASIGNATURA: SISTEMAS RADAR

✚ ¿De qué trata?

En esta asignatura vas a conocer y entender los **principios básicos de los sistemas radar**. Estudiaremos qué **tipos de radares** existen, así como las **características** que deben tener en función de la aplicación. Analizaremos las **señales** que se emplean, las técnicas de **captación y detección** de las mismas, así como los métodos de **procesado de señal** más comunes en este tipo de sistemas.

Además podrás estudiar con más detalle el funcionamiento de algunos **radares de características especiales**.

De los 6 créditos que tiene la asignatura, 1.5 se destinarán a la resolución de **problemas** y a la elaboración de un **trabajo de asignatura**.

✚ ¿Dónde se enmarca dentro del plan de estudios?

Se trata de una asignatura **optativa de segundo ciclo**, dentro de la especialidad de **comunicaciones**. En un radar se utiliza un amplio abanico de tecnologías que has estudiado en las asignaturas troncales y obligatorias. Entre las asignaturas más relacionadas se encuentran: **Antenas y Propagación, Microondas, Radiocomunicaciones, Electrónica de Comunicaciones y Tratamiento Digital de la Señal**. No te asustes si estás en cuarto y todavía no has hecho alguna de las asignaturas. Lee antes el siguiente punto.

Entre las optativas, está muy relacionada con **Sistemas de Radionavegación**, que puedes cursar en el semestre de primavera, y en menor medida con **Diseño y Medida de Antenas**.

✚ ¿Qué debería saber antes de empezar?

Para todos: Utilizaremos desde el principio los **conceptos básicos de antenas** como la **directividad**, **diagrama de radiación** y **ancho de haz** de una antena así como las pérdidas de **propagación** en espacio libre, **polarización** de una antena, **temperaturas y factores de ruido...** Por tanto, si no te acuerdas muy bien de algunos de ellos, rescata los apuntes y dales un repaso.

Para analizar las señales que se utilizan en radar, los conceptos que deberías refrescar son: **modulaciones analógicas y digitales**, **conversión analógico-digital**, herramientas como la **transformada de Fourier**, la **autocorrelación** y **correlación cruzada** entre señales y conceptos tan básicos como los **decibelios** y el **ancho de banda**. También aparecerán algunos de los receptores que has visto en **Electrónica de Comunicaciones**, y puntualmente algunos circuitos de **Microondas**.

Si estás en cuarto curso, cursarás esta asignatura simultáneamente con **Microondas**. Esto no te va a suponer ningún problema, porque veremos los circuitos a nivel de bloques funcionales, y los conceptos necesarios se aclararán en clase. Aprovecha la simultaneidad de las dos asignaturas para afianzar conceptos y para relacionar la teoría con una aplicación de la misma.

Si estás en quinto curso, puedes repasar los circuitos pasivos de microondas: divisores, acopladores, híbridos, circuladores... (básicamente recordar qué hace cada uno y para qué sirve).

✚ ¿Qué voy a aprender?

Al terminar la asignatura deberás **comprender** el funcionamiento de cualquier tipo de radar, **conociendo** sus principales aplicaciones. Serás capaz de **evaluar** las prestaciones de un sistema radar, y **analizar críticamente** su adecuación para una aplicación. Asimismo, podrás **diseñar** los parámetros fundamentales de un sistema radar en función de la aplicación: sistema radiante, forma de onda utilizada, tipo de exploración, el receptor y el procesado de señal necesario.

En el trabajo práctico deberás **aplicar** conceptos de la asignatura para **simular** un subsistema del radar, **analizar** los resultados, **sintetizar** la información y **extraer conclusiones con rigor científico**. Si escoges un trabajo más teórico, pondrás a prueba tu capacidad de **selección crítica** y de **síntesis** de la información, así como tus habilidades comunicativas, si expones tu trabajo ante la clase.

En las visitas, tendrás la oportunidad **observar** “in situ” sistemas reales en funcionamiento, y **relacionarlos** con los contenidos de esta y otras asignaturas.

✚ ¿Dónde puedo encontrar más información?

Hay cuatro libros básicos donde puedes consultar y ampliar todos los temas relacionados con la asignatura. Los cuatro están disponibles en la biblioteca del centro.

[1] M. I. **Skolnik**: “Introduction to radar systems”, McGraw Hill, 1980. (Existe una edición más moderna).

[2] N. **Levanon**: “Radar principles”, John Wiley, 1988.

[3] B. **Edde**: “Radar: principles, technology, applications”, Prentice Hall, 1993.

[4] J. L. **Eaves** & E. K. **Reedy**: “Principles of modern radar”, van Nostrand. Reinhold, 1987.

El **Skolnik** [1] es el más completo y autocontenido. Casi todos los temas están bien tratados en él. El **Levanon** [2] puede servir para complementar algunos temas (especialmente los temas IV y V). Finalmente, puedes recurrir al **Edde** [3] y al **Eaves & Reedy** [4] para profundizar en aspectos concretos. Lee la sección siguiente para ver qué libros y capítulos se recomiendan en cada tema.

También dispondrás de una colección de problemas clasificados por temas. En clase se resolverán algunos de ellos. De todos modos, también tendrás el resultado numérico de los problemas, para que puedas comprobar tú mismo si has resuelto correctamente lo que se te pedía.

✚ ¿Y en internet?

Cómo no, también puedes encontrar recursos interesantes, como este curso que tiene una parte importante de radar:

<http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/syllabus.htm>

o este tutorial orientado al radar meteorológico:

http://www.weathertap.com/unprotected/static/radar_tutorial.html

Si navegando por internet, encuentras recursos interesantes, puedes comentárselo al profesor para realizar entre todos una lista más amplia de páginas web de interés.

✚ ¿Qué partes tiene esta asignatura?

La asignatura se divide en cuatro grandes unidades didácticas:

A. Introducción. (2 horas)

Tema I: Introducción al Radar.

B. Conceptos y tecnologías básicas de los sistemas radar. (7-8 semanas)

Tema II: Conceptos Básicos. Radares Pulsados.

Tema III: Radares de onda continua (CW).

C. El entorno y su tratamiento (3 semanas)

Tema IV: Interferencia del entorno.

D. Técnicas avanzadas y aplicaciones especiales. (2 semanas)

Tema V: Radares de compresión de pulsos.

Tema VI: Radares especiales: radares de seguimiento y radares secundarios.

Tema VII: ECM y ECCM

La distribución temporal es **orientativa**, basada en la experiencia de otros años, pero en ningún caso es un objetivo a conseguir. Las tres primeras unidades, aseguran las bases para comprender otros tipos de radares más específicos o avanzados. El ritmo viene marcado por el desarrollo de las clases (comentarios, preguntas, dudas...), dependiendo del interés y la dificultad que encontréis en cada tema. Dependiendo de este ritmo, se tratarán más o menos contenidos en la unidad D.

A. Introducción.

Tema I. Introducción al radar.

En esta primera unidad, definiremos qué se entiende por radar, partiendo de un diagrama de bloques básico. Repasaremos brevemente algunos hitos en la historia de los sistemas radar. Veremos en qué bandas de frecuencia trabajan, y qué implicaciones tiene trabajar a unas u otras frecuencias. Finalmente, podrás ver qué tipos de radar existen, según diferentes criterios de clasificación, así como las aplicaciones de los mismos.

I.1. ¿Qué es un Radar?

I.2. Breve Historia de los sistemas radar.

I.3. Bandas de frecuencia.

I.4. Clasificación de los radares.

I.5. Aplicaciones.

Si quieres saber más sobre la historia y la evolución de estos sistemas, puedes leer estos artículos que se te proporcionarán (no pasa nada aunque no entiendas algunos conceptos, así te irán sonando. Si te los vuelves a leer al final del curso, ya verás todo lo que has aprendido):

- Skolnik, M. I. "Fifty years of Radar". Proc. IEEE, vol 73, pp. 182-197, Feb. 1985.
- "Detection & Ranging. Radar in the twentieth century". IEEE Aerospace & Electronic Systems Magazine. Jubilee Issue. October 2000.

B. Conceptos y tecnologías básicas de los sistemas radar.

En esta unidad comprenderás y aplicarás los conceptos y tecnologías en que se basan los radares.

Tema II. Conceptos básicos del radar. Radares pulsados.

Comenzaremos por un tipo concreto de radares: los radares pulsados, denominados así porque transmiten trenes de pulsos. Utilizaremos este tipo de radares para descubrir y comprender una serie de términos y de conceptos básicos de los sistemas radar en general.

- II.1 Conceptos y principios básicos del radar pulsado.
- II.2 El filtro adaptado.
- II.3 Espectro de la señal del radar pulsado.
- II.4. Diagrama de bloques de un radar pulsado elemental.
- II.5. Ecuación de alcance.
- II.6. RCS (Sección Recta Radar).
- II.7. Caracterización estadística de la RCS.
- II.8. Probabilidad de detección y de falsa alarma.
- II.9. Pérdidas en el sistema.
- II.10. Efectos asociados a la propagación.

Para preparar este tema, puedes repasar los parámetros básicos de las antenas, los receptores, la caracterización del ruido (¿tienes claro qué es el factor de ruido?), las funciones de densidad de probabilidad...

Encontrarás información sobre el tema en los siguientes capítulos de los libros recomendados:

[1] Skolnik: Cap. 2 (conceptos básicos, ecuación del radar, RCS, propagación, pérdidas). Cap. 10 (Filtro adaptado, teoría de la detección, propagación).

[2] Levanon: Cap. 1 (conceptos básicos, ecuación del radar). Cap. 2 (RCS). Cap. 3 (Detección Radar). Cap. 5 (Filtro Adaptado).

[3] Eaves & Reedy: Capítulos 1, 2, 3 y 4 (conceptos básicos, RCS, propagación) y 9 (filtro adaptado).

[4] Edde: Capítulo 4: RCS, Capítulo 5: teoría de la detección.

También se te proporcionará el artículo:

Pinilla, J. La Revolución Stealth. Avión Revue. Nº 162. 1995. para ilustrar las técnicas para reducir la visibilidad radar en el diseño de los *aviones invisibles*.

Tema III. Radares de Onda Continua (CW).

En este tema, veremos radares, que a diferencia de los pulsados, emiten continuamente una señal. Sus características son especialmente adecuadas para estimar velocidades de móviles aprovechando el Efecto Doppler. ¿Te suena una aplicación de estos tipos de radares? Si modulamos la señal adecuadamente, se puede estimar simultáneamente la posición y la velocidad de un objeto. Veremos diferentes tipos de radares y sus aplicaciones.

- III.1. Introducción.
- III.2. Efecto Doppler.
- III.3. Determinación de la velocidad radial. Radar CW.
- III.4. Radares de CW modulados en frecuencia (CW-FM).
- III.5. Radares de CW modulados en fase (CW-PM).
- III.6. Ecuación de alcance radar en radares de CW.
- III.7. Aplicaciones de los radares de CW.

Para preparar este tema, puedes repasar el efecto Doppler (aunque lo veremos de nuevo) y especialmente la modulación FM (¿recuerdas qué aspecto tiene el espectro de una señal modulada en frecuencia?).

Más información en:

- [1] **Skolnik**: Capítulo. 3.
- [2] **Levanon**: Capítulo. 1.
- [3] **Eaves & Reedy**: Capítulo 13.
- [4] **Edde**: Cap. 6 (6.4 y 6.5).

C. El entorno y su tratamiento.

En esta unidad estudiaremos el efecto negativo que puede tener el entorno (lluvia, montañas, la tierra, el mar...) en las prestaciones de un radar, y cómo se puede tratar la señal para reducir su influencia.

Tema IV. Interferencia del entorno.

La señal recibida por un radar, contiene información deseada sobre el entorno, pero también interferencias de objetos no deseados. A estas interferencias se las llama “clutter”. En este tema, veremos qué tipos de clutter pueden aparecer (según la aplicación), cómo caracterizarlos, y sobre todo, qué sistemas podemos diseñar para minimizar su efecto en las prestaciones del radar.

- IV.1 Introducción.
- IV.2 Clutter volumétrico.
- IV.3 Clutter de superficie.
- IV.4 Caracterización del Clutter.
- IV.5 Sistemas Anticlutter.
- IV.6 Receptores CFAR.
- IV.7 Extractores.
- IV.8 Sensitivity Time Control (STC)
- IV.9 Moving Target Indicator (MTI)
- IV.10 Radares Doppler pulsados
- IV.11 Sistema MTD (Moving Target Detector).

En este tema se emplearán algunas técnicas estadísticas y de procesamiento de señal que ya conoces (teoría de la detección, diseño de filtros, muestreo, FFTs). Más información sobre clutter y sistemas anticlutter en

[1] Skolnik: Cap. 4 (Sistemas anti-clutter: MTI y radar doppler pulsado), 10 (detección de señales en ruido) y 13 (caracterización del clutter).

[2] Levanon: Cap. 4 (clutter), 10-11 (MTI) y 12 (CFAR muy completo).

[3] Eaves & Reedy: Capítulos 10 (caracterización del clutter), 12 (CFAR) y 14 (MTI y radar doppler pulsado).

[4] Edde: Cap. 4 (4.11-4.14, caracterización), 5 (5.5 CFAR), y 11-12 (procesado de señal, MTI).

D. Técnicas avanzadas y aplicaciones especiales.

En este punto, habrás adquirido los conocimientos necesarios para comprender el funcionamiento de la mayor parte de los sistemas radar. En esta unidad didáctica estudiaremos en la medida en que el tiempo lo permita, la técnica denominada de “compresión de pulsos” para aumentar la resolución longitudinal de un radar pulsado, y dos aplicaciones específicas con características peculiares. Los radares de seguimiento y los radares secundarios (como los que hay en los aeropuertos).

Tema V: Radares de compresión de pulsos.

En este tema veremos cómo modulando la señal de un radar pulsado, podemos conseguir mejorar la resolución del mismo sin perder alcance. También aprenderás a evaluar las características de una señal en cuanto a su resolución en la determinación de posiciones y velocidades. Los conceptos que aquí verás requieren procesamiento de señal avanzado. Sin embargo, dado lo reducido del tiempo disponible, se planteará de una forma intuitiva y descriptiva, quedando el formalismo matemático para quien esté interesado en ampliar sus conocimientos sobre el tema.

V.1 Introducción.

V.2 Ecuación de Alcance de un Radar de Compresión de Pulsos.

V.3 Representación compleja de señales paso banda.

V.4 Función de ambigüedad y sus propiedades.

V.5 Función de Ambigüedad de señales básicas.

V.6 Función de Ambigüedad de señales codificadas discretas.

V.7 Bibliografía.

[1] Skolnik. Capítulo 11.

[2] Levanon. Capítulos 6, 7, 8 y 9 (muy bien tratado).

[3] Eaves & Reedy, Capítulo 15.

[4] Edde. Capítulo 13 (13.1-13.5).

Tema VI: Radares especiales: radares de seguimiento y radares secundarios.

En este tema se **describirán** dos tipos especiales de radares, los de seguimiento y los secundarios.

Los radares de seguimiento son aquellos en los que una vez detectado un blanco, la antena trata de seguir continuamente el movimiento del blanco. En este tema, podrás conocer y comprender varias técnicas para conseguir que la antena gire en la dirección adecuada.

Por otra parte, también veremos los radares secundarios, que se utilizan especialmente en los aeropuertos. En este sistema, el radar envía interrogaciones, y el blanco responde mediante un transpondedor. Veremos las características, ventajas e inconvenientes de estos radares, así como una descripción de las señales empleadas.

VI.1. Introducción.

VI.2. Radares de Seguimiento (tracking).

VI.2.1. Conmutación de Lóbulos.

VI.2.2. Exploración Cónica.

VI.2.3. Radares Monopulso.

VI.3. Radares de Vigilancia Secundaria (SSR).

VI.3.1. Introducción a SSR.

VI.3.2. Descripción del Sistema.

VI.3.3. SSR Monopulso.

VI.3.4. SSR Modo S.

Este tema es muy descriptivo, y no requiere más conocimientos previos que los adquiridos en la propia asignatura.

[1] **Skolnik**: Cap. 5 (seguimiento) y 14.3 (secundario).

[2] **Levanon**: Cap. 14 (seguimiento).

[3] **Eaves & Reedy**: Cap. 17, 18 y 19 (seguimiento).

[4] **Edde**: Cap. 7 (seguimiento) y 14.4 (secundario).

Tema VII: ECM y ECCM.

Son las siglas de contramedidas electrónicas y contra-contramedidas electrónicas. Se trata de las medidas que se pueden tomar para evitar ser detectado por un radar, y lo que el radar puede hacer para evitar que el blanco evite ser detectado... Su aplicación es evidentemente la guerra electrónica. Normalmente, no da tiempo a verlo, así que si estáis interesados, podéis proponerlo como trabajo y exponerlo en clase.

La información de este tema está bastante dispersa en los libros de la bibliografía. Para un estudio en profundidad, se recomienda:

[5] Scheher, C. “Introduction to electronic warfare”. Artech House. 1986.

o el tutorial

<http://www.goldcrows.org/ewtutor1.html>

✚ ¿Cómo van a ser las clases?

Las clases consistirán en la exposición teórico-práctica de los contenidos por parte del profesor, intercalada con diálogos y argumentaciones participativas sobre las preguntas, comentarios y curiosidades que se planteen de forma bidireccional (por el profesor o los alumnos). Puntualmente, se dedicará tiempo a realizar algunas tareas en pequeños grupos.

En los primeros 4 temas, donde se tratan los aspectos más técnicos de la tecnología radar, las exposiciones se basarán mayoritariamente en el uso de la pizarra, con transparencias de apoyo (gráficas, esquemas, diagramas de bloques). En los temas 5 y 6, que son más descriptivos y aplicados la clase se basará más en transparencias. Se dedicará también tiempo a la resolución de problemas.

¿Y las prácticas?

La asignatura tiene 15 créditos prácticos. Además de algunas horas que dedicaremos a hacer problemas, la parte práctica de la asignatura consiste en un trabajo de simulación (en Matlab o C) de un subsistema de un radar a elegir entre varios propuestos, comparar los resultados de la simulación con lo que predice la teoría, y extraer conclusiones. Además de correcta simulación y respuesta a las preguntas planteadas, se

valorará positivamente la capacidad de síntesis (número limitado de páginas), de interpretar resultados y extraer conclusiones, y la iniciativa para realizar “otras pruebas” distintas a las sugeridas en el guión.

Los sistemas propuestos son:

- Simulación de sistemas OS-CFAR
- Simulación de sistemas CA-CFAR
- Simulación de un detector de rango y detector de rango modificado
- Simulación de un CFAR mapa de clutter.
- Cálculo de la RCS.
- Simulador de un detector cuadrático de fase y cuadratura.

Si tienes otra propuesta de trabajo, háblalo con el profesor.

También puedes hacer un trabajo de documentación y síntesis, sobre aspectos que no se hayan tratado en clase como:

- Dispositivos: transmisores, amplificadores, duplexores, circuladores... utilizados en los sistemas radar.
- Guerra electrónica: ECM y ECCM.
- Radares de apertura sintética (SAR).

...

¿Realizaremos alguna visita?

En efecto, están programadas en principio dos visitas, financiadas por el Departamento, junto con los alumnos de Sistemas de Radionavegación y Diseño y medida de antenas. La primera, en otoño, al INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) en Madrid, y la segunda en primavera, a la Base Aérea de Zaragoza (Estate atento en el segundo semestre para no perdértela). Ambas son muy recomendables.

La visita al INTA girará sobre todo entorno al diseño y medida de antenas, y también podrás ver cómo procesan las imágenes de un Radar de Apertura Sintética (SAR). podrás ver distintos aspectos, sobre todo alrededor.

Por su parte, en la visita a la Base Aérea de Zaragoza, podrás ver los radares que llevan los F-18, los radares de vigilancia primario y secundario de la Base (y del aeropuerto), y los radares de aproximación de precisión (PAR). Además, podrás subir a la cabina de un F-18, ver el simulador donde entrenan los pilotos, la sala de control aéreo y otros sistemas de radionavegación situados en la Base.

✚ ¿Cómo será la evaluación?

La nota que saques en el **examen final** vale el **80%** de la **nota final**, siempre que sea superior a un 4. El **trabajo práctico** de la asignatura tendrá un valor del 20%. Adicionalmente, se valorará positivamente el **trabajo continuado**: puedes entregar los problemas, desarrollos, ampliaciones que se vayan proponiendo como ejercicio. De esta manera, si has aprobado, puedes **incrementar tu nota hasta en un punto**.

El examen final consta de dos partes, donde cada una vale el 50%. La primera consta de **10 cuestiones breves**, que pueden ser teóricas, descriptivas o numéricas (microproblemas). Para resolverlas debes tener claros los **conceptos básicos** de la asignatura. La segunda consta de **2 ó 3 problemas**, con varios apartados de dificultad variable. Para preparar esta parte, puedes practicar con la **colección de problemas** que se entregará.

Al examen no podrás llevar apuntes, libros, tablas o formularios y debes ir con una calculadora no programable. Por supuesto, no está permitido ni copiar ni hablar con ningún compañero durante el examen.

✚ ¿Quién será el profesor?

Juan Pablo Martínez Cortés.

Despacho **2.05**, en la **2ª planta** del edificio **Ada Byron**.

Puedes acudir a él para resolver cualquier duda,

los martes y miércoles de 9 a 12 h.

Para contactar con él:

Teléfono: 976 76 23 63.

jpmart@unizar.es

Para más información:

<http://www.unizar.es/indotec/sistemasradar/>

InDoTeC