

PLANO DE ENSINO

Identificação da disciplina
Código e nome da disciplina: UFSM00271 TÉCNICAS DE RADAR
Curso: Engenharia de Telecomunicações
Turma: 10_316
Docente responsável: Fernando Cesar Comparsi De Castro
Ano/período: 2026/I
Objetivos da disciplina (de acordo com o projeto pedagógico do curso):
Compreender, modelar, simular e analisar técnicas básicas para implementação de radares ativos e passivos.
Carga horária: 60 horas – aula
Conteúdo programático (de acordo com o projeto pedagógico do curso): Classificação de sistemas de radar. Range, seção transversal do alvo (RCS - radar cross section), ruído e mínimo sinal detectável. Ambiguidade de range. Coerência, desvio Doppler, ambiguidade de Doppler. Resolução de range, Doppler e ângulo. Compressão de pulso, matched filter e Função de Ambiguidade. MTI (moving target indication). Detecção de alvo - algoritmo Constant False Alarm Rate (CFAR). Rastreamento (tracking) do alvo. Efeitos ambientais na propagação da onda EM. Reflexão da onda EM no solo. O efeito do multipercurso no sinal do eco do alvo. Refração da onda EM na troposfera. Ângulo de elevação e range aparentes. Beam spreading. Dutos atmosféricos. Difração da onda EM na superfície terrestre. Atenuação da onda EM na atmosfera. Atenuação da onda EM por chuva. Atenuação da onda EM por nuvem e/ou nevoeiro. O RX, o TX e a antena de um sistema de radar. Radar passivo bistático. Fontes de iluminação. Antenas receptoras. Supressão do sinal direto. Processamento rangeDoppler (função de ambiguidade). Determinação do DOA (Direction of Arrival) do eco do alvo. Localização do alvo. Delay profile dos ecos. Modelamento, simulação e análise de sistemas de técnicas de radar.
Bibliografia básica (de acordo com o projeto pedagógico do curso): • SKOLNIK, Merrill Ivan, Introduction to Radar Systems 3rd, McGrawHill, 2001. • MANOLAKIS, Dimitris G. Statistical and Adaptive Signal Processing: Spectral Estimation, Signal Modeling, Adaptive Filtering, and Array Processing Artech House, 2005. • BALANIS, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design 4th, Wiley, 2016.
Bibliografia complementar (de acordo com o projeto pedagógico do curso): • ULABY, Fawwaz, Microwave Remote Sensing : Active and Passive, Artech House, 1986. • CUMMING, Ian G. Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation 2nd, Artech House, 2005
Bibliografia auxiliar: • Material didático disponibilizado em http://www.fccdecastro.com.br/download.html.
Descrição do plano
Metodologia: Aulas expositivas com conteúdo ministrado através de texto didático em formato pdf disponibilizadas em http://www.fccdecastro.com.br/download.html. São apresentados conceitos teóricos e aplicações. Ao final de cada módulo relevante do conteúdo um conjunto de exemplos e exercícios é resolvido. Um conjunto adicional de exercícios e problemas é sugerido ao aluno como <i>homework</i> para serem resolvidos no âmbito do paradigma <i>computer-assisted problem solving</i>. Para a matéria de cada uma das duas provas P1 e P2 haverá um conjunto de exercícios e problemas a ser resolvido a título de <i>homework</i>. A solução dos referidos problemas e exercícios pelo aluno corresponderá à 10% do grau final.
Cronograma <u>estimado</u> de atividades:

	Atividade
03/03	Apresentação da disciplina UFSM00271 TÉCNICAS DE RADAR.
05/03	(Capítulo I) Introdução. Aspectos históricos. Classificação de sistemas de radar. Classificação por frequência operacional. Classificação por tipo de waveform. Classificação por tipo de aplicação. Classificação por configuração espacial das estações transmissoras (TX) e receptoras (RX). Configuração monostática. Configuração bistática. Configuração multistática (exemplo com 1TX e 3RXs).
10/03	<i>Range</i> . <i>Range</i> e RCS (<i>radar cross section</i>) do alvo. Equação do <i>range</i> . Máximo alcance de detecção de um alvo (<i>target maximum detection range</i>). Exemplo 1. O efeito do ruído no mínimo sinal detectável. Exemplo 2.
12/03	Equação do <i>range</i> do radar bistático. Máximo <i>range</i> de detecção do alvo para um radar bistático. Exemplo 3.
17/03	Ambiguidade de <i>range</i> para um radar monostático. Radares não-coerentes e radares coerentes. Desvio Doppler. Ambiguidade de Doppler. Resolução. Resolução de <i>range</i> . Resolução de Doppler. Resolução de ângulo.
19/03	Compressão de pulso. <i>Stepped frequency waveform compression</i> . Exemplo 4.
24/03	Exemplo 5.
26/03	Compressão de pulso por código de Barker. Exemplo 6.
31/03	Compressão de pulso por sequência PN (<i>pseudo-noise</i>). Exemplo 7. Compressão de pulso por código de Frank.
02/04	Compressão de pulso por <i>stretch processing</i> . Exemplo 8.
07/04	Compressão de pulso por <i>matched filter</i> . Exemplo 9. Exemplo 10.
09/04	Filtro MTI (<i>moving target indication</i>). Insensibilidade do filtro MTI a alvos movendo-se em velocidades cegas. Exemplo 11.
14/04	Detecção de alvos – algoritmo <i>Constant False Alarm Rate</i> (CFAR). CA-CFAR (<i>cell averaging</i> – CFAR). CAGO – CFAR (<i>cell averaging greatest of</i> – CFAR). CASO – CFAR (<i>cell averaging smallest of</i> – CFAR). OS – CFAR (<i>ordered statistic</i> – CFAR). Exemplo 12.
16/04	<i>Target tracking</i> (rastreamento do alvo). O ciclo de <i>tracking</i> . <i>Track filters</i> – introdução. O filtro $\alpha - \beta$. Exemplo 13.
21/04	FERIADO
23/04	O filtro $\alpha - \beta - \gamma$. Exemplo 14.
28/04	O filtro de Kalman unidimensional. O filtro de Kalman para <i>target tracking</i> em 3 dimensões. Processo iterativo efetuado pelo filtro de Kalman. Exemplo 15. Exemplo 16. O filtro de Kalman adaptativo. Exemplo 17.
30/04	Minimizando o problema de lentidão da resposta do filtro de Kalman – métodos adaptativos Épsilon e Sigma. Exemplo 18. Exemplo 19.
05/05	Homeworks p/ a prova P1.
07/05	Prova P1
12/05	(Capítulo II) Efeitos ambientais na propagação da onda EM. Reflexão da onda EM no solo. Coeficiente de reflexão da onda EM para superfície sem rugosidade. Exemplo 1. O fator de divergência <i>D</i> da onda EM devido à curvatura da Terra. Exemplo 2. O fator de rugosidade <i>S_r</i> da superfície terrestre. Exemplo 3.
14/05	O efeito do multipercurso no sinal do eco do alvo. Exemplo 4. Exemplo 5.
19/05	Refração da onda EM na troposfera. Ângulo de elevação aparente. Exemplo 6. Range aparente. Exemplo 7. Dispersão do feixe da onda EM (<i>beam spreading</i>). Exemplo 8.
21/05	Dutos atmosféricos. Difração da onda EM na superfície terrestre. Exemplo 9. Atenuação da onda EM na atmosfera. Exemplo 10. Atenuação da onda EM por chuva. Exemplo 11. Atenuação da onda EM por nuvem e/ou nevoeiro. Exemplo 12.
26/05	A antena de um sistema de radar. Exemplo 13.
28/05	O TX e o RX de um sistema de radar. Superheterodyne Radar System. Direct Conversion Radar System. Direct Conversion & RF Sampling (DCRFS) Radar System.
02/06	(Capítulo III) Introdução ao radar passivo bistático (PBR – passive bistatic radar). Aspectos históricos. Fontes de iluminação. Iluminadores na faixa de 88-108MHz – o sinal de emissoras de FM comerciais. Antenas receptoras. Supressão do sinal direto. Processamento <i>range</i> -Doppler (função de ambiguidade).
04/06	FERIADO
09/06	Detecção dos alvos via algoritmo CFAR. Determinação do DOA (<i>Direction of Arrival</i>) do eco do alvo. Localização do alvo.
11/06	<i>Delay profile</i> dos ecos. Exemplo. Simulação da operação do radar passivo. Exemplo.
16/06	Homeworks p/ a prova P2 (Cap III).
18/06	Homeworks p/ a prova P2 (Cap II).
23/06	Prova P2

25/06	Dúvidas sobre a matéria do EXAME.
30/06	EXAME
02/07	Avaliação EXAME
07/07	ADAPTAÇÃO ACADÊMICA: dia da semana considerado como SABADO
10/07	ENCERRAMENTO DIARIOS DE CLASSE

Atividades práticas:

Simulação e análise de blocos funcionais e situações operacionais de sistemas de radar utilizando o software MathCad e/ou o software Matlab. Estas atividades referem-se aos *homeworks* a serem resolvidos no âmbito do paradigma *computer-assisted problem solving* – vide seção “Metodologia”.

Critérios de avaliação:

$$\text{GrauFinal} = \frac{4.5P1 + 4.5P2 + H}{10}$$

onde

o valor do GrauFinal será atribuído ao valor do grau da “Primeira Avaliação” e simultaneamente ao valor do grau da “Segunda Avaliação” no sistema de registro de notas da UFSM.

Graus P1 e P2: Graus respectivamente referentes à solução das provas P1 e P2, provas que serão resolvidas de forma **individual** no domicílio do aluno.

Diretrizes p/ as provas P1 e P2: O enunciado da prova será enviado ao e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM, a partir do e-mail fccdecastro@outlook.com. A data da entrega da solução da prova estará especificada no enunciado da mesma e a solução deverá ser enviada para o e-mail fccdecastro@outlook.com a partir do e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM.

A solução das questões deve ser feita de forma **manuscrita**, exceto os gráficos. **Cada gráfico (se houver), deve ser plotado (não serão aceitos gráficos desenhados à mão).**

A avaliação da solução da prova será baseada **no que for explicitado de forma manuscrita na solução da prova e no que for expresso e contextualizado nos gráficos** (se houver gráfico).

A solução da prova deve ser enviada em arquivo formato **pdf**. Atentar para a iluminação, contraste e resolução da cópia da solução manuscrita, para efeito de ser garantida a legibilidade da mesma.

Os gráficos deverão ser incluídos ordenadamente no arquivo pdf da cópia da solução manuscrita. Excepcionalmente, caso não seja sabido como efetuar a inclusão dos gráficos, entregar os mesmos separadamente (.jpg, .png ou .tif) referenciando coerentemente os respectivos arquivos na cópia da solução manuscrita. Não serão aceitas referências à gráficos que não estejam no formato .jpg, .png ou .tif.

Em sendo recebido o e-mail do aluno referente à solução da prova, um *reply* de confirmação do recebimento será enviado ao e-mail do aluno a partir do e-mail fccdecastro@outlook.com.

Ordenar sequencialmente os procedimentos/resultados parciais de forma coerente, mantendo a relação causa–consequência no encadeamento sequencial das ideias expressas na escrita da solução da prova. Cada resultado/valor numérico deve ser acompanhado da respectiva unidade dimensional (se houver), e deve ser precedido da equação analítica/algébrica que deu origem ao resultado. Cada equação analítica/algébrica deve ser precedida da identificação dos valores numéricos que foram utilizados na equação.

Não serão pontuadas as soluções parciais e/ou globais que apresentarem somente o resultado sem o devido desenvolvimento analítico/algébrico. Cada gráfico (se houver) deve ser apresentado com uma legenda descrevendo o seu significado e a sua interpretação no contexto da solução do item da questão.

Deve ser entregue juntamente com a solução de cada questão o **arquivo original** do *script*, *workspace*, código fonte, etc. do software utilizado para solucionar a questão. **Não será pontuada a solução de questão em que for entregue somente o script, workspace, código fonte, etc., sem incluir o devido desenvolvimento referido nas diretrizes acima.**

Atentar para a individualidade da solução da prova: Itens da solução da prova que forem absolutamente idênticos em duas provas não serão pontuados em ambas.

A correção/avaliação das provas será enviada em formato pdf ao e-mail do aluno registrado no sistema da UFSM.

Grau H - Homeworks: Grau referente à média aritmética obtida na solução do conjunto de todos os exercícios e problemas propostos em aula como *homeworks*, exercícios e problemas que são pertinentes e respectivos à matéria ministrada para as provas P1 e P2.

O enunciado de cada *homework* será enviado por e-mail aos alunos em momentos oportunos ao longo do semestre letivo. A solução do *homework* deverá ser entregue na data indicada no enunciado do mesmo e deve seguir as mesmas diretrizes para a solução e entrega das provas P1 e P2 explicitadas em “**Diretrizes p/ as provas P1 e P2**” acima.

Homework, prova e/ou exercício entregue fora do prazo: Será aplicado o fator 0.8^d à nota final do mesmo, sendo d o número de dias de atraso na entrega, incluindo dias úteis e não-úteis transcorridos até a entrega.

Informações complementares:

O docente responsável está à disposição dos alunos através do e-mail fccdecastro@outlook.com.

Página para download de material didático: <http://www.fccdecastro.com.br/download.html>