

SISTEMAS DE RÁDIO DEDICADOS

Nuno Borges de Carvalho

(Professor Associado)

Universidade de Aveiro

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática

Fevereiro de 2009

ÍNDICE

Índice.....	3
1 - Introdução	5
1.1 - Motivação e enquadramento da disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados	6
2 - Objectivos da Disciplina de Sistemas de Rádios Dedicados.....	8
3 - Concretização	11
3.1 - Escolaridade	11
3.2 - Programa de Sistemas de Rádio Dedicados.....	12
3.2.1 - Resumo do Programa.....	12
3.2.2 - Programa detalhado da componente teórica de SRD e sua justificação	15
CAPÍTULO 1. - INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE RÁDIO COMUNICAÇÃO DEDICADA.....	17
CAPÍTULO 3. ARQUITECTURAS DE RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO.....	24
CAPÍTULO 4. TÉCNICAS ESPECIAIS DE MODULAÇÃO E ACESSO MÚLTIPLO PARA SISTEMAS DE RÁDIO AVANÇADAS.....	31
CAPÍTULO 5. SISTEMAS DE RÁDIOS DEDICADOS.....	34
CAPÍTULO 6. PROJECTO DE SISTEMAS DE RÁDIOS DEDICADOS.....	38
3.2.3 - Programa Detalhado da Parte Prática de SRD e Sua Justificação.....	40
3.3 - Enquadramento no Plano de Estudos do Curso.....	42
3.3.1 - Requisitos	42
3.4 - Bibliografia	44
3.5 – Material de Apoio Extra.....	46
4 - Métodos de Avaliação da Disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados.....	48
4.1 - Avaliação da Parte Teórica	48
4.2 - Avaliação da Parte Prática	49
5 - Anexos	50
5.1 – Exame Tipo.....	51

5.2 – Acetatos teóricos.....	53
------------------------------	----

1 - INTRODUÇÃO

Pretende-se descrever neste relatório a disciplina de Sistemas de Rádios Dedicados, SRD. Nele se incluem o programa, o conteúdo e os métodos de ensino, teórico e prático, da referida disciplina.

A disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados, foi oferecida, como cadeira de opção, ao 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações.

Esta disciplina surgiu como forma de complementar a formação dos alunos numa área usualmente não coberta, que é a camada física de sistemas rádio. Decidiu-se chamar-se á disciplina Sistemas de Rádio Dedicados (do inglês dedicated radio communications), porque se pretende formar e abordar temas que não são usualmente abordados em disciplinas tipo de comunicações via rádio, que na maioria das vezes estão centradas em sistemas de comunicações móveis ou links de microondas.

Pretende-se nesta disciplina que o aluno consiga compreender conceptualmente como construir um transceptor rádio para aplicações específicas, como sejam RFID (Radio Frequency Identification), WSN (Wireless Sensor Networks), UWB (Ultra Wide Band), etc. Como todas as outras disciplinas opcionais do curso, tem uma escolaridade semanal de 3 horas teórico-prática, tendo sido preparada com base nestes pressupostos. Enquadra-se num conjunto mais alargado de disciplinas de opção¹ que se destinam, fundamentalmente, a proporcionar aos alunos formação avançada em sistemas de radiofrequência. As suas matérias situam-se, assim, numa franja de sobreposição entre as áreas científicas da electrónica e das telecomunicações, já que tanto podem ser encaradas do ponto de vista estrito do estudo dos sistemas electrónicos para telecomunicações via rádio, como abordando partes do nível físico de inúmeros sistemas de telecomunicações.

Optou-se por dividir o relatório em quatro partes distintas.

¹ Para além de Sistemas de Rádio Dedicados, contam-se dentro deste conjunto de disciplinas de opção Electrónica de Rádio Frequência, Planeamento de Comunicações Móveis, Antenas e Comunicações sem Fios.

O primeiro capítulo - Introdução - é um capítulo de enquadramento onde se apresenta a disciplina e se discute as razões que motivaram a criação de tal cadeira.

O capítulo seguinte - Objectivos da Disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados - identifica os objectivos gerais de formação dos alunos, que se pretende ver atingidos.

A terceira parte do Relatório - Concretização - descreve a realização particular da disciplina agora proposta, seguindo o formato das disciplinas opcionais do curso. Nela se descreve o enquadramento da disciplina no plano de estudos, tendo em conta a formação necessária obtida em disciplinas precedentes. É ainda apresentado, pormenorizadamente, o programa proposto para a disciplina, a justificação e objectivos específicos de cada capítulo, a bibliografia de apoio e complementar, e os métodos de ensino da parte teórica e prática, dada a escolaridade prevista para uma disciplina de opção.

Finalmente no último capítulo - Métodos de Avaliação da Disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados - apresentam-se os formatos propostos para a avaliação de ambas as partes teórica e prática, de acordo com o prescrito a este respeito no Regulamento de Estudos de Pós-graduação da Universidade de Aveiro.

1.1 - MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO DA DISCIPLINA DE SISTEMAS DE RÁDIO DEDICADOS

No cenário actual das comunicações rádio os sistemas usualmente referidos pela palavra anglo-saxónica de “*wireless*” são os sistemas preferenciais para comunicação de informação.

Devido ao défice de formação dos alunos nesta área, propôs-se uma disciplina de opção de 5ºAno com o nome de Sistemas de Rádio Dedicados, pois assume-se que a formação específica nesta área é de grande valor profissional e pessoal para os alunos do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática.

Se se tiver em conta a formação a nível de 4º ano em termos de sistemas de radiofrequência, verifica-se que poderia ser maior, podendo-se resumir a algumas cadeiras específicas, nas quais se leccionam os conhecimentos básicos, caso disso são:

Propagação de Ondas Electromagnéticas e Antenas e Guias de Onda na qual se apresentam os princípios dos mecanismos de propagação quer em meio guiado, quer em meio livre e seu interface,

Antenas, e Fundamentos de Telecomunicações I-II na qual se lecciona formação de nível básico em técnicas de modulação e técnicas de acesso múltiplo.

Esta formação de nível básico é uma primeira abordagem aos sistemas de comunicação, os quais irão servir de base para a cadeira de SRD.

No entanto continua a existir uma lacuna na componente de comunicações rádio, muito especialmente na abordagem de conhecimentos que permitam a um engenheiro de rádio projectar, identificar e reparar sistemas de comunicações via rádio.

Actualmente o projecto de sistemas de comunicação passa em grande parte pela integração de sistemas mais do que pelo projecto de todos os circuitos e subsistemas a utilizar, além disso e enquadrando a cadeira no âmbito profissional português, na qual a função de um engenheiro de rádio é preferencialmente a de integrar e manter uma rede de comunicações activa e sem falhas, é fundamental o conhecimento inerente de todo o sistema, desde um ponto de vista físico a um ponto de vista lógico.

Sendo assim, e tendo em conta as actuais propostas de cadeiras na área de rádio em sistemas de telecomunicações: Electrónica de Rádio Frequência, Planeamento de Comunicações Móveis, Sistemas de Comunicação sem Fios, Comunicações sem Fios e Antenas, pretende-se que esta disciplina de opção integre os diversos conhecimentos obtidos nas cadeiras prévias e sirva como complemento à oferta na área das comunicações rádio, dando uma visão geral de sistema à luz dos diversos conceitos adquiridos.

2 - OBJECTIVOS DA DISCIPLINA DE SISTEMAS DE RÁDIOS DEDICADOS

O principal objectivo da cadeira de opção SRD é fornecer uma visão integradora de todos os conhecimentos adquiridos pelos alunos no decorrer dos 4 anos de estudo na área de rádio comunicações.

Tendo noção do futuro enquadramento dos alunos no mercado do trabalho, preparou-se e construiu-se esta disciplina tendo em mente a componente científica e técnica especializada da disciplina, como a formação fundamental necessária para o bom desempenho do futuro engenheiro e investigador.

Nesta disciplina é dada mais ênfase à camada física no modelo OSI, abordando-se brevemente as camadas superiores no últimos capítulos de estudo específico de alguns sistemas de rádio comunicações.

O principal objectivo da cadeira de opção de sistemas de rádio dedicados é fornecer uma visão de rádio dedicados a casos particulares de comunicação.

Pretende-se que o aluno seja capaz de projectar e discutir um sistema de rádio para uma rede de sensores, ou para um sistema de RFID, ou ainda para uma área emergente de UWB.

As arquitecturas deste tipo de rádios são completamente diferentes do tradicional super-heterodino, exemplo disso o uso de pulsos temporais nos sistemas UWB, o uso de sistemas backscatter em sistemas RFID, rádios adaptativos (agile radios), etc.

Pretende-se assim explicar este tipo de evolução natural das comunicações rádio actuais integrando blocos de componentes electrónicos e dar ao aluno uma visão integradora de como construir um simples sistema de rádio dedicado, tendo por base os diversos blocos integradores existentes no mercado.

Por isso a cadeira de SRD, versa uma abordagem de sistema, em que o objectivo é a minimização da probabilidade de erro de bit numa comunicação via rádio. Ou seja, pretende-se projectar e analisar toda a cadeia tendo em mente a minimização de erros nos bits transmitidos.

Desse modo relacionam-se vários factores de mérito que são específicos da engenharia de rádio com alguns factores de mérito utilizados na análise banda base.

O aluno ficará assim consciente dos pontos mais sensíveis da cadeia, de modo a ser possível a sua optimização e posterior implementação de soluções que minimizem estes problemas. Por isso a disciplina começa por descrever as técnicas de modulação mais utilizadas nestes tipos de sistemas, e a definição de grandezas usuais em comunicações banda base. A seguir introduzem-se progressivamente não idealidades de modo a ser possível a compreensão do seu impacto na deterioração da comunicação.

Pretende-se que o aluno seja capaz de definir quais os blocos fundamentais de um sistema de comunicações rádio, desde o sistema mais simples de difusão rádio, até aos sistemas recentes. Os conceitos de acesso múltiplo, modulação, factores de mérito específicos destes sistemas e suas principais limitações, deverão ser uma meta a atingir pelos alunos.

Esta tarefa de construção de um sistema rádio actual exige uma panóplia bastante elevada de pontos a versar, que vão desde o conhecimento da teoria das comunicações ao conhecimento da electrónica analógica e digital, a qual tem um impacto muito importante nos últimos tempos devido ao aparecimento de tecnologias baseadas em *Software Defined Radio*.

Por isso o processo de aprendizagem toca os fundamentos dos conhecimentos em teoria da comunicação, electrónica e sistemas digitais.

No final do curso pretende-se que o alunos seja capaz de :

1. Explicar a diferença entre os diversos sistemas de rádio existentes;
2. Compreender os diversos factores de mérito definidos para cada bloco da cadeia do sistema de rádio;
3. Descrever e explicar cada bloco do sistema rádio;
4. Identificar as necessidades do serviço a implementar e propor soluções de rádio tendo por base configurações existentes no mercado;
5. Compreender as especificidades dos transceptores rádio, sejam eles analógicos ou digitais;
6. Projectar e Construir transceptores de radiofrequência.

3 - CONCRETIZAÇÃO

Em nossa opinião, o programa que é proposto para a disciplina de SRD, tanto poderia ser oferecido numa disciplina obrigatória do 4º Ano de uma qualquer pós-graduação em Eng. Electrotécnica, ramo de Electrónica e Telecomunicações, como numa disciplina de Opção. Com efeito, os requisitos exigidos aos alunos, em termos de conhecimentos prévios de Electrónica Geral e de Teoria de Sistemas, são, geralmente, apresentados ao nível dos 1º ciclos. Por outro lado, existem alguns exemplos de *curricula* onde estes assuntos são tratados a nível do 4º ano, do 5º ano, ou mesmo até em cursos de pós graduação.

3.1 - ESCOLARIDADE

De acordo com o plano de estudos de pós-graduação, actualmente em vigor, uma disciplina de Opção de 5º Ano exige um esforço equivalente a 6 ECTS. Neste caso adoptou-se uma escolaridade semanal do tipo 0 2 1, i. e., 2 horas de aulas teórico-práticas e 1 hora prática.

Nesta disciplina optou-se por permitir uma maior flexibilidade nas aulas teórico-práticas, não as tornando exclusivamente expositivas, mas permitindo não só a intervenção dos alunos na exposição da matéria, assim como a resolução, sempre que possível, de um problema exemplificativo por aula expositiva.

Obviamente que este modelo só é possível de implementar em cadeiras tipo opção, em que se espera turmas com um máximo de 20 alunos. Acima deste valor, torna-se inviável esta abordagem, convertendo-se assim numa desvantagem a utilização de uma única aula teórico-prática para a formação.

A componente prática da disciplina, baseia-se numa aula semanal de 1 hora e aborda a implementação de um mini-projecto associado à temática das rádio comunicações. Pretende-se que o aluno consiga utilizar na prática os assuntos discutidos nas aulas teóricas.

A opção de uma única hora prática, está relacionada com a visão do docente para as componentes práticas, em que o ensino é muito mais focado na aprendizagem do aluno e não na exposição de conhecimentos, ou seja espera-se que o aluno nesta componente prática utilize esta hora para discutir problemas e potenciais soluções obtidas aquando do seu estudo autónomo sobre o referido problema. Por essa razão os trabalhos práticos são ainda propostos como trabalhos de grupo, no qual o aluno pode explorar e partilhar ideias entre os colegas antes de colocar os problemas realmente complexos para discussão por todos os intervenientes na aula prática.

3.2 - PROGRAMA DE SISTEMAS DE RÁDIO DEDICADOS

Apresenta-se a seguir o programa que nos pareceu mais adequado para cumprir os objectivos propostos para a cadeira de SRD.

O cumprimento deste programa exige um total de 24 horas teórico-práticas, a que corresponde uma duração típica de um semestre de 12 semanas de aulas.

3.2.1 - RESUMO DO PROGRAMA

Cap 1. Introdução

- 1.1. As comunicações rádio – perspectiva histórica desde Maxwell até ao Software Defined Radio.
- 1.2. Enquadramento da disciplina, desde o transistor até à rede lógica.
- 1.3. Apresentação resumida dos componentes típicos de um transceptor de rádio

Cap 2. Conceitos Fundamentais de Rádio Comunicação Dedicada

- 2.1. Técnicas de Modulação

- 2.2. Definição de factores de mérito: Eficiência Espectral, Energia
- 2.3. Antenas
- 2.4. Ruído em Sistemas de Comunicações via Rádio
- 2.5. Balanço de Ligação (Link Budget)
- 2.6. Distorção Não Linear em Sistemas de Comunicações Via Rádio

Cap 3. Architecturas de Recepção e Transmissão

- 3.1. Componentes do sistema rádio - analógicos
- 3.2. Componentes do sistema rádio - digitais
 - 3.2.1. Conversores Analógico-digital e Digital-analógico para comunicações via rádio
- 3.3. Architecturas de recepção
 - 3.3.1. Super-heterodinas
 - 3.3.2. Conversão directa
 - 3.3.3. Baixo IF
- 3.4. Architecturas de transmissão
 - 3.4.1. Conversão em dois passos
 - 3.4.2. Conversão directa
- 3.5. Exemplos práticos de transceptores comerciais

Cap 4. Técnicas Especiais de Modulação e Acesso Múltiplo para Sistemas de Rádio Avançados

- 4.1. Técnicas de Modulação especial
- 4.2. Técnicas de Acesso Múltiplo

Cap 5. Sistemas de rádios dedicados

- 5.1. Sistemas de Software Defined Radio e Cognitive Radio
- 5.2. Sistemas RFID

- 5.3. Sistemas de UWB
- 5.4. Sistemas Bluetooth
- 5.5. Sistemas de Wireless Sensors

Cap 6. Projecto de Sistemas Rádio Dedicados

- 6.1. Passos para o projecto de transceptores de rádio dedicados
- 6.2. Exemplo de projecto de rádio
- 6.3. Sistemas de Medida de Parâmetros Rádio

3.2.2 - PROGRAMA DETALHADO DA COMPONENTE TEÓRICA DE SRD E SUA JUSTIFICAÇÃO

Capítulo 1. - INTRODUÇÃO

Justificação e Objectivos: Pretende-se, com este primeiro capítulo, fazer uma introdução da disciplina, desde os seus objectivos ao programa teórico e prático. Visa-se, ainda, registar os métodos de avaliação seguidos na cadeira.

Neste capítulo será enquadrada a disciplina não só a nível do curso, mas também das áreas científicas do estudo de sistemas rádio. Abordar-se-á a história dos sistemas de recepção e emissão de rádio, desde os seus primórdios com as leis de Maxwell, passando por Marconi até aos sistemas de comunicação rádio móvel e via satélite. Pretende-se assim enquadrar os alunos na temática dos sistemas rádio.

Apresentar-se-ão ainda as entidades reguladoras e um resumo dos componentes típicos de um *transceptor* rádio.

Tópicos Abordados:

1.1. Organização da disciplina em termos das suas componentes teórica e prática

1.2. Exposição do programa e dos objectivos da disciplina

Explicação da importância dos conhecimentos adquiridos em SRD na resolução de problemas práticos de engenharia.

1.3. Sistema de Avaliação

1.4. Principal Bibliografia de Apoio à Disciplina

1.5. A comunicação rádio – perspectiva histórica desde Maxwell até ao Software Defined Radio.

1.6. Entidades reguladoras

1.7. Enquadramento da disciplina, desde o transístor até à rede lógica.

1.8. Apresentação resumida dos componentes típicos de um transceptor de rádio

Metodologia: Este capítulo é apresentado na primeira aula, cuja duração aproximada é de 2 horas de tipo expositivo.

Total de Horas Lectivas: 2 horas expositivas

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 1:

[N. B. Carvalho, 2001] – 1ª Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Rádio Dedicados

[Rappaport, 2001] - (Cap. 1, 2) : Introdução aos sistemas de comunicação sem fios, descrição dos principais sistemas.

[Pozar, 2001] - (Cap. 1.1 e 1.4) : Introdução aos sistemas sem fios, breve resenha histórica.

[Chang, 2000] - (Cap. 1) : Introdução aos sistemas sem fios.

[Lee, 1997] - (Introduction) : Introdução aos sistemas sem fios, os primeiros 100 anos.

Capítulo 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE RÁDIO COMUNICAÇÃO DEDICADA

Justificação e Objectivos: Este capítulo revê conceitos fundamentais de comunicação via rádio e apresenta conceitos avançados de interferência em canais rádio.

Inicia-se o capítulo com a definição de conceitos básicos tais como a explicação de factores de mérito para comunicações digitais assim como temáticas mais complexas como sejam as principais decisões na troca de largura de banda por energia. Explora-se o teorema de Shanon do ponto de vista da eficiência espectral e de energia.

Seguidamente são ainda introduzidos os conceitos de ruído e distorção não linear, alertando o aluno para a existência de não linearidades.

Espera-se com este capítulo que os alunos relacionem o Bit Error Rate, BER, com a eficiência de energia, E_b/N_0 , e posteriormente associado à eficiência espectral definam o valor óptimo da relação sinal ruído para cada técnica de modulação, incluindo a parte de distorção não linear e seu impacto nas comunicações.

Tópicos abordados:

2.1. Técnicas de Modulação

Devido ao facto da modulação digital ser utilizada na generalidade dos novos sistemas de comunicações via rádio, o estudo deste tipo de modulações é bastante mais alargado do que no caso da modulação analógica. Neste tópico realiza-se uma revisão de conceitos já obtidos dando a seguir maior importância às principais figuras de mérito das técnicas de modulação.

Aborda-se o desempenho das diversas técnicas de modulação em canais selectivos em frequência e em canais com desvanecimento, especialmente o seu desempenho na relação E_b/N_0 versus BER.

2.2. Definição de factores de mérito: Eficiência Espectral, Energia

A definição de E_b/N_0 , R_b/B , o teorema de Shanon e o cálculo da relação entre E_b/N_0 e o Bit Error Rate, são pilares fundamentais para o aluno perceber quais as decisões feitas por um engenheiro de sistemas ao longo do projecto de um sistema de recepção - emissão via rádio. Por isso a abordagem desta análise é fundamental.

As técnicas de modulação são estudadas sempre à luz de quatro parâmetros importantes: Envolvente Constante, E_b/N_0 , Eficiência Espectral e relação BER com a eficiência de energia.

2.3. Antenas

Este tópico pretende antes de mais rever os conceitos básicos sobre antenas. A definição de factores de mérito importantes para um engenheiro de sistemas rádio, como o diagrama de radiação, directividade, ganho, polarização e área efectiva, são abordadas e explicadas pormenorizadamente. Além destas definições, a dedução da fórmula de Friis e a explicação da atenuação em espaço livre é fundamental para se discutir a seguir o balanço de potências numa ligação de sistemas rádio.

2.4. Ruído em Sistemas de Comunicações via Rádio

Dado que um dos temas principais abordados na disciplina é o projecto de receptores de sinais rádio, fica automaticamente justificada a inclusão de um subcapítulo destinado ao estudo das interferências nesses mesmos sistemas de recepção. Neste capítulo, pretende-se fornecer aos alunos informação sobre o impacto do ruído nos sistemas, e definir correctamente as diversas características e formas de contabilizar o ruído.

O ruído é abordado mais uma vez do ponto de vista sistémico, sendo abordado de forma simples e não muito profunda as suas origens físicas, seguindo o exemplo de alguns livros sobre sistema de rádio. Por forma que o aluno se sinta mais enquadrado em toda esta problemática, insere-se a discussão do ruído na dedução do balanço da ligação, *link budget*. Sendo assim inicialmente recorda-se a expressão do balanço de potências e discute-se o problema da degradação da relação sinal-ruído. Por essa razão é importante o estudo do ruído definindo inicialmente o conceito e abordando-se as suas principais características. Em detalhe:

2.4.1. Definição de factor de ruído

Definição do IEEE de factor de ruído de um quadripólo. O factor de ruído como medida do desempenho do sistema em termos da relação sinal-ruído. O desprezo da selectividade neste tipo de avaliação.

2.4.2. Temperatura equivalente de ruído

Relação entre factor de ruído e temperatura de ruído, e a importância de utilizar dois factores de mérito.

2.4.3. Cascata de factores de ruído

Dedução da fórmula de Friis do factor de ruído de uma cascata de quadripólos. Demonstração de que, numa cadeia de andares amplificadores, o andar de entrada domina o factor de ruído da cadeia. Neste caso apresenta-se o problema da degradação imediata do factor de ruído devido à cadeia se iniciar com um subsistema dissipativo.

2.4.4. Sensibilidade

Dedução da relação entre a sensibilidade, a relação sinal-ruído pretendida, a largura de banda equivalente de ruído final e o factor de ruído.

2.4.5. Ruído de fase

Apresentação do impacto do ruído de fase nos sistemas de comunicação.

2.4.6. Interferências externas

Aborda-se outro tipo de interferências que podem degradar o desempenho do sistema, neste caso apresentam-se ainda documentos do ETSI que regulamentam estas interferências.

2.5. Balanço de Ligação (*Link Budget*)

Neste subcapítulo inicia-se o verdadeiro estudo do projecto de sistemas rádio, principalmente o balanço de potências fundamental para uma correcta contabilização dos ganhos e perdas existentes ao longo da cadeia de emissão e recepção. Define-se ainda o PIRE e PAR e suas relações.

A definição de PIRE e PAR é fundamental para o projectista de sistemas rádio, pois com base nos *footprints* do PIRE poderá ser feita um correcto dimensionamento de todo o sistema.

2.6. Distorção Não Linear em Sistemas de Comunicações Via Rádio

De igual modo ao realizado no subcapítulo anterior, a interferência na emissão é também versada nesta cadeira, por isso a inclusão da distorção não linear é fundamental, não só para os alunos perceberem qual a necessidade de degradar a eficiência dos amplificadores melhorando as suas características lineares, assim como para perceberem que o espectro é um recurso finito e portanto não pode ser contaminado indiscriminadamente.

Neste subcapítulo a problemática da distorção não linear é abordada e inicia-se o seu estudo pela compreensão das suas origens físicas. Seguindo-se o estudo dos principais factores de mérito a si associados, espera-se assim que um engenheiro de sistema possa interpretar um data-sheet de um subsistema e seleccionar o componente mais adequado para um correcto projecto de uma etapa de emissão/recepção. Estudar-se-á assim:

2.6.1. O sistema não linear, origens físicas e definição

Usando a definição do ganho de potência e o princípio da conservação da energia, prova-se que qualquer circuito electrónico, dependente de uma fonte de alimentação de potência finita, não pode manter o seu ganho constante para qualquer nível de sinal, ou seja, é não-linear.

Recorrendo a uma série de potências apresentam-se as operações lineares e não-lineares sobre um sinal de entrada descrito no domínio espectral. Transformação linear: variação quantitativa do espectro. Transformação não-linear: variação quantitativa e qualitativa do espectro. Criação de novas componentes espectrais e eliminação de outras já existentes.

2.6.2. Definição de intermodulação

Neste ponto restringem-se as funções não-lineares às fracamente não-lineares. Expansão em série de Taylor da função característica do circuito em torno do ponto de repouso definido pela polarização. Define-se a seguir a Distorção Harmónica, Compressão de Ganho, Desvio do Ponto de Repouso, Distorção de Intermodulação, Perda de Sensibilidade e Modulação Cruzada.

Estuda-se a resposta de uma série de Taylor a uma excitação sinusoidal de um tom e dois tons, a interpretação física dos produtos de mistura resultantes dos batimentos múltiplos de 1ª, 2ª e 3ª ordens, a distorção harmónica e de intermodulação como ruído

dependente do nível de sinal e a distorção que cai dentro e fora da banda de passagem do sistema.

Estuda-se a seguir a variação do nível de potência de saída à fundamental e às componentes de distorção com o nível de sinal de entrada. Define-se o ponto de 1dB de compressão e pontos de intersecção de n ésima ordem. Calcula-se a relação sinal-distorção de intermodulação dado o ponto de intersecção e a potência de excitação e explica-se ainda a melhoria da relação sinal-distorção por abaixamento do nível de excitação de entrada.

2.6.3. Definição e cálculo de IP3 para um sistema de terceira ordem

Define-se o factor de mérito IP3 e relaciona-se com a série de potências de terceira ordem, estuda-se uma cascata de elementos não lineares e a problemática associada a dedução do valor IP3 desta cascata.

2.6.4. Sinais Multi-ton e reais

Apresenta-se os problemas associados a um sinal de excitação real em comparação com os dois tons. Definem-se as grandezas existentes nos *data-sheets* dos fabricantes, como sejam os factores de mérito de distorção não linear que caem fora da banda - Adjacent Channel Power Ratio e dentro da banda - Noise Power Ratio.

2.6.5. Definição de EVM

Para ser possível a melhor compreensão por parte dos alunos do impacto real da distorção não linear nos sistemas de comunicação sem fios, apresenta-se o factor de mérito EVM – *Error Vector Magnitude*, neste caso estuda-se a alteração do diagrama de constelação devido à distorção não linear.

2.6.6. Técnicas de Linearização

Finalmente termina-se este estudo com a abordagem de um problema fundamental de linearização de sistemas, para isso é abordado de uma forma breve a linearização de sistemas não lineares.

Metodologia: 6 horas de aulas expositivas, resolução de vários exercícios (1 por aula) de aplicação que abordam a problemática da interferência em sistemas rádio, incluindo link budget e distorção não linear. Estas aulas têm uma forte componente interactiva docente/discentes,

onde é essencial a participação dos alunos no acompanhamento da discussão das diversas técnicas apresentadas.

A divisão das temáticas por aula é tipicamente de 1h expositiva para a apresentação das modulações digitais, 1 hora para apresentação dos conceitos das antenas, 2 horas para os conceitos de ruído e balanço de ligação e finalmente 2h para o estudo das não linearidades.

Total de Horas Lectivas: 5 horas expositivas + 1 hora integrada de exercícios teórico-práticos.

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 2:

[N. B. Carvalho, 2001] – 2^a-4^a Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Rádio Dedicados, DETI, Universidade de Aveiro.

[Rappaport, 2001] - (Cap. 4 e Cap. 6) : Introdução às principais técnicas de modulação para sistemas de comunicação sem fios e breve introdução as antenas e modelos de propagação.

[Pozar, 2001] - (Cap. 3, 4, 5 e 9) : Ruído em sistemas de microondas, principais definições de distorção de intermodulação, breve estudo de técnicas de Modulação e Antenas e Propagação assim como a explicação da fórmula de Friis.

[Chang, 2000] - (Cap. 3, 5,8 e 9) : Técnicas de modulação e desmodulação, considerações sobre ruído e estudo das principais características dos sub-sistemas de antenas, assim como a fórmula de Friis e a introdução aos link budgets.

[Balanis, 1997] –Livro dedicado ao estudo das antenas.

[Pedro e Carvalho, 2003] - (Cap. 1 e 2) : Definição de distorção de intermodulação e seu impacto nos sistemas de comunicação.

Bibliografia Complementar:

[Lee, 1997] - (Cap.8) : Técnicas de modulação.

[Jamali e Tho, 1995] : Bibliografia complementar sobre técnicas de modulação em canais com desvanecimento.

[Clark, 2000] – (Cap. 4) : Técnicas de modulação.

[Xiong, 2000] – Livro totalmente dedicado às técnicas de modulação digital.

[Chien, 2001] – (Cap. 2, 2.1, 2.3 e 2.4): Grandezas sobre os sistemas de comunicações digitais, (Cap. 4.2 e 7.2): Ruído e definições de factores de mérito, (Cap. 5.5): Projecto de ligação e (Cap. 4.3): Desempenho da distorção.

[Kenington, 2000] – Sistemas de Linearização.

Capítulo 3. ARQUITECTURAS DE RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO

Justificação e Objectivos: Este capítulo inicia-se pela definição das limitações no projecto de sistemas rádio, principalmente pela definição de alguns factores de mérito próprios do sistema e que permitem definir qual a imunidade a determinadas limitações existentes.

Conceitos como selectividade, sensibilidade, gama dinâmica, são apresentados como um parâmetro de sistema.

Apresentam-se inicialmente os principais componentes rádio, quer analógicos, quer digitais e seus factores de mérito. Abordam-se ainda conceitos de processamento digital do sinal para aplicações em *Software Defined Radio*.

Tendo abordado o problema das figuras de mérito e os componentes principais, as arquitecturas mais importantes de recepção e emissão são apresentadas. Estas incluem o receptor de frequência sintonizada, super-heterodino, homodino, sistemas IF, assim como arquitecturas de emissão, o transmissor de conversão directa e o transmissor de conversão IF.

Finalmente aborda-se a temática do software defined rádio e apresentam-se algumas configurações típicas de receptores-emissores comerciais, caso de um telemóvel, uma estação base de telefonia móvel e um rádio amador.

Tópicos abordados:

3.1. Componentes do sistema rádio – analógicos

Estuda-se neste subcapítulo as grandezas mais importantes de cada um dos blocos do sistema. Para isso inicia-se o estudo dos elementos passivos do sistema, ou seja aqueles que não necessitam de nenhuma fonte externa de energia para funcionarem, seguindo-se um estudo dos elementos activos.

As figuras de mérito de todos estes dispositivos serão explicadas e associadas às suas origens físicas. Por isso, e em última análise, pretende-se que os futuros engenheiros possam saber escolher um determinado subsistema, não só por motivos exclusivamente

técnicos, mas também tendo em vista o preço, existência de fornecedores alternativos, conveniência do formato da informação apresentada nas folhas de características face à aplicação em vista, etc.

3.1.1. Elementos Passivos

O estudo dos elementos passivos é fundamental, não só devido a estes normalmente apresentarem perdas, e portanto em sistemas de recepção degradarem o ruído, como também poderem desadaptar o sistema em si e portanto diminuir o ganho de toda a cadeia.

3.1.1.2. Estudo de Cabos, Combinadores, Híbridos e Couplers, Filtros, Duplexer e Diplexer, Isoladores e Circuladores, Comutadores, Atenuadores

Optou-se por incluir nesta subsecção os seguintes elementos fundamentais:

- a) Cabo - subsistema com importância vital para o cálculo do factor de ruído total de um sistema receptor. É basilar que os alunos percebam que um cabo tem um valor de perdas e portanto vai degradar todo o sistema.
- b) O estudo de combinadores necessários para combinação de potência, isto porque em rádio frequência não é possível utilizar a mesma abordagem que em sinais de baixa frequência na qual se costuma realizar divisores de tensão/corrente, neste caso a divisão de potência exige um cuidado preciso no combinador/divisor de potência.
- c) A explicação do conceito de couplers é ainda fundamental para se perceber como se pode retirar uma amostra do sinal sem degradar fortemente o mesmo.

Neste estudo não podia faltar o problema da filtragem e a si associado os duplexer e diplexer e sua correcta definição e princípio de funcionamento. Finalmente os comutadores e suas propriedades, como tempo de comutação, VSWR, etc. são um passo decisivo para a escolha do correcto subsistema a escolher. Todos estes elementos são apresentados, sempre que possível com um *data-sheet* de um fabricante tipo, para se perceber de facto qual as grandezas que normalmente são tabeladas.

3.1.2. Elementos Activos

O estudo dos elementos activos, ou seja elementos que necessitam de alguma forma de energia para funcionarem correctamente, é fundamental para o correcto projecto de um sistema de rádio frequência. Sendo assim estudar-se-ão:

3.1.2.2. Amplificador

O primeiro elemento a estudar é o amplificador, e suas características mais importantes como seja o ganho em potência. Neste ponto chama-se a atenção para os diversos ganhos que se podem definir em amplificadores, como sejam o ganho disponível, o ganho de potência e o ganho de transdução. Define-se ainda a eficiência e explica-se que o aumento da eficiência implica a degradação das características não lineares dos amplificadores. Por isso refere-se ainda o ponto de compressão a 1dB, o ponto de intercepção de terceira ordem, IP3, assim como a geração de espúrios, principalmente harmónicas do sinal à saída do subsistema. Para amplificadores de sinal fraco apresenta-se ainda um modelo muito simples, no qual se refere que o amplificador pode inserir ruído adicional no sistema, mais à frente este ponto será aprofundado.

3.1.2.2.1. Definições de factores de mérito como: Ganho, Eficiência, Factor de Ruído, Ponto de compressão a 1dB, P1dB, IP3, Potência das harmónicas

3.1.2.3. Misturador

No caso do misturador e apesar de, em grande parte dos casos, não se considerar como um elemento activo, nesta secção foi assim considerado, pois um misturador não funciona correctamente sem o auxílio de um Oscilador Local, OL. Sendo assim a propriedade de mistura, de um ponto de vista meramente de sistema, e suas características associadas são apresentadas e explicadas à luz dos fenómenos físicos que lhe dão origem. Caso disso são o isolamento entre portos, as perdas por conversão, a geração da frequência imagem, o factor de ruído que neste caso sofre uma atenção redobrada e as características não lineares, que neste subsistema implicam um cuidado mais preciso, pois aparecem na saída do sistema numa zona do espectro diferente.

3.1.2.3.1. Definições de factores de mérito como: Isolamento, Perdas por conversão, Frequência imagem, Factor de ruído, Intermodulação

3.1.2.4. Oscilador

O subcapítulo termina com um estudo dos osciladores, ou sintetizadores de frequência, elemento fundamental em qualquer arquitectura que implique transladação de frequências. De igual modo ao que foi feito para os amplificadores e misturadores são apresentadas inicialmente as características mais importantes, e sua associação física. Define-se ainda ruído de fase e apresenta-se um modelo matemático muito simples para a

sua compreensão e contabilização. Finalmente apresentam-se algumas configurações sistémicas para a implementação ou minimização de alguns dos problemas apresentados anteriormente, caso das Phase Lock Loop, Direct Frequency Synthesis e Direct Digital Synthesis.

3.1.2.4.1. Definição e modelo típico para ruído de fase

3.1.2.4.2. Configurações típicas: Phase Lock Loop, Direct Frequency Synthesis, Direct Digital Synthesis

3.2. Componentes do sistema rádio – digitais

Neste subcapítulo são revistas as grandezas mais importantes de cada um dos blocos do sistema digital. Para isso inicia-se o estudo pelos potenciais elementos com capacidade de processamento, incluindo FPGA's e DSP's, estudando-se as configurações principais e seus conceitos básicos.

O passo seguinte implica um estudo profundo dos conversores analógico-digitais e digitais-analógicos, essenciais para uma correcta amostragem do sinal analógico.

Estes conversores são sempre estudados tendo em mente a amostragem de sinais de RF e seus factores de mérito associados. Dá-se ainda uma importância acrescida às ADC pipeline e sigma-delta, estudando convenientemente os moduladores PWM para sinais wireless.

Finalmente comentam-se os factores de mérito tendo em mente a degradação da relação sinal ruído dos sistemas de rádio.

3.2.1. Processamento de sinais rádio (domínio digital)

O estudo deste tema é iniciado por uma breve referência e análise de configurações básicas de processamento, incluindo FPGA's, para as quais se abordam as configurações principais e forma de as programar e DSP's, nas quais se abordam os cenários de aplicação e principais problemas e limitações de implementação.

3.2.2. Conversores Analógico-digital e Digital-analógico para comunicações via rádio

Nesta subsecção estudam-se os conversores analógico-digitais e digitais-analógicos, tendo por objectivo uma compreensão eficiente do futuro das comunicações rádio e seus problemas inerentes. Estudam-se configurações básicas de ADC's como sejam flash,

aproximações sucessivas, delta tracking, assim como configurações mais avançadas e mais utilizadas para aplicações rádio como sejam ADC's sigma delta, ADC's pipeline, etc.

No domínio das DAC's estudar-se-ão as configurações básicas, mas será dado mais ênfase aos moduladores PWM, pois julga-se ser uma das possíveis implementações para transmissores futuros.

Finalmente a análise das não idealidades será também alvo de estudo, especialmente os factores de mérito associados e respectivas definições.

3.3. Arquitecturas de recepção

3.3.1. Factores de mérito,

Selectividade

Apresentação da noção de selectividade de um sistema de telecomunicações e discussão do aumento da relação sinal-ruído de um receptor por aumento da sua selectividade.

Sensibilidade

Definição da sensibilidade de um sistema de telecomunicações como a potência mínima de sinal detectável que garante uma dada relação sinal-ruído à saída.

Gama dinâmica

3.3.2. O receptor de frequência sintonizada

Aborda-se o compromisso entre selectividade e facilidade de alinhamento e o perigo do aparecimento de oscilações parasitas nos andares de alto ganho e largura de banda de RF.

3.3.3. Super-heterodino

Análise das principais implicações no desempenho do receptor de cada um dos seus blocos constituintes e breve discussão dos critérios de escolha do valor da frequência intermédia. Apresentam-se os receptores com, ou sem, pré-amplificador de entrada e com várias frequências intermédias.

3.3.4. Homodino

Apresentação do homodino como solução para o problema da frequência imagem. Desvantagens acrescidas devido aos problemas DC.

3.3.5. Sistemas IF, incluindo configurações Hartley e Weaver

Apresentação de novas configurações baseadas em IF, com digitalização directa e desmodulação no domínio digital, incluindo configurações Hartley e Weaver.

3.4. Architecturas de Transmissão

3.4.1. O transmissor de conversão directa

Apresentação da arquitectura de transmissão por conversão directa. Breve abordagem a problemas do OL.

3.4.2. O transmissor de conversão IF

Estudo de novas configurações baseadas em up-converters I-Q, com modulações em quadratura, incluindo configurações polares.

3.4.3. Breve abordagem ao software rádio

Breve abordagem ao software rádio, vantagens desvantagens e problemas de implementação.

3.5. Exemplos práticos de transceptor comerciais

3.5.1. Configuração típica de um telemóvel

3.5.2. Configuração típica de uma estação base

3.5.3. Configuração típica de um rádio amador

Com estes exemplos de receptores-emissores de rádio, pretende-se justificar aos alunos algumas decisões utilizadas pelos projectistas de sistemas rádio.

Metodologia: 6 horas de aulas expositivas. Esta componente será dividida em 2h para o estudo dos componentes analógicos, 2h para o estudo dos componentes digitais e 2h para o estudo dos transreceptores de RF.

Total de Horas Lectivas: 5 horas expositivas mais 1 hora de exercícios teórico práticos.

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 3:

[N. B. Carvalho, 2001] – 5º-7º Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Rádio Dedicados.

[Pozar, 2001] - (Cap. 5, 6, 7, 8, 10) : Arquitecturas de recepção, transmissão e componentes analógicos, incluindo Filtros, amplificadores, misturadores e osciladores.

[Chang, 2000] - (Cap. 4, 5, 6) : Parâmetros de diversos componentes de sistema e osciladores..

[Chien, 2001] – (Cap. 5 e 7): Projecto de diversos componentes rádio e suas principais grandezas. Projecto de sistemas de recepção e transmissão.

[Park] – DSP's e Conversores digitais

Bibliografia Complementar:

[Pun, Franca and Leme, 2003] – Tese de doutoramento sobre técnicas de desenho de sistemas de recepção rádio.

[Crols and Steyaert, 1997] : Arquitecturas de recepção emissão de rádios para comunicações sem fios baseada em CMOS.

[Janssens and Steyaert, 2002] : Arquitecturas de recepção de rádios para comunicações celulares baseadas em CMOS.

Capítulo 4. TÉCNICAS ESPECIAIS DE MODULAÇÃO E ACESSO MÚLTIPLO PARA SISTEMAS DE RÁDIO AVANÇADAS

Justificação e Objectivos: Ainda no âmbito dos conceitos fundamentais de estudo de sistemas de rádio dedicados, não se poderia terminar essa abordagem sem referir como é que num sistema com mais do que um utilizador, se acede ao meio para realizar uma comunicação. Por isso foi decidido introduzir um capítulo dedicado à problemática do acesso múltiplo e definição da capacidade de um sistema, assim como configurações avançadas para comunicações digitais, caso do OFDM. Espera-se assim ter coberto grande parte dos fundamentos do projecto de um sistema rádio.

Tópicos abordados:

4.1. Eficiência Espectral Celular

Definição da eficiência espectral do acesso múltiplo.

4.2. TDMA

4.2.1. Conceito e sua implementação

4.2.2. Eficiência de acesso

4.2.3. Capacidade

Apresentação da técnica de divisão temporal, possível implementação , cálculo da eficiência do acesso e capacidade do sistema.

4.3. FDMA

4.3.1. Conceito e sua implementação

4.3.2. Eficiência de acesso

4.3.3. Capacidade

Apresentação da técnica de divisão na frequência, possível implementação , cálculo da eficiência do acesso e capacidade do sistema.

4.4. CDMA

4.4.1. Conceito e sua implementação

4.4.2. Sequência Directa (*Direct Sequence*)

4.4.2.2. Códigos de Espalhamento, definição e propriedades

4.4.2.3. Ganho de processamento

4.4.2.4. Capacidade

4.4.2.5. Controlo de potência

4.4.2.5.1. Malha aberta

4.4.2.5.2. Malha fechada

4.4.3. Saltos em Frequência (*Frequency Hopping*)

4.4.3.2. Ganho de processamento

4.4.4. Saltos no Tempo (*Time Hopping*)

4.4.4.2. Conceito e sua implementação

4.4.5. Receptor Rake (*Rake Receiver*)

Apresentação da técnica de divisão de código, inicia-se este ponto com uma breve resenha histórica e possível implementação, a seguir apresenta-se para o caso da sequência directa uma forma de implementação, a definição do ganho de processamento e capacidade, neste caso vai-se construindo a fórmula de capacidade conforme os diversos parâmetros vão aparecendo. Estuda-se ainda o problema do balanço de potências em malha aberta e fechada e suas vantagens, desvantagens.

Finalmente termina-se com um breve estudo de frequency hopping e time hopping, referindo ainda o receptor Rake muito utilizado em sistemas baseados em CDMA.

4.5. OFDM

4.5.1. Conceito e sua implementação

Breve referência à técnica de OFDM e sua implementação nos sistemas de comunicações sem fios actuais e estudo de problemas de peak to average ratio, PAPR, associados às técnicas de OFDM.

Metodologia: 2 horas de aulas expositivas, resolução de um exercício de aplicação que calcula a capacidade de um sistema CDMA e verificação que neste caso se podem obter SNR negativas. Estas aulas têm uma forte componente interactiva docente/discentes, onde é essencial a participação dos alunos no acompanhamento da discussão das diversas técnicas de acesso múltiplo.

Total de Horas Lectivas: 1,½ hora expositiva + ½ hora de exercícios.

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 4:

[N. B. Carvalho, 2001] – 8º Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Rádio Dedicados.

[Rappaport, 2001] - (Cap. 9) : Principais formas de acesso ao meio para comunicações sem fios.

[Chang, 2000] - (Cap. 10) : Apresentação das principais técnicas de acesso múltiplo.

Bibliografia Complementar:

[Lee, 1997] - (Cap. 15) : Esquemas de acesso múltiplo.

[Chien, 2001] – (Cap. 8.4): Técnicas de espalhamento de espectro.

Capítulo 5. SISTEMAS DE RÁDIOS DEDICADOS

Justificação e Objectivos: Depois de se terem abordado os fundamentos técnico científicos para um correcto projecto de sistemas de comunicações rádio, inicia-se agora de uma forma genérica o estudo, à luz desses conhecimentos, dos sistemas de rádio dedicados mais conhecidos. Para isso introduz-se o conceito de sistema de rádio e sua posição sócio económica apresentando ainda a nova cadeia de valores que estes sistemas vieram a introduzir no cenário das comunicações. Pretende-se que o aluno perceba quais as necessidades actuais e futuras dos sistemas e sua possível implementação.

Neste contexto decidiu-se estudar alguns sistemas de comunicação rádio dedicadas, caso do SDR, RFID, UWB e WSN. É de realçar que este estudo é sempre à luz dos conhecimentos já apresentados e portanto neste capítulo tentar-se-á apenas enquadrar os diversos sistemas e apresentar de forma muito sucinta o seu funcionamento básico.

Tópicos abordados:

5.1. Sistemas de Software Defined Radio e Cognitive Radio

Este subcapítulo inicia-se com um estudo dos sistemas de rádio implementados por software, que se acredita irão substituir brevemente todas as configurações comerciais e profissionais de comunicações via rádio.

Estes sistemas abordam e cobrem uma área muito vasta das comunicações rádio e dos conhecimentos adquiridos anteriormente, por isso será inicialmente estudado do seu ponto de vista conceptual, quer o SDR quer os rádios cognitivos, para depois se passar para o estudo da sua implementação. Neste caso será dado especial relevo a problemas de gama dinâmica e ruído na recepção/transmissão deste tipo de rádios.

Na secção de rádios cognitivos, aborda-se ainda brevemente a análise de rádios oportunistas e gestão de espectro, explorando brevemente os possíveis ciclos cognitivos deste tipo de configuração.

Finalmente apresenta-se o kit de desenvolvimento baseado em GNU Radio, que os alunos utilizam na prática para implementação de SDR's.

Espera-se que este estudo permita ao aluno abordar diversos conceitos estudados anteriormente e aperceber-se da panóplia de conhecimentos que tem de obter para o correcto projecto de sistemas de futura geração.

5.2. Sistemas RFID

Nesta secção abordam-se os conceitos básicos de sistemas RFID, quer sistemas passivos, quer activos e que funcionam a RF ou por acoplamento magnético.

É ainda apresentado um estudo dos sistemas tendo em mente a teoria previamente apresentada, assim como as principais configurações e normas internacionais. Estuda-se ainda o projecto e uma potencial aplicação utilizando um circuito comercial.

De realçar que o estudo é sempre realizado do ponto de vista rádio, ou seja da camada física, dando-se apenas um pequeno resumo das camadas superiores.

Finalmente e ainda neste capítulo, estuda-se brevemente sistemas DSRC (Dedicated Short Range Communications) por serem sistemas que se podem integrar no conceito de RFID activo e com aplicações importantes no cenário Português.

Neste subcapítulo serão ainda introduzidos conceitos de backscatter, ou acoplamento magnético, fundamentais para a compreensão destes sistemas.

5.3. Sistemas de UWB

Nesta secção apresentam-se os sistemas Ultra Wide Band, UWB, e duas das configurações mais comuns, quer por implementação OFDM ou por implementação de impulsos rádio. Inicialmente apresenta-se o conceito e definição para se prosseguir com algumas implementações práticas. Estudar-se-á ainda as maiores dificuldades e limitações deste tipo de sistema.

5.4. Sistemas Bluetooth

No estudo dos sistemas bluetooth, aborda-se uma aplicação de sistemas rádio num conceito mais alargado de redes WPAN, mais uma vez inicia-se o estudo pela apresentação dos conceitos básicos, seguindo-se um estudo pormenorizado da camada física expressa nas normas internacionais, neste caso as normas publicadas pelo bluetooth fórum.

Explica-se ainda como atingir, medir e projectar os sistemas para cumprirem estas especificações.

Aborda-se a seguir as camadas superiores, especialmente a camada MAC e finalmente estuda-se uma implementação comercial de um circuito integrado construído para este fim.

5.5. Sistemas de Wireless Sensors

O último sistema a analisar é baseado em Zig-Bee, pois espera-se que seja o principal suporte das futuras redes de sensores sem fios. De facto este sistema está pensado para a implementação de redes pessoais, ou locais, caso de WPAN e WLAN.

Mais uma vez inicia-se o estudo por um enquadramento da tecnologia, para depois se passar ao estudo das normas internacionais e suas implementações mais comuns.

A análise da camada física é mais uma vez prioritária nestes sistemas. Depois de se estudar e abordar brevemente as camadas superiores, apresentar-se-á também um circuito comercial para implementação da camada física do Zig-Bee.

Metodologia: A utilização de 6 horas é justificada pela panóplia de sistema a estudar e analisar, e serão estudados sempre à luz dos capítulos anteriores. Divide-se o período lectivo por 2h para os sistemas de SDR, 1h para os sistemas RFID, 1h para os sistemas UWB, 1h para bluetooth e finalmente 1h para os sistemas Zig-Bee.

Total de Horas Lectivas: 6 horas expositivas.

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 5:

[N. B. Carvalho, 2001] – 9^o-13^o Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Comunicações de Rádio Dedicadas.

[Clark, 2000] – Apresentação de diversos sistemas sem fios.

[Tranter, 2001] – Apresentação do Bluetooth e outras tecnologias PAN.

[Lehpamer, 2007] – Tecnologias RFID

[Mohammad Ghavami, 2007] - Tecnologias UWB

[Walter H.W. Tuttlebee, 2002] – Breve apresentação de SDR

[Ivan, 2005] – Breve abordagem aos sistemas WSN.

Bibliografia Complementar:

[Bray, 2001] – Apresentação do Bluetooth.

[IEEE802.11] – Normas do IEEE.

[Bluetooth] – Normas do Bluetooth.

[Bouher, 2000] – Apresentação de diversos sistemas trunked.

[Howitt, 2002] – Comparação Bluetooth e WLAN IEEE802.11b.

[Miller, 2001] – Apresentação técnica do Bluetooth.

Capítulo 6. PROJECTO DE SISTEMAS DE RÁDIOS DEDICADOS

Justificação e Objectivos: Finalmente estudar-se-á neste último capítulo a estratégia para projecto e caracterização de sistemas rádio. Espera-se poder integrar grande parte dos conceitos anteriormente abordados e apresentá-los de forma integrada para permitir os alunos projectarem, construírem e analisarem um sistema de comunicação via rádio.

Este capítulo faz ainda a ligação com a parte prática da disciplina, visando e enquadrando os sistemas de medida e caracterização dos componentes rádios existentes no laboratório.

Tópicos abordados:

6.1. Passos para o projecto de transceptors de rádio dedicados

Nesta secção apresentam-se os passos necessários para o correcto projecto dos sistemas rádio, deste a definição das especificações até à definição da estratégia a implementar.

6.2. Exemplo de projecto de rádio

Utilizando os sistemas anteriores estudam-se alguns dos sistemas comerciais para implementação de sistemas de comunicação via rádio. Dá-se uma atenção especial às configurações de SDR existentes no laboratório.

6.3. Sistemas de Medida de Parâmetros Rádio

Finalmente aborda-se a temática da caracterização deste tipo de sistemas, pela apresentação dos principais instrumentos de medida, ou seja analisadores de espectros, analisadores de quadripólos, medidores de potência e geradores de sinal.

Pretende-se que o aluno caracterize e identifique eventuais erros de projecto e resolvê-los de uma forma expedita e eficiente.

Metodologia: 2 horas de aulas expositivas sobre o projecto, como parte desta componente foi abordada também na prática, estas aulas centrar-se-ão preferencialmente na caracterização dos sistemas rádio.

Total de Horas Lectivas: 6 horas expositivas.

Bibliografia de Apoio ao Capítulo 10:

[N. B. Carvalho, 2001] – 14º Capítulo das Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Comunicações de Rádio Dedicadas.

[Dally, 1993] – Conceitos básicos sobre instrumentação e medidas.

3.2.3 - PROGRAMA DETALHADO DA PARTE PRÁTICA DE SRD E SUA JUSTIFICAÇÃO

A componente prática da disciplina de Sistemas de Rádio dedicados pretende colocar os alunos em presença de situações de projecto de soluções rádio e fundamentalmente proporcionar aos alunos uma visão prática dos sistemas que aprenderam. Consiste normalmente na implementação de um sistema de comunicações dedicado, utilizando vários kits existentes no laboratório de wireless do Departamento de Electrónica Telecomunicações e Informática, especialmente kits de software defined radio universais, caso do chamado GNU Radio, mas também kits didácticos de RFID.

Justificação e Objectivos: Com este tipo de trabalho pretende-se proporcionar aos alunos da disciplina a possibilidade de adquirirem uma visão prática dos sistemas estudados. Os alunos são colocados perante sistemas completamente funcionais, nos quais terão de implementar uma solução rádio adoptada a um problema específico.

No caso de SDR a utilização deste tipo de rádios permite-lhes ter uma visão integrada das soluções rádio futuras além de ter um tempo de projecto/implementação muito rápido.

Nesta componente os alunos têm ainda de estudar e aprender uma nova linguagem de programação, chamada de python, que lhes permite trabalhar sobre os rádios referidos.

Pretende-se assim abordar grande parte dos conceitos estudados, desde as técnicas de modulação até às técnicas de acesso múltiplo, implementando sistemas de emissão recepção usuais.

Tópicos Abordados:

Como exemplo, apresentam-se alguns Trabalhos Práticos:

- 1 – Construção de um analisador de espectros digital por SDR
- 2 – Construção de um sistema de transmissão/recepção digital via rádio.

3 – Caracterização do sinal rádio por uso de um analisador de espectros em tempo real.

4 – Implementação de um rádio cognitivo básico, com decisão em tempo real.

5 – Implementação de um sistema baseado em RFID.

Metodologia:

Os trabalhos propostos aos alunos supõem que estes estão organizados em grupos de cinco.

Do trabalho prático fazem parte os seguintes passos:

1 - Projecto do sistema proposto, decidindo quais os blocos a utilizar e definição de larguras de banda de filtros, ganhos dos amplificadores e tempos de observação.

2 – Implementação do sistema e verificação do seu funcionamento em condições ideais.

3 – Teste em situações reais

4 – Discussão das diversas grandezas medidas

Chama-se a atenção que estes trabalhos implicam um conhecimento alargado de teoria da comunicação, electrónica analógica e digital, programação e processamento do sinal.

Total de Horas Lectivas: Como já foi referido anteriormente o trabalho prático é apresentado no início da componente lectiva e decorre durante todo o semestre como um mini-projecto, é incentivado que o grupo de alunos, normalmente composto por cinco elementos, identifique um chefe de grupo, “team leader”, que irá ser o chefe da equipa e coordenará todo o processo de projecto e implementação.

Esta estrutura serve, do ponto de vista do docente, para aproximar o funcionamento desta componente lectiva da estrutura mais usual em equipas empresariais.

Semanalmente existe uma hora de trabalho com o docente de forma a resolver problemas que não tenham sido resolvidos anteriormente na equipa. No final do projecto os alunos deverão

entregar um relatório do projecto, uma página Web de descrição do trabalho realizado, um teste funcional do sistema implementado e realizarão uma apresentação pública do trabalho.

3.3 - ENQUADRAMENTO NO PLANO DE ESTUDOS DO CURSO

A disciplina de Opção, Sistemas de Rádio Dedicados é oferecida como opção do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações na Universidade de Aveiro, integrando ainda a oferta como disciplina complementar do 3º ciclo em Engenharia Electrotécnica.

3.3.1 - REQUISITOS

Dado que a disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados foi concebida com um carácter integrador de conhecimentos, numa zona de sobreposição entre as áreas de electrónica e de telecomunicações, exige conhecimentos prévios de electrotecnia, teoria de sistemas, telecomunicações e de electrónica geral, que são dados em algumas disciplinas obrigatórias do 1º ciclo e no 4º ano (2º ciclo).

Exigem-se conhecimentos básicos adquiridos nas disciplinas de Introdução à Análise e Processamento de Sinal:

- Relações entre o domínio do tempo e da frequência;
- Resposta estacionária sinusoidal de circuitos lineares.

Para além destes conceitos, é também importante a preparação em teoria de ruído dada no 2º ano, 2º semestre, em Métodos Probabilísticos em Engenharia Electrotécnica e Computadores e Análise de Circuitos:

- Teoria de Quadripólos;
- Representação de sinais de espectro contínuo;

- Resposta de sistemas lineares a sinais de espectro contínuo.

Da área de teoria de sistemas são importantes as noções, adquiridas na disciplina de Teoria de Sistemas, de:

- Linearidade. Propriedades fundamentais dos sistemas lineares;
- Estabilidade dos sistemas lineares realimentados;
- Compensação de sistemas.

Da área de telecomunicações, são importantes os conhecimentos adquiridos na disciplina de Fundamentos de Telecomunicações:

- Parâmetros de avaliação do desempenho de sistemas de telecomunicações. Distorção linear, ruído, resposta de um sistema linear ao ruído. Noção de largura de banda equivalente de ruído;
- Divisão em diagrama de blocos de um sistema de telecomunicações. Receptor super-heterodino.

e nas disciplinas de Propagação de Ondas Electromagnéticas e Antenas:

- Parâmetros distribuídos de linhas de transmissão;
- Ajudas gráfica ao projecto de redes de adaptação de impedância com elementos concentrados: Carta de Smith;
- Introdução às antenas.

Da área de electrónica, são importantes os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Electrónica, especialmente os conceitos de:

- Limitação em frequência dos circuitos analógicos;
- Electrónica Digital e suas limitações;
- Conversores Analógico-Digital e Digital-Analógicos.

Da área de computação, são importantes os conhecimentos adquiridos na disciplina básicas de programação e arquitectura de computadores, especialmente os conceitos sobre:

- Programação Java e C;
- Utilização de microprocessadores;
- Conceitos básicos de Sistemas Digitais.

3.4 - BIBLIOGRAFIA

Nesta secção apresenta-se a lista das referências bibliográficas indicadas junto aos diversos capítulos do programa de Sistemas de Rádio Dedicados. Os títulos estão agrupados por livros e artigos, já que isso corresponde, usualmente, a uma divisão natural entre bibliografia básica, de índole mais pedagógica, e textos avançados, de cariz científico, onde o conhecimento é apresentado pela primeira vez, e, conseqüentemente, de forma menos tratada.

[Balanis, 1997] – Constantine Balanis, *“Antenna Theory: Analysis and Design”*, John Wiley, 1997.

[Bluetooth] – *“Specification of the Bluetooth System, version 1.1”*, Bluetooth SIG, www.bluetooth.com.

[Bouher, 2000] – Neil Boucher, *“The Trunked Radio and Enhanced PMR Radio Handbook”*, Wiley Interscience, 2000.

[Bray, 2001] – Jennifer Bray, *“Bluetooth : connect without cables”*, Prentice Hall, 2001.

[Chang, 2000] – Kai Chang, *“RF and Microwave Wireless Systems”*, Wiley Interscience, 2000.

[Chien, 2001] – Charles Chien, *“Digital Radio Systems on a Chip”*, Kluwer Academic Publishers, 2001.

[Clark, 2000] – Martin P. Clark, *“Wireless Access Networks”*, John Wiley & Sons, Ltd, 2000.

[Crols and Steyaert, 1997] – Jan Crols and Michiel Steyaert, *“CMOS Wireless Transceiver Design”*, Kluwer Academic Press, 1997.

[Dally, 1993] - Dally, J.W., Riley, W.F., McConnell, K.G., *Instrumentation for Engineering Measurements*, Wiley, 2. ed, 1993

[ETSI] - Serie 5, "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+)", European Telecommunications Standards Institute 1999.

[Howitt, 2002] - Ivan Howitt, "Bluetooth Performance in the Presence of 802.11b WLAN", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 51, No. 6, November 2002.

[IEEE802.11] - "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition.

[Ivan, 2005] - Ivan Stojmenovic, "Handbook of Sensor Networks", John Wiley & Sons, 2005.

[Jamali e Tho, 1995] Seyed Hamidreza Jamali, Le-Ngoc Tho, "Coded-modulation Techniques for Fading Channels", Kluwer Academic Press, 1994.

[Janssens and Steyaert, 2002] - Johan Janssens and Michiel Steyaert, "CMOS Cellular Receiver Front-Ends", Kluwer Academic Press, 2002.

[Kaarane, Ahtiainen, Laitinen, Naghian and Niemi, 2002] - Heikki Kaarane, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siamak Naghian, Valtteri Niemi, "UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services", Wiley, 2002.

[Kenington, 2000] - Peter B. Kenington, "High Linearity RF Amplifier Design", Artech House, 2000.

[Lee, 1997] - William C.Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw Hill, 1997.

[Lehpamer, 2007] - Harvey Lehpamer, "RFID Design Principles", Artech House Microwave Library, 2007.

[Luzatto, 2007] - Ariel Luzatto, Gadi Shirazi, "Wireless Transceiver Design", Wiley Inter-Science, 2007

[Miller, 2001] - Brent A. Miller, "Bluetooth revealed : the insider's guide to an open specification for global wireless communications", Prentice Hall 2001.

[Mohammad Ghavami, 2007] - Mohammad Ghavami, Lachlan Michael, Ryuji Kohno, *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, Wiley, 2. ed, 2007

[N. B. Carvalho, 2008] – *Transparências Usadas nas Aulas de Sistemas de Rádio Dedicados*.

[Pedro e Carvalho, 2003] – José Carlos Pedro e Nuno Borges de Carvalho, “*Intermodulation Distortion in Microwave and Wireless Circuits*”, Artech House, 2003.

[Pozar, 2001] – David M. Pozar, “*Microwave and RF Design of Wireless Systems*”, Wiley, 2001.

[Pun, Franca and Leme, 2003] – Kong-Pang Pun, José Epifanio da Franca, Carlos Azeredo-Leme, “*Circuit Design for Wireless Communications Improved Techniques for Image Rejection in Wideband Quadrature Receivers*”, Kluwer Academic Press, 2003.

[Rappaport, 2001] - Theodore S. Rappaport, “*Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition)*”, Prentice Hall, 2001.

[Redl, Weber and Oliphant, 1998] – Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber and Malcolm W. Oliphant, “*GSM and Personal Communications Handbook*”, Artech House, 1998.

[Steele, Lee and Gould, 2001] – Raymond Steele, Chin-Chun Lee, Peter Gould, “*GSM, cdmaOne and 3G Systems*”, Wiley, 2001.

[Steyart, 1997] - J. Crols, M. Steyaert, “*CMOS Wireless Transceiver Design*”, Kluwer Academic Publishers, 1997.

[Tranter, 2001] – William H. Tranter, “*Wireless personal communications : bluetooth tutorial and other technologies*”, Kluwer Academic Publishers, 2001.

[Walter H.W. Tuttlebee, 2002] - Walter H.W. Tuttlebee, *Software Defined Radio: Enabling Technologies*, Wiley, 2002

[Xiong, 2000] – Fuqin Xiong, “*Digital Modulation Techniques*”, Artech House, 2000.

[Yang, 1998] - Yang, Samuel C., “*CDMA RF system engineering*”, Artech House, 1998.

3.5 – MATERIAL DE APOIO EXTRA

Além da bibliografia fornecida aos alunos, a disciplina de Sistemas de Rádio Dedicados, conta ainda com uma série de transparências escritas especialmente para a disciplina e que abordam todos os temas aí associados. Está ainda disponível uma área de elearning da Universidade de Aveiro, acessível em <http://elearning.ua.pt>, e que contém não só a versão *pdf* das transparências utilizadas nas aulas teóricas, assim como informação necessárias para os alunos, como sejam os guias dos trabalhos práticos, ou ainda algumas ligações que permitam ao aluno um incremento do seu conhecimento nesta área.

4 - MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA DE SISTEMAS DE RÁDIO DEDICADOS

Dado que a disciplina está claramente dividida numa componente teórica (teórico-prática) e numa prática, decidiu-se separar a sua avaliação. Foi, por isso, também ela dividida em duas. A classificação final do aluno é, pois, resultante de uma média ponderada destas duas componentes.

De acordo com o Regulamento de Estudos de Pós-graduação da Universidade de Aveiro a avaliação de qualquer disciplina, ou de qualquer uma das suas componentes, deve ser classificada como "Avaliação Contínua", "Avaliação Periódica" ou "Avaliação por Exame Final". Tradicionalmente, a avaliação da parte teórica das disciplinas é por "exame final", ou, excepcionalmente, "periódica", no caso de se verificar mais do que um exame ao longo do semestre. A parte laboratorial é do tipo "contínua", quando se realizam, e avaliam, vários trabalhos práticos, dentro do normal período lectivo.

Dentro deste contexto, decidiu propor-se como método de avaliação da parte teórica de SRD o modelo de "exame final", dado corresponder a uma única prova final de carácter presencial. Atribuiu-se a esta parte um peso de 50% da classificação final.

Quanto ao modelo a adoptar para a parte prática, foi atribuído um peso total de 50%, que devem incluir uma avaliação integradora do trabalho do aluno, quer nos relatórios, apresentações e trabalho ao longo do semestre.

4.1 - AVALIAÇÃO DA PARTE TEÓRICA

A avaliação da componente teórica e teórico-prática da disciplina de SRD é feita com base nos resultados obtidos de um exame final, individual, que aborda toda a matéria dada ao longo do semestre, e constante no programa acima apresentado. Esta prova escrita (cujo exemplar se encontra anexado no final do relatório), tem uma duração de duas horas. O aluno é avisado, logo

na primeira aula, que o elemento de consulta permitido no exame é 1 página A4 escrita com o que os alunos desejarem.

A decisão em favor de tal elemento de consulta deve-se a duas ordens distintas de razões. Em primeiro lugar gostaríamos de poder sugerir um método de avaliação que reflecta uma imagem, tão próxima quanto possível, do desempenho técnico do futuro licenciado na sua vida profissional. Este objectivo (mesmo com todas as naturais reservas dado o sistema de ensino universitário e o tecido industrial português), levar-nos-ia a tender para a consulta de qualquer material ilimitadamente. No entanto, estudos pedagógicos alertam que num exame de duração limitada, a consulta livre é pouco útil, e por vezes, chega a ser um factor de perturbação. No entanto, elementos de consulta, como expressões ou outro tipo similar de resultados, de que não se exija explicitamente a dedução, podem ser um auxiliar valioso à memória do aluno. Permitem também, ao professor, maior flexibilidade na realização das questões, que, de outra forma, se veria obrigado a acompanhar o exame de um formulário desconfortavelmente vasto, ou condiciona, de maneira indesejável, as respostas. Por outro lado, a possibilidade oferecida ao aluno de usar uma folha auxiliar, perfeitamente legal e enquadrada, desencoraja o seu uso ilegal, que, para além de poder falsear os resultados da avaliação em termos absolutos, pode criar distorções em termos relativos, i. e., entre alunos de posturas diferentes.

4.2 - AVALIAÇÃO DA PARTE PRÁTICA

A avaliação do trabalho laboratorial é feita com base na informação colhida no relatórios e validação do mini-projecto, e complementada pelo desempenho da apresentação pública de resultados na última aula. Por princípio, a classificação é atribuída por igual aos elementos do grupo, a menos que haja razões bem evidentes para não o fazer, ou que o chefe de grupo assim o requeira.

5 - ANEXOS

5.1 – EXAME TIPO

Exame Tipo de Sistemas de Rádio Dedicados

Ano Lectivo: 20xx/20xx

Duração: 2h00m

xx/xx/xx

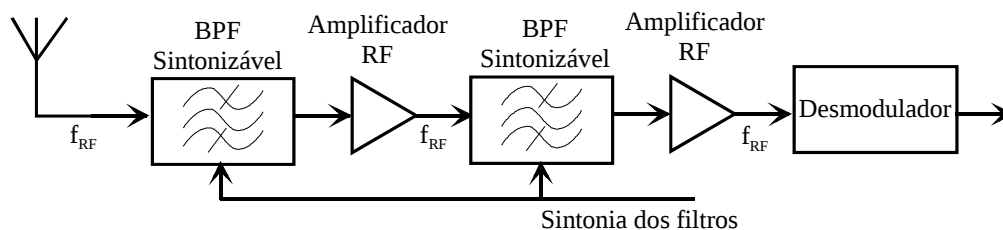
I

- a) Compare a modulação digital e analógica, enumerando as suas vantagens e desvantagens.
- b) Explique ainda qual a vantagem em utilizar o filtro Gaussiano preterindo o de cosseno elevado.
- c) Escolha um sistema rádio e descreva a sua técnica de modulação apresentando, do seu ponto de vista, qual a razão da escolha dessa mesma técnica.

II

- a) Defina selectividade e gama dinâmica.
- b) A figura seguinte apresenta um receptor de frequência sintonizada, diga qual a sua maior desvantagem e o que faria para resolvê-la.
- c) Ainda relativamente ao receptor apresentado considere que os filtros têm umas perdas de 2dB na banda e 40dB fora da banda e uma largura de banda de 20KHz. Considere ainda que o segundo amplificador de RF tem um ganho de 30dB e um NF=10dB e o primeiro um ganho de 10dB.

Sabendo que se pretende um $E_b/N_0 = 5\text{dB}$, para uma sensibilidade de -102dBm , calcule qual o NF do primeiro amplificador para um ritmo de transmissão de 10kbps.



III

- a) Sabendo que se pretende comunicar num canal de RFID (860MHz) com uma potência de recepção de -80dBm quando se está próximo de um transmissor de Televisão (800MHz) com uma potência de emissão de 1KW, explique quais os problemas que poderão advir desta situação.
- b) Explique como é que se pode minimizar o problema (interferência) nesta situação.
- c) Sabendo que o amplificador de entrada do receptor RFID tem um ganho de 10dB e que a máxima IMR que se pode obter, para um funcionamento correcto é de 20dB à saída do LNA, calcule para o caso da alínea a) qual o IP3 que este amplificador deverá ter. (considere ainda que o sinal TV pode ser considerado como um sinal de dois tons de modo a que a frequência do produto de TV caia sobre o sinal RFID e em que a potência de cada tom é metade da potência total de TV)

IV

Considere que se pretende cobrir uma distância de 200Km com um sistema rádio para transmitir um ritmo de tráfego de 200kbps.

- a) Proponha uma arquitectura para este sistema, identificando o emissor e o receptor. Proponha ainda uma técnica de modulação, sabendo que estamos limitados a emitir o máximo de 1W, com uma sensibilidade de recepção de -70dBm e uma largura de banda de 100KHz.
- b) Sabendo agora que a meio existe um obstáculo de 100m de altura que bloqueia o primeiro elipsóide de Fresnel e que as antenas estão a 200m de altura diga o que fazer para conseguir linha de vista rádio. (A altura das torres não pode ser alterada).

5.2 – ACETATOS TEORICOS
