

Redes Cognitivas: Um Novo Paradigma para as Comunicações Sem Fio

Prof. Rafael Fernandes Lopes, D.Sc.

Instituto Federal do Maranhão – IFMA
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) – Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Encontro Unificado de Computação em Parnaíba (ENUCOMP 2014)



● Rafael Fernandes Lopes

▶ Formação:

- ★ Ciência da Computação, UFMA
- ★ Mestrado em Engenharia Elétrica (área de concentração: Ciência da Computação), UFMA
- ★ Doutorado em Engenharia Elétrica, UFCG

▶ Prof. Adjunto, IFMA

▶ Prof. Permanente do PPGCC/UFMA

▶ Interesses de pesquisa:

- ★ Computação Móvel, Redes Cognitivas, Comunicações sem Fio, Redes de Sensores Sem Fio



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais



Introdução

- Diversos setores da atividade humana dependem da existência de serviços de comunicações sem fio;
- As agências governamentais estabelecem políticas de alocação do espectro de RF
 - ▶ Geralmente vinculadas ao pagamento de licenças de uso;
- A quantidade de serviços de comunicações tem levado à escassez de recursos espectrais em algumas localidades
 - ▶ Destinar faixas livres para novos serviços ou melhorar os já existentes tem se tornado uma tarefa cada vez mais difícil.

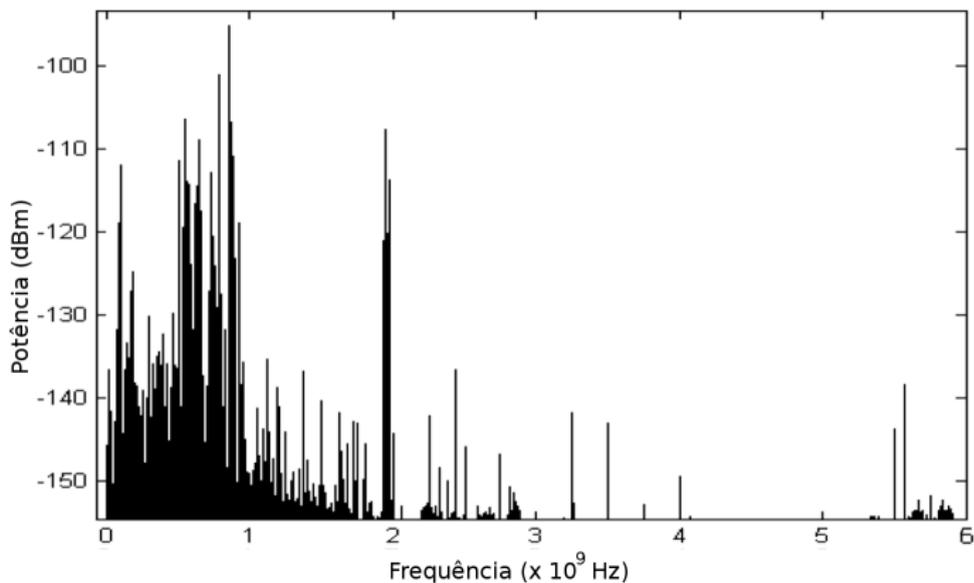


Introdução

- Apesar da grande procura por algumas faixas de espectro, estudos indicam uma sub-utilização delas;
- Pesquisa realizada pela Força Tarefa em Políticas de Espectro da Comissão de Comunicações Federal (*FCC – Federal Communications Commission*):
 - ▶ Variação temporal e geográfica no uso do espectro alocado (entre 15 e 85%).



Medição da utilização do espectro de 0-6 GHz no centro de Berkeley

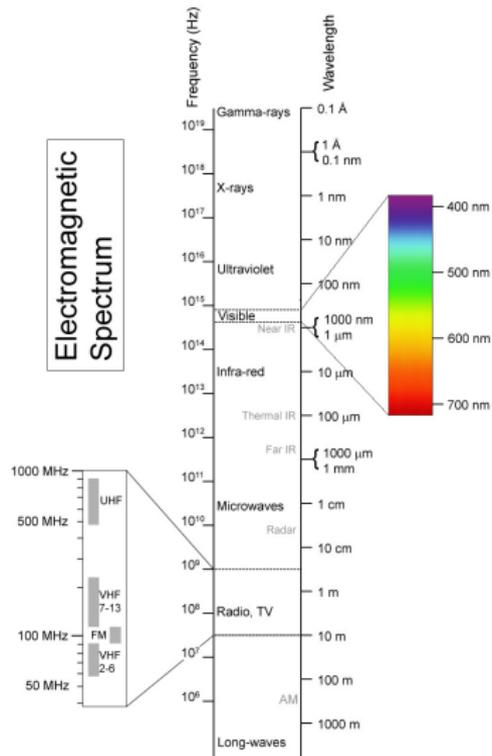


Redes Cognitivas

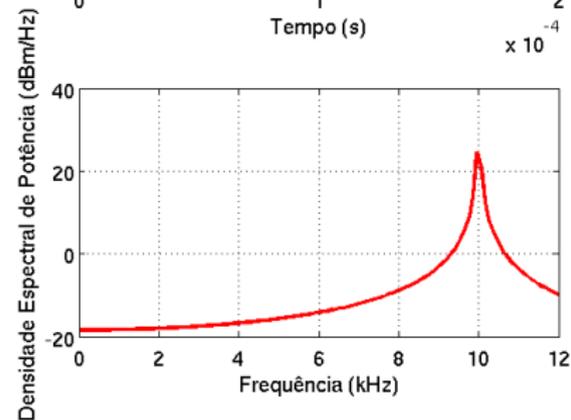
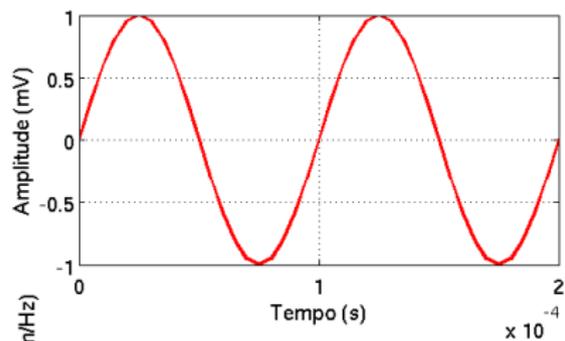
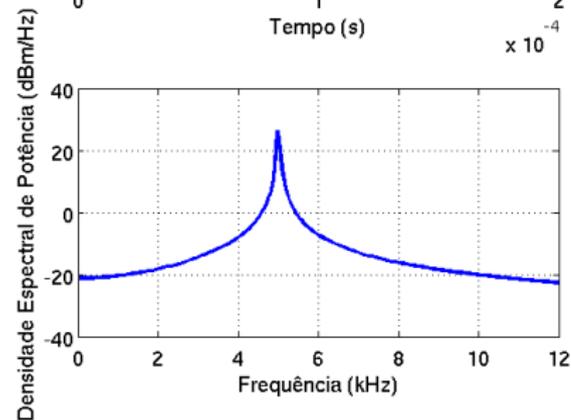
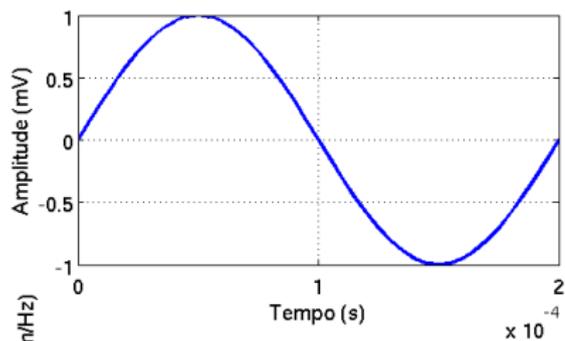
- A limitada disponibilidade de espectro e a ineficiência de sua utilização geram novas demandas:
 - ▶ Mecanismos e paradigmas de comunicações que explorem o espectro de maneira mais eficaz;
- As Redes Cognitivas, também denominadas Redes de Rádio Cognitivo ou Redes sem Fio de Próxima Geração
 - ▶ Tecnologia de rede que aumenta a eficiência da alocação espectral por meio do acesso **oportunista** às faixas de frequência.



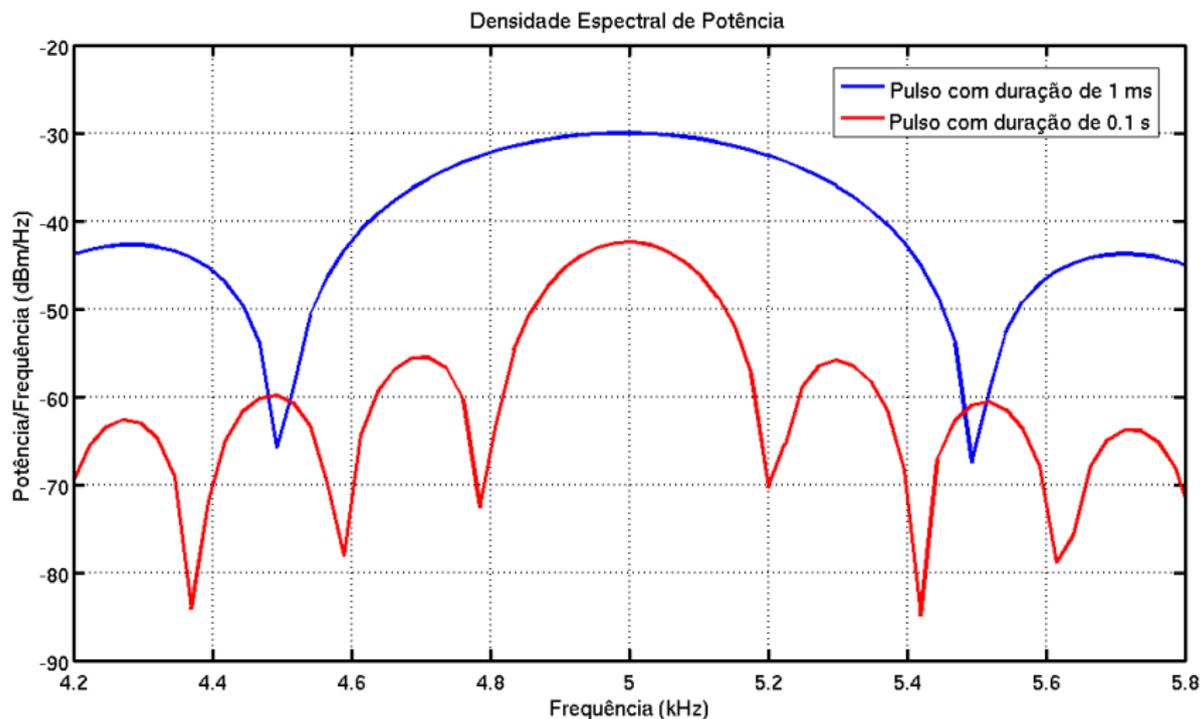
Espectro eletromagnético



Espectro eletromagnético



Relação – duração do pulso x largura de banda



Por que a largura de banda é tão relevante?

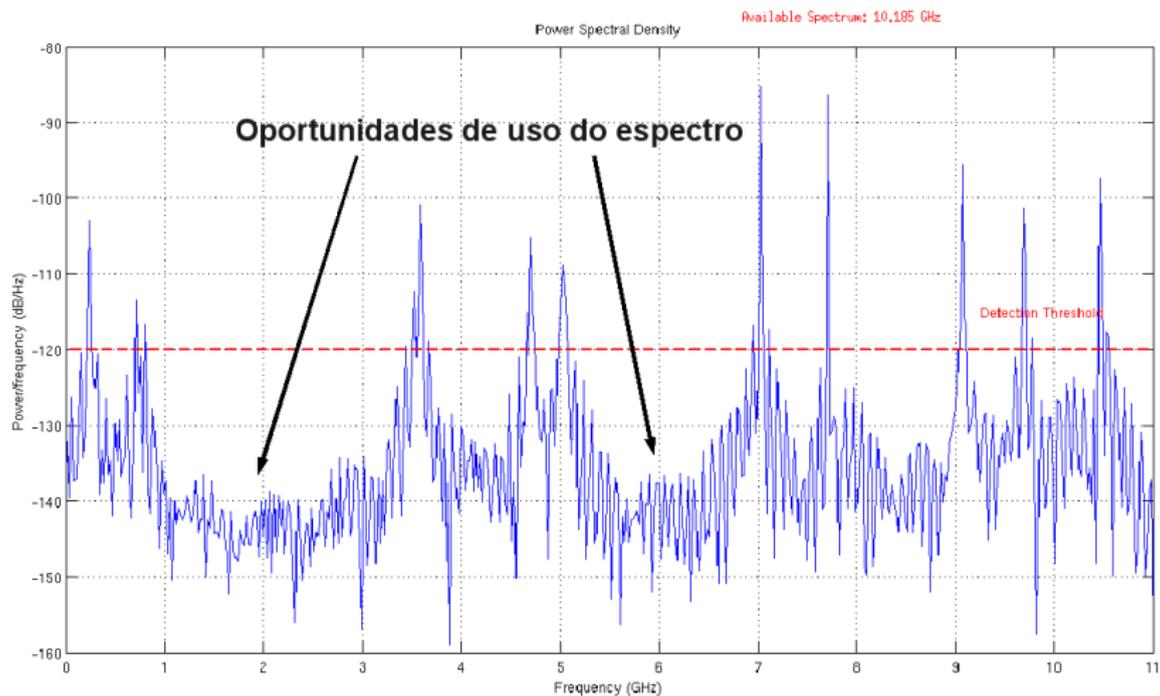
- Capacidade do canal:

- ▶ $C = B \log \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

- ▶ $C \Rightarrow$ capacidade do canal (bits por segundo, se $\log_2(\cdot)$)
 - ▶ $B \Rightarrow$ largura de banda (Hertz)
 - ▶ $S, N \Rightarrow$ potência do sinal e do ruído (watts ou volts²)



Espectro de RF e oportunidades de uso do espectro



Espectro de RF e oportunidades de uso do espectro

- Exemplos:

- ▶ Canais de guarda de TV analógica (VHF);
- ▶ Canais de TV UHF não alocados;
- ▶ Faixas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*);
- ▶ Canais de *trunking* (e.g., canais de rádio de polícia e bombeiros).



Redes Cognitivas

- Segundo Thomas et al. (2005) uma Rede Cognitiva é:

... uma rede dotada de capacidade cognitiva, que pode perceber as condições atuais da rede e então planejar, decidir e atuar sobre essas condições. A rede pode aprender a partir dessas adaptações e utilizar essas informações para tomar futuras decisões, enquanto leva em consideração os objetivos de transmissão fim-a-fim.



Redes Cognitivas

- Redes Cognitivas:
 - ▶ Fornecem aos usuários móveis uma grande largura de banda por meio do uso de técnicas de acesso dinâmico ao espectro sobre arquiteturas heterogêneas de redes sem fio;
 - ▶ Permite uma utilização mais eficiente do espectro, provendo acesso oportunista às faixas licenciadas sem interferir com seus usuários (usuários primários – UP);
- O desenvolvimento de tecnologias de redes cognitivas impõe desafios de pesquisa devido à grande faixa espectral a ser gerenciada e aos diversos requisitos de qualidade de serviço (QoS) das aplicações.



Rádio Cognitivo

- Principal tecnologia empregada em redes cognitivas: Rádios Cognitivos (*Cognitive Radios*)
 - ▶ Assim como as redes cognitivas, os rádios cognitivos fornecem a capacidade de utilizar ou compartilhar o espectro de uma maneira oportunista;
- Rádios cognitivos
 - ▶ Camadas física e de enlace do modelo OSI;
- Redes cognitivas
 - ▶ Todas as camadas do modelo OSI.



Rádio Cognitivo

- *Software Defined Radio (SDR)*;
- Acesso Dinâmico ao Espectro;
- Aprendizagem de Máquina.



Funcionalidades do Rádio Cognitivo

- 1 Sensoriamento Espectral;
- 2 Gerenciamento Espectral;
- 3 Compartilhamento Espectral;
- 4 Mobilidade ou “*Handoff*” Espectral.



Gerenciamento espectral

- Permite a caracterização de diferentes bandas de espectro que devem ser exploradas de acordo com os requisitos apropriados dos usuários;
- As bandas podem ter sua qualidade representada de acordo com diversos parâmetros, como:
 - ▶ Grau de interferência;
 - ▶ Perda por propagação;
 - ▶ Taxa de erro;
 - ▶ Grau de atraso;
 - ▶ Tempo esperado de duração de uma ocupação de banda;
 - ▶ Capacidade do canal;
 - ▶ Relação sinal-ruído.

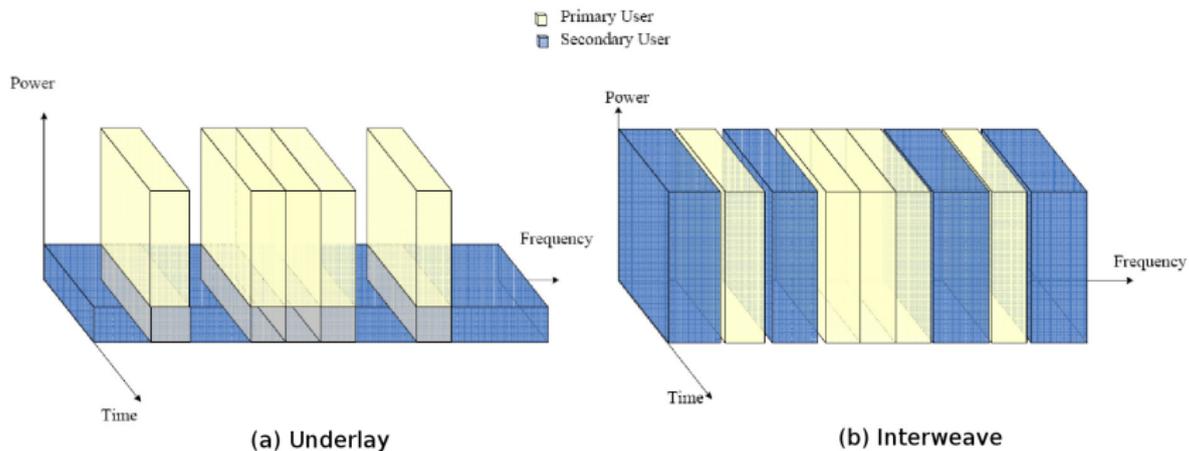


Compartilhamento espectral

- Tem por finalidade permitir o compartilhamento do acesso aos canais
 - ▶ Similar aos problemas de controle de acesso ao meio (MAC);
- Arquitetura:
 - ▶ Centralizada;
 - ▶ Distribuída;
- Comportamento na alocação do espectro:
 - ▶ Cooperativa;
 - ▶ Não cooperativa;
- Técnica de acesso ao espectro:
 - ▶ *Underlay*;
 - ▶ *Interweave*;
 - ▶ *Overlay*.



Compartilhamento espectral



Mobilidade espectral

- Para utilizar o espectro de maneira dinâmica é necessário um mecanismo que permita a mudança da frequência de operação de maneira dinâmica;
- Esta mudança deve ser suave, sem aumentar demasiadamente o atraso na comunicação ou mesmo interrompê-la;
- A mudança deve levar em consideração os requisitos de QoS;
- Impacta diretamente outras camadas da arquitetura de comunicação, como os protocolos de rede e transporte.



Rádio Cognitivo – implementação

- Software:

- ▶ GNU Radio: <http://www.gnu.org/software/gnuradio/>
 - ★ C++/Python;
 - ★ GNU Radio Companion (GRC);
- ▶ OSSIE: Open-Source SCA (*Software Communications Architecture*) Implementation-Embedded: <http://ossie.wireless.vt.edu/> (Virginia Tech);
- ▶ *Cognitive Radio Cognitive Network Simulator* <http://stuweb.ee.mtu.edu/~ljialian/>
 - ★ Baseado no NS-2.



Rádio Cognitivo – implementação

● Hardware:

- ▶ Interface RF USRP (*Universal Software Radio Peripheral*) (<http://www.ettus.com/>)
- ▶ Flex-Radio: <http://www.flex-radio.com/> (amateur radio)
- ▶ Texas Instruments

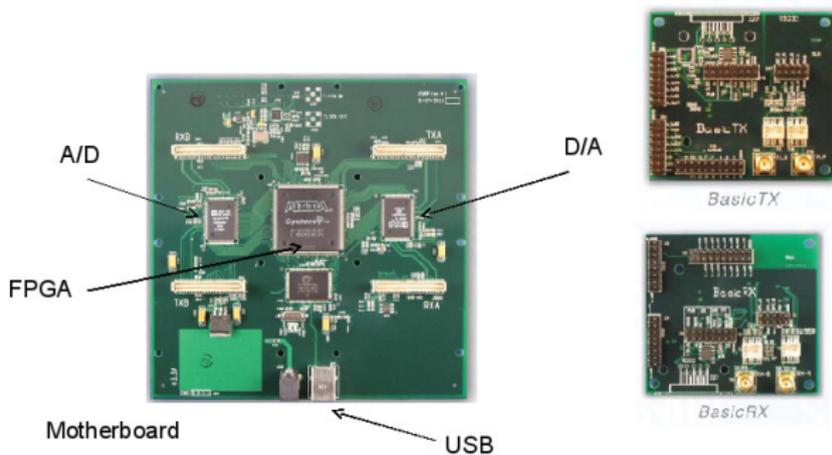


Figura: Interface USRP

Os protocolos de comunicação em redes cognitivas

- Protocolos de comunicação devem ser capazes de se adaptar à disponibilidade de faixas de espectro;
- A utilização dinâmica do espectro pode causar efeitos adversos em seu desempenho, principalmente aos protocolos sensíveis à latência;
- As redes cognitivas precisam utilizar métricas de desempenho das condições atuais de cada camada da pilha de protocolos para determinar a configuração ótima de operação da rede:
 - ▶ Projeto de relacionamento entre camadas (*cross-layer design*);
 - ▶ Importante tópico de pesquisa da área de redes cognitivas.



Protocolos de comunicação de uma rede cognitiva e suas interações

- Sensoriamento e compartilhamento espectral:
 - ▶ Interação entre si para melhorar a eficiência da alocação de faixas do espectro comunicando-se com as camadas física e de enlace;
- Gerenciamento e mobilidade espectral:
 - ▶ Atuam sobre todas as camadas do modelo OSI, obtendo informações e mudando suas configurações de acordo com a natureza dinâmica do espectro.



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas**
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais

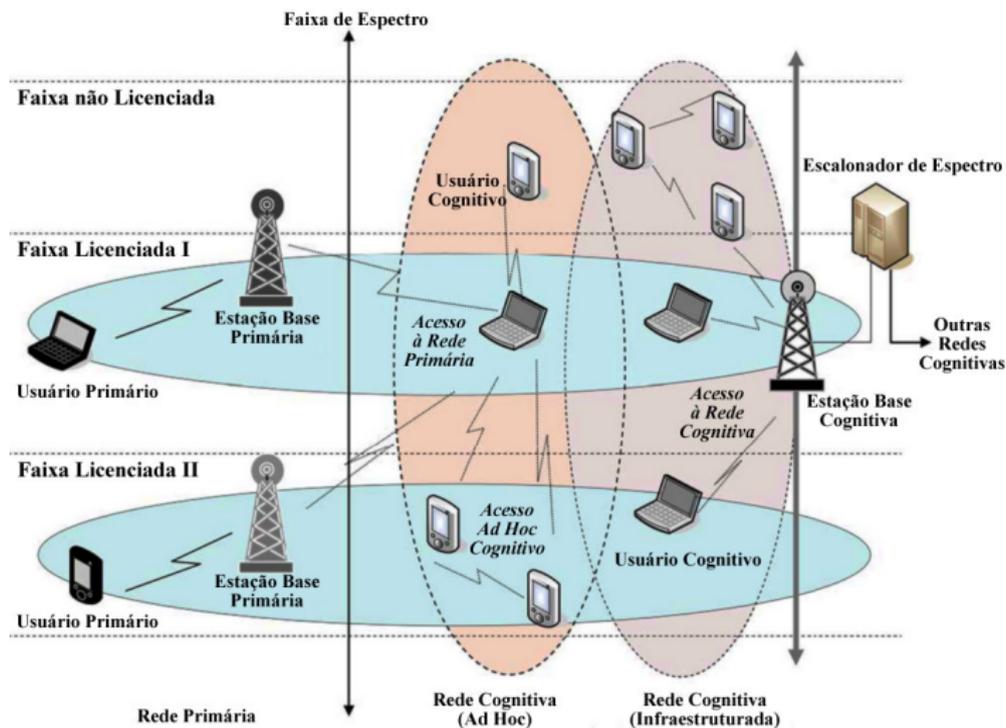


Arquitetura Geral das Redes Cognitivas

- Arquiteturas de redes sem fio atuais são bastante heterogêneas em termos de políticas de espectro e tecnologias de comunicação;
- Essa heterogeneidade impõe desafios ao projeto de protocolos para redes cognitivas
 - ▶ e.g. latência gerada pelo sensoriamento, indisponibilidade temporária de enlaces de rádio, interrupção temporária das transmissões durante *handoff* espectral;
- Uma completa definição da arquitetura das redes cognitivas é necessária.



Arquitetura Geral das Redes Cognitivas



Elementos básicos das redes primárias e cognitivas

● Rede Primária

- ▶ Usuário primário ou licenciado;
- ▶ Estação radiobase primária;

● Rede Cognitiva ou Secundária

- ▶ Usuário cognitivo, secundário ou não licenciado;
- ▶ Estação radiobase cognitiva, secundária ou não licenciada;
- ▶ Escalonador de espectro;
- ▶ Operação em faixas licenciadas e não licenciadas.



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física**
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais



Projeto da Camada Física

- Os avanços na tecnologia de rádio têm permitido o desenvolvimento de técnicas de acesso dinâmico ao espectro eletromagnético e de configuração adaptativa dos enlaces e protocolos de comunicação
 - ▶ Permite às aplicações se beneficiarem de canais de comunicação com melhor desempenho e menor interferência;
- Os rádios cognitivos representam um novo paradigma para as comunicações sem fio
 - ▶ Os nós da rede são dotados da capacidade de modificar seus parâmetros de transmissão e recepção, provendo comunicação eficiente.

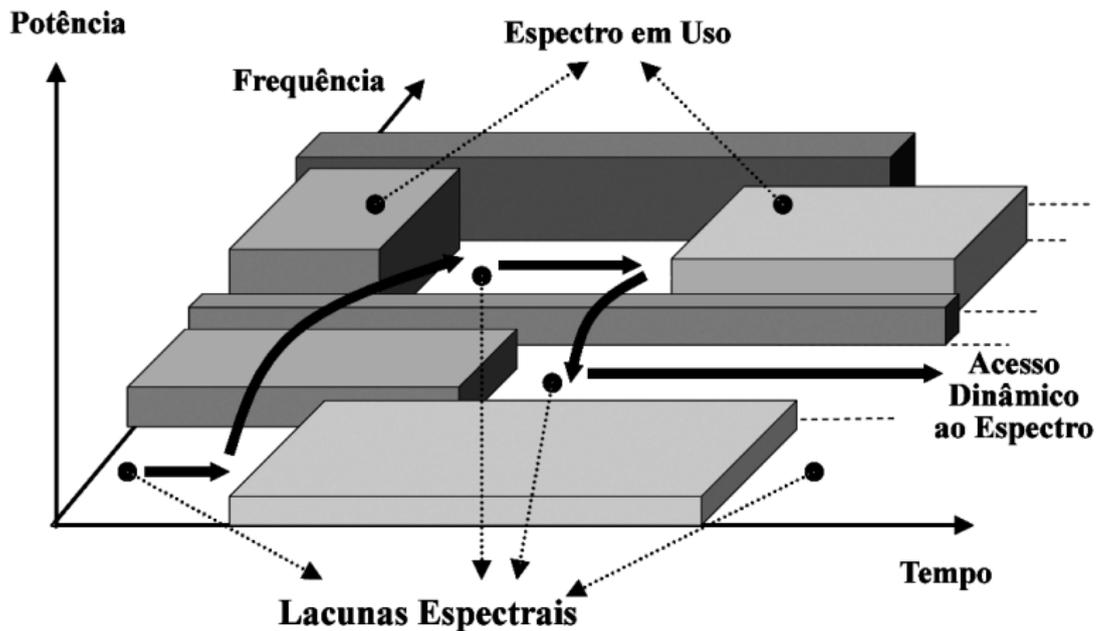


Classificação das faixas de espectro

- Segundo Haykin, as faixas do espectro de RF podem ser classificadas como:
 - ▶ Espaços negros (*black spaces*):
 - ★ Faixas ocupadas por interferências locais de alta potência;
 - ▶ Espaços cinzas (*gray spaces*):
 - ★ Faixas parcialmente ocupadas por interferências de baixa potência;
 - ▶ Espaços brancos ou espaços em branco (*white spaces*):
 - ★ Faixas livres de interferências de RF, exceto pelo ruído do ambiente (e.g., ruído térmico, ruído impulsivo);
- A tecnologia de rádio cognitivo utiliza espaços em branco (também denominados lacunas de espectro) em faixas licenciadas e não licenciadas de maneira oportunista.



Conceito de espaços em branco ou lacunas espectrais



Projeto da Camada Física

- Os rádios cognitivos devem ter conhecimento da diversidade de oportunidades de uso do espectro para selecionar o melhor canal disponível;
 - ▶ O próximo desafio é a construção de protocolos de rede que se adaptem dinamicamente à faixa de espectro selecionada;
- Assim, é necessário identificar, com confiabilidade, espaços em branco no espectro, em termos de frequência, tempo e espaço
 - ▶ Entre as principais abordagens empregadas com essa finalidade merecem destaque:
 - ★ Registro em banco de dados;
 - ★ Sinalizadores regionais;
 - ★ Sensoriamento espectral.



Sensoriamento Espectral

- Modificação dos parâmetros de transmissão é baseada no monitoramento ativo de diversos fatores externos e internos ao ambiente de rádio
 - ▶ e.g. ocupação do espectro de RF, comportamento do usuário e estado da rede;
 - ▶ Esses e outros parâmetros compõem o conhecimento contextual do ambiente de rádio;
- Para manter sua ciência sobre a ocupação do espectro de RF, os rádios cognitivos necessitam verificar frequentemente os canais disponíveis em um amplo espectro
 - ▶ Esse processo nem sempre resulta em estimativas confiáveis;
 - ▶ Erros nas estimações espectrais podem levar à ocorrência de interferências entre as transmissões;
 - ▶ Durante o sensoriamento espectral, a transmissão de dados pelas aplicações não é possível.



Sensoriamento Espectral

- Rádios cognitivos são considerados usuários de menor prioridade do espectro licenciado
 - ▶ Um requisito fundamental é evitar interferências com potenciais usuários primários em sua vizinhança;
- Sistemas primários não precisam modificar sua infraestrutura para o compartilhamento do espectro com redes cognitivas
 - ▶ Os rádios cognitivos devem ser capazes de detectar a presença de usuários primários por meio de um processo contínuo de sensoriamento.



Problemas de detecção

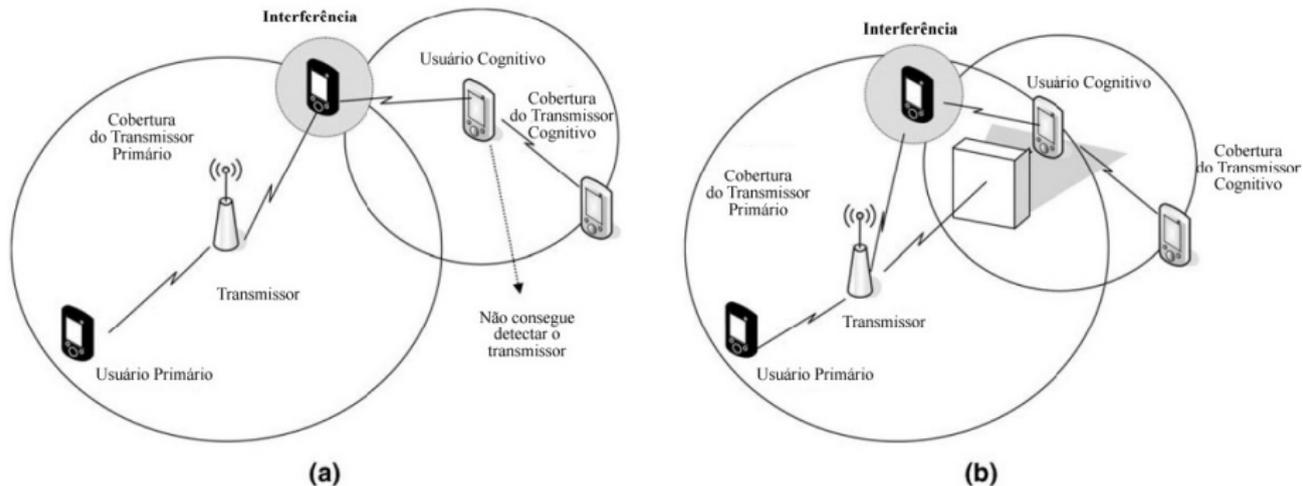


Figura: (a) incerteza sobre o receptor e (b) incerteza sobre o sombreamento.

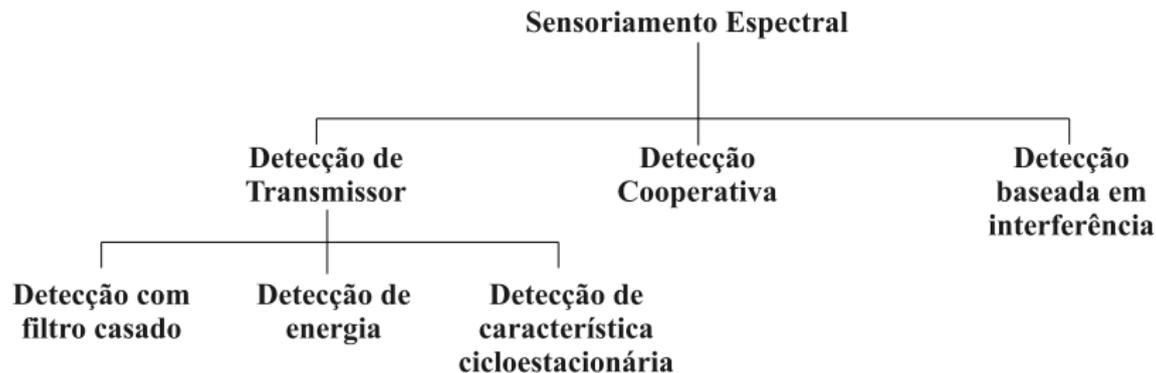
Técnicas de Sensoriamento Espectral

- O rádio cognitivo deve distinguir faixas do espectro livres e ocupadas
 - ▶ Para tanto, ele deve ter a capacidade de determinar se o sinal de um transmissor primário está presente em uma certa faixa do espectro;
- Quando sinais primários não são detectados o rádio cognitivo passa a utilizar o canal de forma oportunista
 - ▶ Ao alocar uma faixa do espectro um rádio cognitivo deve continuar o monitoramento do canal;
 - ▶ Caso um sinal licenciado seja detectado, ele deve disponibilizar o canal;
- Hipótese binária sobre a ocupação do canal:

$$r(t) = \left\{ \begin{array}{ll} n(t) & H_0, \text{ - canal vago} \\ h.s(t) + n(t) & H_1 \text{ - canal ocupado} \end{array} \right\}$$



Técnicas de Sensoriamento Espectral

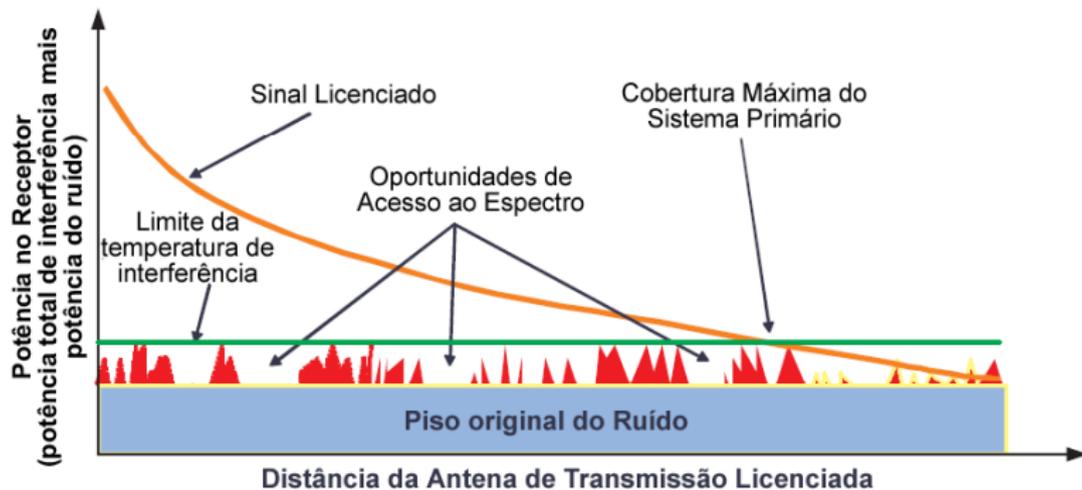


Detecção baseada em interferência

- Utiliza um modelo de medição criado pela FCC chamado de “temperatura de interferência”;
- Nesse modelo, um sinal transmitido por uma estação de rádio é projetado para operar em uma faixa em que a potência recebida aproxima-se do nível de piso do ruído;
- À medida que sinais de interferência aparecem, o piso do ruído é ampliado em vários pontos na área de serviço;
- Diferente das abordagens centradas no transmissor, o modelo de temperatura de interferência gerencia a interferência no receptor por meio de um limite de temperatura.



Modelo de detecção baseada em interferência



Desafio relacionado à detecção baseada em interferência

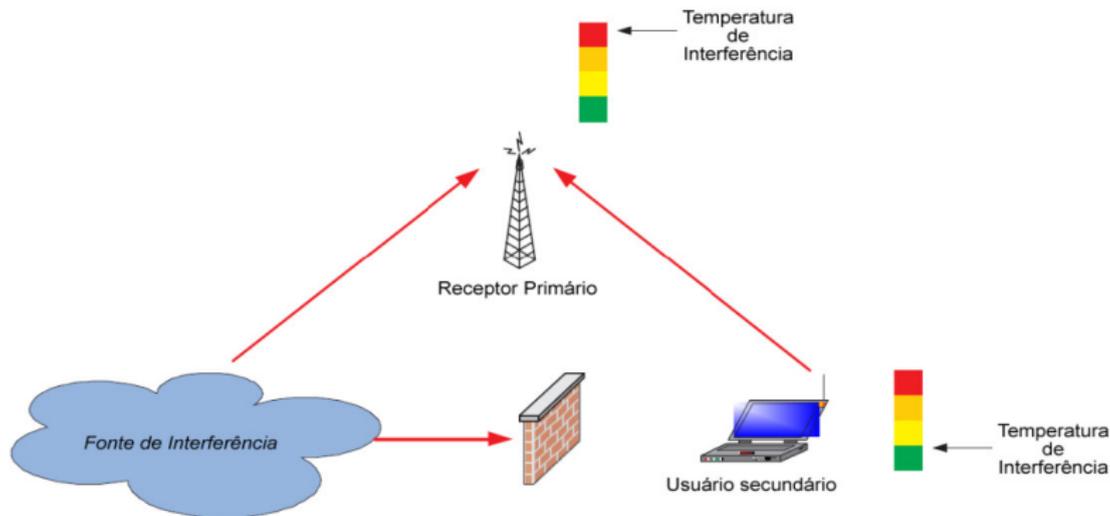


Figura: Desafio relacionado à detecção baseada em interferência.

Detecção cooperativa

- Os demais processos de sensoriamento baseiam-se na observação local de sinais primários fracos;
- Os problemas de desvanecimento ou de sombreamento impactam esse processo
 - ▶ Isso faz com que os requisitos de sensibilidade sejam demasiadamente rigorosos;
- Assim, a incerteza causada pelo desvanecimento pode ser tratada, permitindo que diferentes usuários compartilhem seus resultados de sensoriamento
 - ▶ Dessa forma passa a ser possível aos rádios cognitivos, cooperativamente, decidir sobre a ocupação do espectro.



Detecção cooperativa

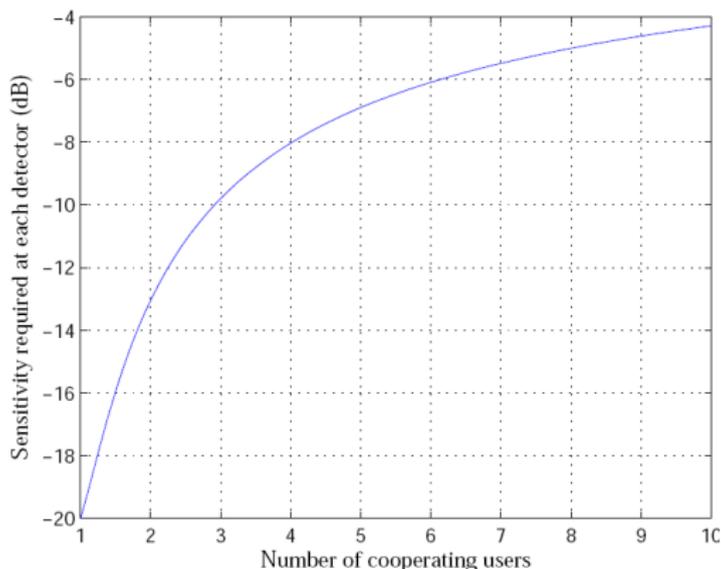


Figura: Sensibilidade (SNR mínimo detectável) requerido pelos rádios cognitivos individuais para alcançar uma sensibilidade de detecção geral de -20 dB sob desvanecimento Rayleigh versus o número de usuários cooperativos.



Detecção baseada no transmissor

- Forma mais simples de sensoriamento espectral;
- Monitoramento de frequências licenciadas por meio de observações locais;
- Quando não são detectados sinais primários em uma determinada banda, o rádio cognitivo passa a utilizar o canal de forma oportunista;
- Similar à abordagem “*listen-before-talk*” do IEEE 802.11 (Wi-Fi);
- Principais técnicas:
 - ▶ Filtro casado;
 - ▶ Detecção de energia;
 - ▶ Detecção de características.



Detecção com filtro casado

- Adequada quando as informações do sinal primário são conhecidas a priori pelo usuário secundário
 - ▶ e.g. forma de pulso, frequência da portadora, tipo de modulação, formato do quadro;
- Nesse caso, o detector ótimo para canais AWGN será um filtro casado seguido por um teste de limiar.



Detecção de energia

- Às vezes não se tem acesso às informações dos sinais dos usuários primários
 - ▶ Nesse caso, a alternativa mais simples de detecção de um sinal primário com ruído é realizar a detecção de energia;
- Em baixos níveis de SNR, quando comparado à utilização de filtros casados, a detecção de energia requer um maior tempo de sensoriamento para atingir um bom desempenho
 - ▶ Baixo custo de implementação e simplicidade tornam essa abordagem favorável para o sensoriamento espectral;
- Mede a energia recebida em uma faixa durante um intervalo de observação e a declara uma lacuna de espectro se a energia medida for menor que um limiar estabelecido.



Detecção de energia

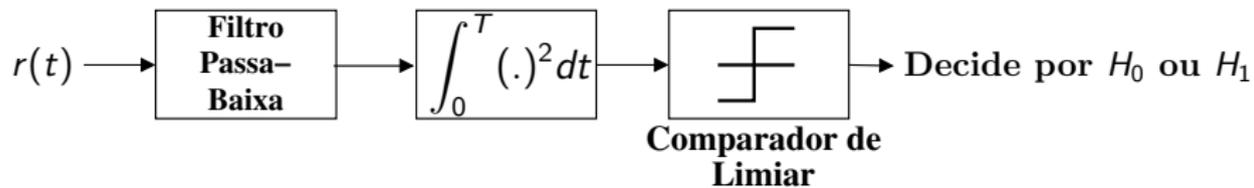


Figura: Diagrama de blocos de um detector de energia.

Detecção de características

- A principal desvantagem do detector de energia é a sua falta de habilidade em diferenciar fontes de energia (e.g., um usuário primário e o ruído)
 - ▶ Isso o faz suscetível às incertezas sobre a potência do ruído de fundo, especialmente com baixa relação sinal-ruído;
- Se algumas características do sinal primário são conhecidas, então detectores de características podem ser empregados;
- É possível verificar a existência de um dado sinal capturando assinaturas específicas do sinal
 - ▶ e.g., frequência da portadora, tipo de modulação, sinais piloto, preâmbulos, campos de sincronização, cicloestacionaridade;
- Exemplo: detecção de características cicloestacionárias.



Detecção de características cicloestacionárias

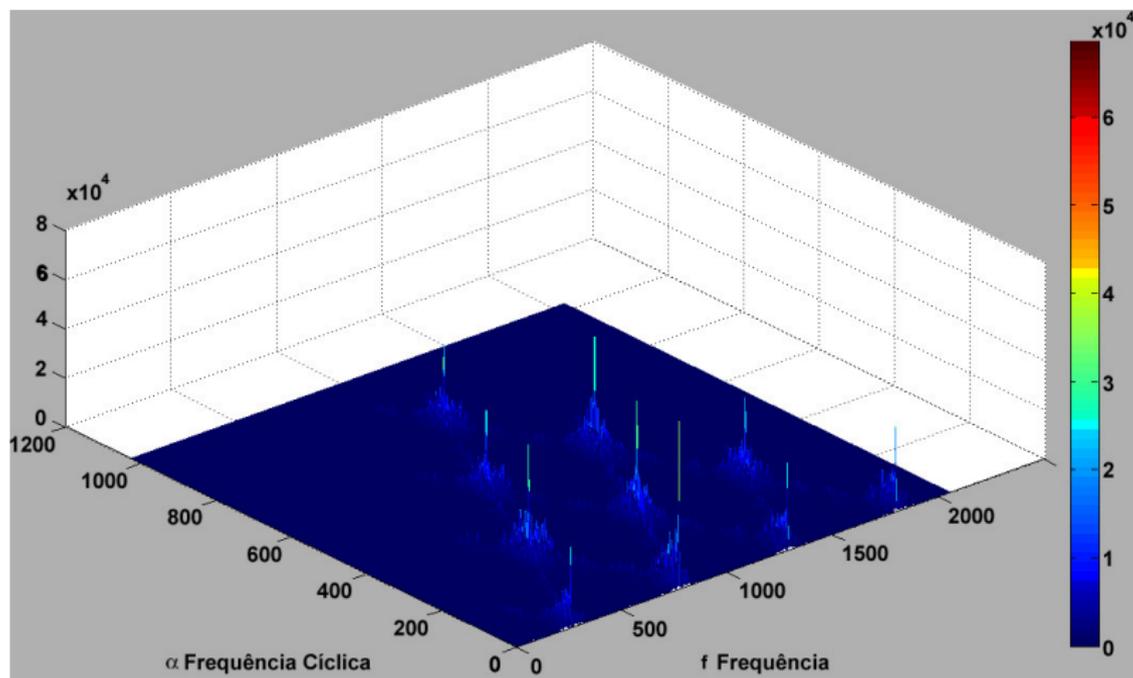


Figura: Função de correlação espectral do sinal 4-FSK.



Comparação entre as técnicas

Técnicas de Sensoriamento	Vantagens	Desvantagens
Filtro Casado	<ul style="list-style-type: none"> • Desempenho Ótimo 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependente do sinal • Alto consumo de energia
Detecção de Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa Complexidade • Independe do Sinal Primário 	<ul style="list-style-type: none"> • Suscetível à Incerteza do Ruído • Suscetível à Interferência
Detecção de Características	<ul style="list-style-type: none"> • Robusto contra Incerteza do Ruído • Robusto contra Interferência 	<ul style="list-style-type: none"> • Computacionalmente Complexo



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio**
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais



Controle de Acesso ao Meio

- *Medium Access Control* (MAC)
- MAC em Redes Cognitivas;
- Identificar os recursos espectrais disponíveis
 - ▶ Técnicas de sensoriamento;
 - ▶ Decisão dos períodos ótimos para a transmissão;
 - ▶ Coordenação do acesso espectral.
- MAC em Redes Infraestruturadas e *Ad hoc*
 - ▶ Acessos: Aleatório, Agendado e Híbrido.
- Gerenciamento Espectral.



Gerenciamento Espectral em Redes Cognitivas

- As faixas espectrais ociosas possuem diferentes características;
- Gerenciamento espectral:
 - ▶ Evitar a interferência com usuários primários;
 - ▶ Atender os requisitos de QoS;
- Sensoriamento Espectral;
- Análise Espectral;
- Decisão Espectral.



Análise Espectral

- Caracterização das faixas ociosas detectadas;
- Qualidade da faixa espectral:
 - ▶ Nível de interferência;
 - ▶ Taxa de erro do canal;
 - ▶ Atenuação por percurso;
 - ▶ Tempo de espera.

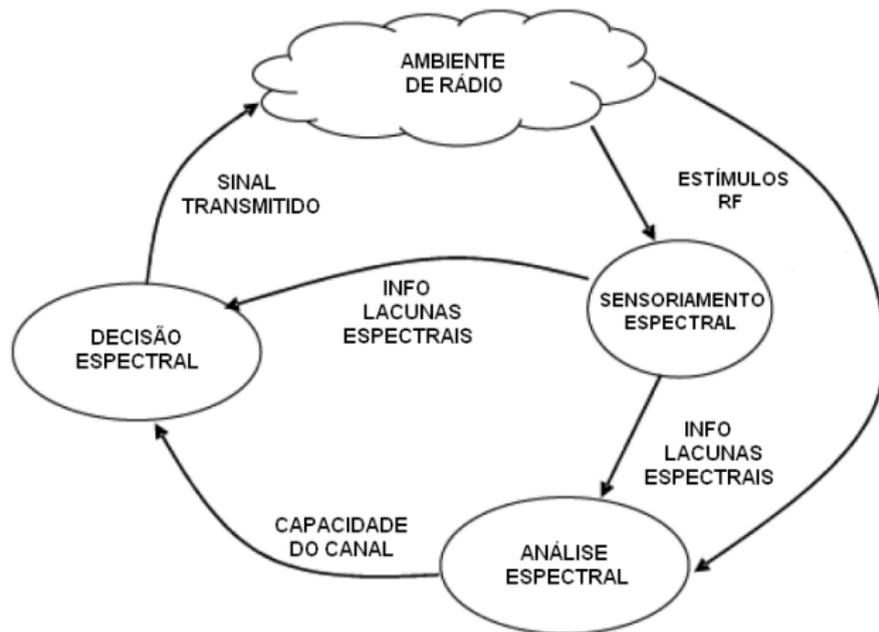


Decisão Espectral

- Gerenciamento espectral e requisitos de QoS;
- Resultados da Análise Espectral → Decisão Espectral:
 - ▶ Taxa de transmissão de dados;
 - ▶ Taxa aceitável de erros;
 - ▶ Limitante de atraso;
 - ▶ Modo de transmissão;
 - ▶ Largura de banda.
- Conjunto de faixas apropriadas.



O Ciclo Cognitivo



Controle de Acesso ao Meio

- Decisão Espectral --> MAC;
- Duas propostas distintas:
 - ▶ Redes Infraestruturadas – estação radiobase gerencia a alocação espectral e compartilha essa informação com os usuários secundários;
 - ▶ Redes *Ad hoc* – protocolos distribuídos, que operam sem o suporte de uma entidade de controle centralizada;
- Classificação em relação ao tipo de acesso:
 - ▶ Acesso Aleatório;
 - ▶ Acesso Agendado;
 - ▶ Acesso Híbrido.



Desafios Relativos ao Controle de Acesso ao Meio

- Projeto do canal de controle;
- Adaptação à transmissão do usuário primário.



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede**
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais

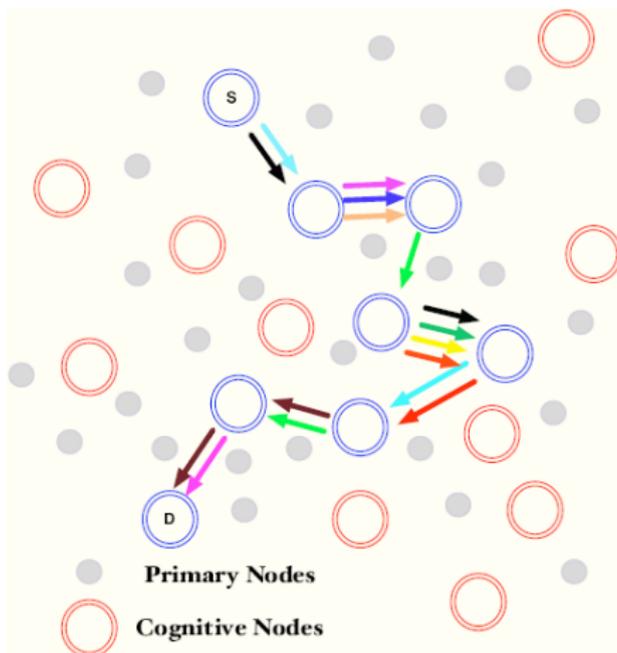


Projeto da Camada de Rede

- Controle de fluxo;
- Gerenciamento de recursos de rádio;
- Gerenciamento da mobilidade da rede;
 - ▶ Seleção espectral e roteamento conjuntos;
 - ▶ Processos cognitivos e protocolos de roteamento.
- O roteamento em Redes Cognitivas deve considerar a presença de múltiplos canais para transmissões paralelas?
- Canal de Controle Comum



Múltiplas Faixas de Frequência entre Nós



Desafios Relativos ao Projeto da Camada de Rede

- Disponibilidade de enlace;
- Enlaces unidirecionais.
- Re-roteamento.

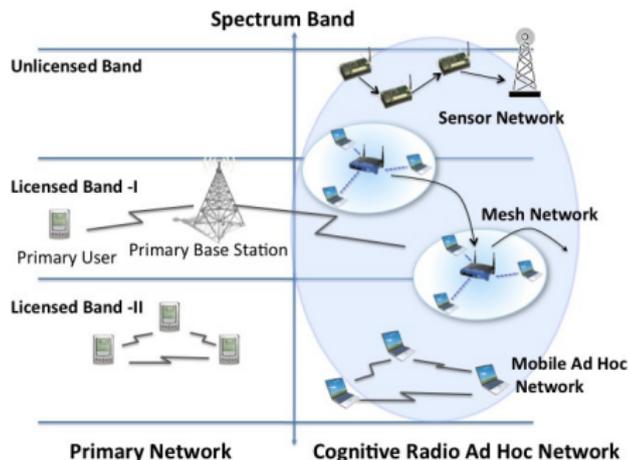


- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas**
- 7 Considerações Finais



Aplicações de Redes Cognitivas

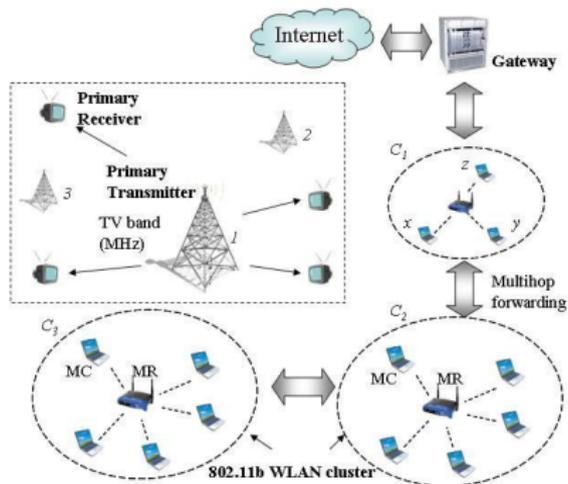
- Redes Alugadas – Permissão do acesso oportunista do espectro licenciado, por meio do acordo com a rede secundária em não prejudicar os parâmetros de qualidade de serviço dos usuários primários;
 - ▶ Aluguel do acesso espectral para um número limitado de operadoras;
 - ▶ Aluguel para uma comunidade regional → acesso sem fio em banda larga.



Aplicações de Redes Cognitivas

● Redes *Mesh* Cognitivas

- ▶ Aumento da densidade da rede;
- ▶ Aplicações demandam maior vazão de dados;
- ▶ Redes *Mesh* necessitam de um aumento em sua capacidade;
- ▶ Pontos de Acesso cognitivos e nós *relay* cognitivos.



Aplicações de Redes Cognitivas

- Redes de Emergência – As redes cognitivas também podem ser implementadas para o auxílio na operação de redes de emergência;
 - ▶ Desastres naturais → inviabilizar a infraestrutura existente de comunicações;
 - ▶ Formação de Redes de Emergência;
 - ▶ Informações críticas → uma comunicação segura precisa ser garantida com a mínima latência de transmissão.
 - ▶ Disponibilidade significativa de espectro de rádio para a manipulação de grandes volumes de tráfego de dados, incluindo voz, vídeo e dados.



Aplicações de Redes Cognitivas

- Redes Militares – Dispositivos militares de comunicação:
 - ▶ Escolher faixas de frequência intermediária;
 - ▶ Esquemas de modulação e de codificação adaptáveis às variações do ambiente de rádio em campos de batalha.
 - ▶ Demanda por recursos de segurança e proteção das transmissões em ambientes hostis.
 - ▶ As redes cognitivas permitem às equipas militares realizarem o *handoff* espectral e identificar faixas espectrais seguras, livres de interceptação por tropas inimigas.



- 1 Introdução
- 2 Arquitetura Geral das Redes Cognitivas
- 3 Projeto da Camada Física
- 4 Controle de Acesso ao Meio
- 5 Projeto da Camada de Rede
- 6 Aplicações das Redes Cognitivas
- 7 Considerações Finais**



Considerações Finais

- Redes Cognitivas → solucionar problemas:
 - ▶ Limitada disponibilidade espectral;
 - ▶ Ineficiência na utilização espectral;
- Sensoriamento Espectral;
 - ▶ Técnicas de Processamento Digital de Sinais;
- Estratégias cooperativas para o gerenciamento espectral;
- Integração das capacidades cognitivas em camadas superiores da pilha de protocolos;
- Necessidade de regulamentação para as redes cognitivas.
- Aspectos e desafios relativos ao projeto e implementação de redes cognitivas.



• Dúvidas?



Contato

- Rafael Fernandes Lopes (rafaelf@ifma.edu.br)

