

Coexistence of Multiple Cognitive Wireless Networks: A Overview

Eduardo Pagani Julio*[†], Celio Albuquerque*

*Fluminense Federal University, UFF, Brazil

Email: {ejulio,celio}@ic.uff.br

[†]Federal University of Juiz de Fora, UFJF, Brazil

Resumo—This paper describes a overview of coexistence in cognitive wireless networks.

I. INTRODUÇÃO

A limitada disponibilidade de espectro e a ineficiência de sua utilização geram demandas por novos mecanismos e paradigmas de comunicação que explorem o espectro existente de maneira mais eficaz [1]. As Redes Cognitivas, também denominadas Redes de Rádios Cognitivos ou Redes sem fio de Próxima Geração [2], [3], representam uma tecnologia de rede que aumenta a eficiência da alocação espectral, por meio do acesso oportunista às faixas de frequência.

Em busca de alternativas para o uso mais eficiente das faixas de frequência disponíveis [1], estudos têm mostrado que, enquanto um pequeno número de faixas de frequência é muito utilizado, grande parte do espectro (especialmente entre 3 a 6 GHz) permanece subutilizada, na maior parte do tempo.

Orgãos reguladores em todo o mundo iniciaram padronizações para o uso dos chamados Espaços em Branco de TV (TVWS - *TV White Spaces*) [4], onde canais de TV Analógicos estão sendo liberados em função da implantação das transmissões de TV Digital. Essa liberação permite que uma das primeiras aplicações de rádios cognitivos seja realmente implementada. Esses órgãos reguladores, em vista de uma melhor utilização dessas faixas de espectro liberadas, criaram então padrões para a utilização do espectro por usuários sem fio não licenciados, sem que interfiram nos usuários com os serviços licenciados nessas faixas.

A importância comercial e os benefícios trazidos pelas comunicações TVWS são, no entanto, tão grande quanto o desafio que esta promissora aplicação da tecnologia de rádio cognitivo. Por um lado, há a utilização eficiente do espectro VHF/UHF, introduzindo novos serviços sem fios, sem deixar de lado novas bandas de frequência. Esta característica atraente de comunicações em TVWS tem motivado diversas ações para a sua normalização, que se manifestou pela criação do Grupo de Trabalho IEEE 802.22 em 2004 e Grupo de Tarefas IEEE 802.11af em 2009. Atividades da ECMA (*European Computer Manufacturers Association*) Comitê Técnico 48 Grupo de Trabalho 1 (TC48-TG1) para a criação de normas de camada física (PHY) e controle de acesso ao meio (MAC) para operação em TVWS começaram também em 2009. Por outro lado, a oposição por parte das emissoras de TV para

compartilhar o espectro dedicado (licenciado) com usuários secundários, é muito forte [5].

Um desafio mais recente, no entanto, é a prevenção de interferências prejudiciais entre várias redes secundárias sobre a disponibilidade de TVWS. Este problema tem atraído tanto a atenção que o Grupo de Trabalho de coexistência sem fios IEEE 802.19, criou o subgrupo IEEE 802.19.1, cujo objetivo é criar métodos padronizados, independente da tecnologia de rádio, para a coexistência entre diferentes redes em TVWS. O IEEE 802.19.1 trabalha em uma abordagem de alto nível, isto é, novos projetos de camada física e MAC não são considerados. Os resultados esperados deste subgrupo são mecanismos de coexistência que ofereçam compartilhamento eficiente do espectro, senão a disputa por espectro pelas redes secundárias pode tornar impossível a coexistência. A padronização permite que soluções sejam produzidas pela indústria de forma compatível [6].

A heterogeneidade e a coexistência são as características de qualquer faixa de espectro e não são exclusivas para TVWS. No entanto, a natureza dinâmica da TVWS juntamente com requisitos de proteção aos usuários primários cria novos desafios que devem ser considerados neste contexto.

Diante disso, o objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral dos problemas de coexistência em TVWS e dos padrões que estão sendo desenvolvidos para auxiliar nesse processo.

Esse artigo está organizado como segue. Na Seção II são descritos os principais conceitos de redes cognitivas e TVWS. Na Seção III é explicado o problema da coexistência em redes cognitivas, bem como os desafios da área. Já na Seção IV, são explanados os principais pontos do padrão IEEE 802.19.1 criado para tratar de problemas de coexistência nos futuros padrões do IEEE. Por fim, a Seção V apresenta as considerações finais e trabalhos futuros.

II. REDES COGNITIVAS E TVWS

A Figura 1 apresenta a arquitetura geral das redes cognitivas proposta em [1]. Em um ambiente de redes cognitivas, algumas porções do espectro estão licenciadas para diferentes propósitos, enquanto outras permanecem não licenciadas. Dessa forma, os componentes da arquitetura geral de redes cognitivas podem ser classificados como primários (ou licenciados) e cognitivos (ou não licenciados).

Os elementos básicos das redes primárias e cognitivas são definidos a seguir [1]:

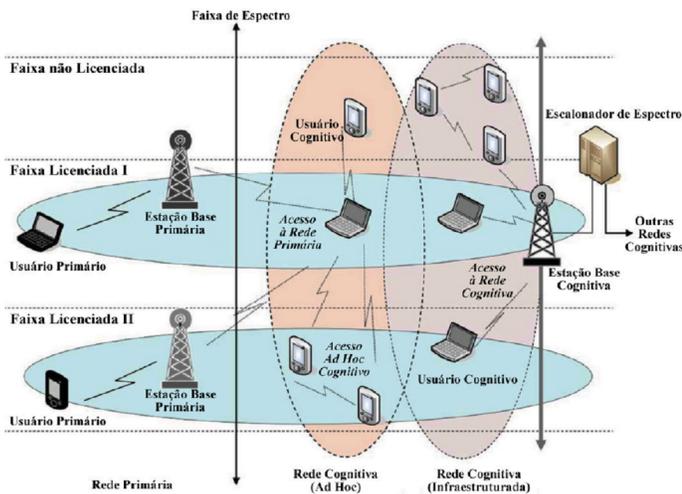


Figura 1. Arquitetura de redes cognitivas.

- Rede Primária - infraestrutura de rede já existente e que tem direitos de acesso exclusivos a certa faixa do espectro (como redes de celulares e de televisão). Seus componentes são:
 - Usuário Primário: ou licenciado, tem licença para operar em uma determinada faixa do espectro. Seu acesso não deve ser afetado por transmissões de usuários não licenciados. Esses usuários não necessitam modificar sua infra-estrutura para coexistir com estações rádio base e usuários cognitivos;
 - Estação Rádio base Primária: componente fixo da infra-estrutura de rede que tem licença de acesso ao espectro. Não apresenta capacidade cognitiva para o compartilhamento do espectro com usuários cognitivos;
- Rede Cognitiva ou Secundária - infra-estrutura de rede que não tem licença para operar em uma determinada faixa. Seu acesso ao espectro é realizado somente de maneira oportunista. Podem operar em modo infra-estruturado ou *ad hoc*. Os componentes de uma rede cognitiva são:
 - Usuário Cognitivo, Secundário ou não Licenciado: não tem licença de uso do espectro. Faz uso das funcionalidades de compartilhamento de faixas licenciadas do espectro para realizar comunicações;
 - Estação Rádio Base Cognitiva, Secundária ou não Licenciada: componente fixo da infra-estrutura da rede cognitiva. Fornece mecanismos de conexão de salto único aos usuários cognitivos. Por meio das estações base, um usuário cognitivo pode ter acesso à rede fixa e a outras redes cognitivas;
 - Escalonador de Espectro: os dispositivos de uma rede cognitiva capturam sua visão local da atividade espectral. Essa informação pode ser diretamente compartilhada entre eles ou agregada em uma base de dados central que provê informações sobre os

emissores locais, as políticas de acesso e a área em que os sinais são transmitidos [7]. O escalonador de espectro é uma entidade central da rede responsável pelo armazenamento dessas informações, além de organizar o acesso aos recursos espectrais entre diferentes redes cognitivas. Ele é um gerenciador de informações de recursos espectrais, e permite a coexistência entre múltiplas redes cognitivas.

Dentro dessa perspectiva, o *Federal Communications Commission* (FCC) dos Estados Unidos [4], [8] e outros órgãos reguladores espalhados pelo mundo, como o *Office of Communications* (OfCom) do Reino Unido [9], o *Electronic Communications Committee* (ECC) na Europa, entre outros, estão se preocupando com a padronização na melhor utilização dessas faixas de frequência liberadas.

A. Regulamentação do FCC para Redes Cognitivas

O FCC publicou recentemente as regras finais [8] que regulam a operação secundária não licenciada em TVWS, em que os dispositivos são divididos em duas categorias: *fixa* e *pessoal/portátil*.

Dispositivos fixos podem transmitir até 4W (EIRP - *Equivalent Isotropically Radiated Power*), com uma densidade espectral de potência (PSD - *Power Spectral Density*) de 16.7mW/100kHz e devem ter capacidade de geolocalização e um meio para recuperar uma lista de canais disponíveis a partir de um banco de dados autorizado. Os dispositivos fixos são restritos para operar em canais adjacentes aos canais ativos de TV. Para dispositivos pessoais/portáteis, é permitido um máximo de 100 mW EIRP (com PSD de 1.67mW/100kHz) em canais não-adjacentes aos serviços de TV aberta e 40mW (com PSD de 0.7mW/100kHz) em canais adjacentes a canais ativos de TV [8].

Dispositivos pessoais/portáteis são classificados em dois modos: *Modo I* e *Modo II*. Similar aos dispositivos fixos, os dispositivos do Modo II devem possuir capacidade de geolocalização e acesso a banco de dados a fim de obter uma lista de canais disponíveis. Em contraste, os dispositivos do Modo I não são obrigados a ter geolocalização e acesso ao banco de dados, mas devem obter uma lista de canais disponíveis a partir de um dispositivo fixo ou Modo II.

Portanto, dispositivos de Modo I devem estar localizados dentro da faixa de alcance de um dispositivo fixo ou modo II, a fim de receber um sinal de autorização uma vez a cada 60s. Caso contrário, devem interromper a operação e reiniciar o contato com o dispositivo de ativação. Restrições adicionais na operação de canais são aplicáveis aos dispositivos fixos e portáteis. Dispositivos fixos podem operar entre os canais 2 e 51, excluindo os canais 3, 4, e 37 (reservados para utilização em equipamentos domésticos, como aparelhos de DVDs e *set-top boxes*, e sistemas médicos de telemetria sem fio, ou WMTS *Wireless Medical Telemetry Systems*). Além disso, alguns dos canais entre 14 e 20 são utilizados para operações móveis terrestres (segurança pública e serviços comerciais móveis de rádio) nas principais áreas metropolitanas, e deve ser evitado por dispositivos TVWS em tais áreas. Dispositivos

pessoais/portáteis somente são permitidos entre os canais 21 a 51 (excluindo o canal 37) [10].

A principal expectativa é que os dispositivos fixos provavelmente serão usados em áreas rurais, enquanto que os dispositivos portáteis podem ser muito utilizados em áreas metropolitanas. A ideia por trás dessa alocação de canais é para evitar o risco de interferência com serviços primários, especialmente em áreas de alta densidade populacional.

As regras do FCC também definem requisitos de detecção, apesar de dispositivos fixos e Modo I e II não são obrigados a implementar capacidades de detecção. Dispositivos de detecção apenas estão habilitados de acordo com as regras da FCC [8], mas são sujeitos a testes especiais, a fim de obter a certificação. O FCC exige [8] que a TV Digital e sinais de microfone sem fio devem ser detectados em um nível de sinal recebido de -114dBm. Para a primeira utilização de um canal por meio de dispositivos TVWS, ele deve ser sensoriado por 30s antes de determinar a sua disponibilidade. Uma vez ocupada, a detecção deve ser realizada pelo menos uma vez a cada 60s. Se um usuário primário é detectado, o canal deve ser desocupado dentro de 2s [10].

Estas regras de sensoriamento exigem a adoção de técnicas de rádios cognitivos para lidar com os desafios fundamentais relacionados à coexistência com os usuários primários, bem como com outros sistemas secundários. Apesar da detecção não ser necessária pelas normas mais recentes do FCC, a maioria das normas sem fios a serem desenvolvidas para a operação em TVWS devem incluir recursos para suportar o sensoriamento, que podem fornecer ferramentas adicionais para otimização do desempenho do sistema e a proteção dos usuários primários.

B. Outras Regulamentações

O Grupo de Trabalho IEEE 802.22 desenvolveu uma especificação de camada física e camada MAC para operação em TVWS. A principal aplicação está voltada para o acesso banda larga fixa. A norma 802.22 adotou OFDMA na camada física e MAC orientado a conexão e centralizado, onde a estação base controla as alocações de recursos dentro de sua célula. A camada MAC deverá fornecer taxas de dados do usuário de 1.5Mb/s no *downlink* e 384 kb/s no *uplink* por canal de TV de 6 MHz [11]. As camadas física e MAC do 802.22 incluem novas funcionalidades cognitivas para proteger usuários primários e alcançar a utilização eficiente do espectro, tais como a detecção confiável de usuários primários combinando sensoriamento do espectro, geolocalização e banco de dados, agilidade de frequência, além de mecanismos de auto-coexistência.

Diferentes iniciativas também têm sido propostas dentro do Grupos de Trabalho IEEE 802.11, 802.22 e 802.19 com foco em dispositivos de uso pessoal/portátil que são considerados a direção do mercado futuro. O subgrupo 802.11af, aprovado em dezembro de 2009, espera definir uma nova camada física e modificações associadas a camada MAC para operação em TVWS. O padrão 802.22 expandiu também o seu âmbito a permitir CPEs portáteis para ligar à BSS, quando estão em

estreita proximidade com a BS. No entanto, o padrão de 802.22 não cobre CPE totalmente móvel a velocidades veiculares. Além disso, o recém-lançado padrão ECMA 392 [12] especifica camadas física e MAC para operação em TVWS que visam o acesso à Internet e distribuição de conteúdo multimídia para dispositivos pessoais/portáteis. Outros esforços de padronização relacionadas com a tecnologia de rádios cognitivos estão em andamento no IEEE SCC grupo 41 [13].

III. DESAFIOS DE COEXISTÊNCIA

Uma consequência natural de várias redes com acesso desordenado a TVWS é a interferência incontrolável, resultando em incapacidade de coexistir. A falta de coexistência efetiva pode impedir a exploração completa do TVWS e reduzir significativamente a sua utilidade.

A coexistência em redes cognitivas é apresentada como um problema onde duas ou mais dessas redes disputam faixas de espectro secundárias de maneira concorrente. O grande problema da coexistência nessas redes é a necessidade de detecção do usuário primário nas faixas de frequência licenciadas e, se detectado, a total remoção das atividades do usuário secundário naquela frequência.

Os problemas de coexistência podem ser classificados em três categorias: *detecção de disponibilidade de espectro*, *mitigação de interferências*, e *compartilhamento de espectro*. As questões em aberto abrangem requisitos de regulamentação (limites de sensoriamento do espectro) e heterogeneidades em características de funcionamento dos sistemas secundários, incluindo a arquitetura de rede (mestre-escravo, *peer-to-peer*, *mesh*), categoria de dispositivo (fixo ou pessoal/portátil), os limites de potências de transmissão, largura de banda operacional, esquemas de modulação/codificação e esquemas de MAC (reserva ou acesso baseado em contenção) [10].

A. Detecção de Disponibilidade de Espectro

A detecção de disponibilidade de espectro se refere a identificação de canais de TV disponíveis para uso sem causar interferências prejudiciais para os usuários primários. Além disso, a detecção de redes secundárias coexistentes também é importante, principalmente para permitir decisões otimizadas para a seleção de canais [10].

- Detecção de Usuários Primários - As redes sem fio cognitivas (CWSs - *Cognitive Wireless Networks*) devem aplicar métodos confiáveis para detectar TVWS disponíveis. Por exemplo, o FCC exige que os sistemas secundários determinem um canal de TV disponível usando principalmente um banco de dados de usuários primários, mas o sensoriamento do espectro é também definido nas regras com requisitos muito exigentes.
- Banco de Dados de Espaços em Branco - WSD (*White Space Database*) é um repositório central gerido por uma autoridade confiável e segura. Ele armazena informações sobre as operações dos usuários primários, isto é, a localização de usuários primários, seus requisitos de potência de transmissão, canais utilizados, e duração prevista de uso [14].

Os sistemas secundários consultam o WSD para determinar a disponibilidade de um canal de TV ao fornecerem suas próprias localizações geográficas. Ao receber uma consulta, o WSD envia informações sobre os canais disponíveis no local especificado e níveis de potência permitidos para transmissão [11] sobre esses canais. Certos dispositivos secundários (fixos e Modo II) são necessários para a auto-localização geográfica, a fim de acessar o WSD. Em CWNs fixas, a BS e CPE provavelmente serão equipados com geolocalização baseada em satélite, embora uma alternativa é mecanismo proposto no padrão 802.22 [11].

No caso de CWNs fixas, pontos de acesso (APs) terão de implementar a auto-localização geográfica, a fim de operar como mestre (Modo II) para dispositivos escravos de baixo consumo (Modo I). Em muitos casos de uso *indoor*, a disponibilidade de sinais de satélite pode ser um problema, portanto, as técnicas de localização e de cooperação com outras redes são opções viáveis, especialmente dada a relativamente baixa resolução exigidas pelo mecanismo de geolocalização (por exemplo, +-50m proposta pelo FCC).

- Sensoriamento de Espectro - é o processo de sensoriamento do espectro de rádio frequência (RF), a fim de detectar a presença de sinais usuários primários, geralmente acima de um certo limiar de detecção, que define o nível de sinal mínimo em que o sinal do usuário primário deve ser detectado. Qualquer metodologia utilizada para detecção de espectro é calibrada em termos de dois parâmetros: probabilidade de falsos alarmes (Pfa) e probabilidade de falhas na detecção (1 - Pd). Normalmente, há um *trade-off* entre a eficiência de detecção e da sobrecarga necessária para a detecção, ou seja, a duração necessária para a detecção alcançar um (Pd, Pfa) desejado [15].

Técnicas de detecção de espectro confiável até o momento são classificadas em cinco grandes categorias [15]: detecção de energia, sensoriamento baseado em forma de onda, combinação de filtragem, detecção baseada em identificação de rádio, e sensoriamento baseado em cicloestacionaridade.

- Detecção de Usuário secundário - CWNs Futuras também vão precisar detectar sistemas secundários coexistentes que operam em canais de TV iguais ou diferentes. Isto irá requerer a detecção das interfaces potencialmente diferentes. Por exemplo, será crítico para redes 802.11af e ECMA 392 detectar a presença de redes 802.22 próximas, uma vez que eles podem impor interferências graves, e evita a queda da capacidade da rede devido à interferência.

Coexistência de redes semelhantes (isto é, as redes que operam com o mesmo conjunto de tecnologias e protocolos, também chamado auto-coexistência) é considerado nas normas atuais, como o 802.22 [11]. O primeiro passo em qualquer mecanismo de auto-coexistência é a capacidade para detectar as redes vizinhas. Caso contrário, isto

pode conduzir aos seguintes problemas:

- perda de desempenho pode ser experimentada devido à interferência nas regiões de sobreposição;
 - Os intervalos de sensoriamento assíncronos não detectados entre as redes semelhantes podem resultar na transmissão durante o tempo de detecção e, por sua vez, PFA elevada;
 - descoberta incompleta de redes de vizinhos (isto é, nós ocultos) pode causar perda de dados e impacto a eficácia da comunicação entre as redes. Por exemplo, os pacotes do Protocolo de Beacon de Coexistência (CBP - *Coexistense Beacon Protocol*) [11] trocados entre BSs vizinhas no 802.22 poderia ser interferida por uma rede (oculta), impedindo a convergência do processo de auto-coexistência.
- Considerações de Detecção de primários e secundários para preparação de normas em TVWS - a fim de aumentar confiabilidade na detecção de primários baseada em sensoriamento, novas técnicas para lidar com a coordenação de detecção em cenários heterogêneos são necessários. No 802.22, os horários BS períodos tranquilos para detecção durante o qual nenhuma transmissão ocorre. Métodos semelhantes são utilizados em ECMA 392. Assim, a coordenação e a sincronização de momentos de silêncio em todo CWNs é uma opção possível. Outro caminho poderia ser a utilização de técnicas de sensoriamento que levem em conta as características de transmissão de outras CWNs no processo de detecção de Pfa baixo. Além disso, é importante para definir não apenas para o padrão limiares de detecção, mas também quantidades mínimas de detecção, em termos de sobrecarga necessária para satisfazer os regulamentos. Os cenários heterogêneos também poderiam permitir oportunidades para compartilhar recursos entre redes. Por exemplo, um AP Wi-Fi pode ser ligado ao CPE em casa e compartilhar a interface de satélite para obter a sua própria localização e acessar a WSD através da BS 802.22.

B. Mitigação de Interferência

Interferência em TVWS é uma questão difícil, especialmente em áreas de disponibilidade de canal limitada e onde a cobertura de rede se sobrepõe. Atualmente, as redes heterogêneas compartilham a frequência não licenciada de 2.4GHz, e a interferência entre eles tem sido objeto de extensas pesquisas [8]. Os problemas de interferência serão similares em TVWS. No entanto, situações de interferência novos evoluirão nos TVWS, tais como entre dispositivos pessoais/portáteis de baixa potência (por exemplo, 802.11af e ECMA 392) e sistemas fixos de alta potência (por exemplo, 802.22). Além disso, a boa característica de propagação em TVWS também podem contribuir para a aumentar a interferência e também aumenta a área de interferência. Por exemplo, as redes Wi-Fi em casa tipicamente operam em co-canal sem degradação de desempenho graves na banda de 2.4 GHz devido à reutilização espacial, e poderia ter maior

interferência durante a operação no canal de TV, devido à maior abrangência. Por último, mas não menos importante, a interferência de primários, principalmente estações de alta potência de TV, é um outro problema específico para as TVWS.

Problemas de interferência relacionados em TVWS são classificados em duas categorias [10]:

- Interferência de/para primários - Além da detecção de primários, os requisitos para limitar fora de banda-emissões são definidos para todos os dispositivos TVWS, com restrições adicionais sobre a operação do canal adjacente, a fim de reduzir a probabilidade de interferência em operadores. Por outro lado, primários de alta potência (estações de TV de transmissão de 20 a 1000 kW) podem também interferir com os sistemas secundários. Em alguns casos, estes interferentes de alta potência pode realmente impedir que os dispositivos secundários relatar a detecção de primário. Prevenção de tal interferência depende em grande parte da localização, o ganho do canal entre a estação de televisão e os utilizadores secundários, e a diferença de frequência de funcionamento entre eles. Proximidade local, bem como diferenças menores em suas frequências de operação irão degradar severamente o desempenho de um dispositivo secundário. Um protocolo de recuperação de detecção de primário é adotado no padrão 802.22 que permite que a CPE afetada por fortes interferências de primários se reconectar a sua BS [11]. Cognição será fundamental para as técnicas de minimização de interferência devido à coexistência, explorando o conhecimento do ambiente sem fio e de características do sinal. As técnicas são classificados em três grupos: evitar interferência, controle de interferência e atenuação de interferência.
- Interferência Entre CWNs - múltiplas CWNs podem selecionar o mesmo canal de TV devido a um processo de seleção descoordenada ou disponibilidade limitada. Em tais situações, o desconhecimento uns dos outros de transmissão pode resultar em sobreposição de pacotes. Considere a situação de pior caso no qual todos as rede operaram em co-canal. Vários problemas de interferência poderiam ocorrer em tal configuração.

C. Compartilhamento de Espectro

Evitar a sobreposição de canais operacionais entre CWNs é sempre desejável. No entanto, dado o dinamismo da TVWS, é possível que CWNs sobrepostas compartilhem canais TVWS. Soluções típicas de compartilhamento de espectro podem ser classificadas como mecanismos cooperativos ou não-cooperativos [10]. Exemplos de não-cooperativos incluem mecanismos de controle de potência e ouvir antes de falar, tais como CSMA/CA usado em redes 802.11. Esquemas de cooperação exigem coordenação entre redes coexistentes e tendem a ser mais complexos. Recentes padrões sem fio definem mecanismos de convivência cooperativa como o 802.16h e 802.22. No caso de redes semelhantes, a execução de ambas as abordagens cooperativa e não-cooperativa é facilitada pelo fato

de que as redes operarem com os mesmos protocolos de camada física e MAC. Em CWNs heterogêneas, compartilhamento de espectro torna-se ainda mais difícil, dadas as diferenças intrínsecas das pilhas de protocolo [10].

IV. 802.19 TASK GROUP 1

O Grupo de Trabalho 1 do 802.19 do IEEE produziu um Documento de Concepção do Sistema (*SDD - System Design Document*) [16] para descrever o sistema de coexistência [16]. O SDD inclui os requisitos do sistema, arquitetura do 802.19.1, terminologia e possível um esboço da norma. Nesta seção, são descritos alguns pontos relevantes da norma.

A. Requisitos do Sistema

Os requisitos do sistema de coexistência podem ser agrupados em quatro diferentes categorias: requisitos relacionados com a descoberta, os requisitos gerais, os requisitos de comunicação e os requisitos relacionados com os algoritmos de coexistência [6].

- Requisito relativo à Descoberta - O sistema 802.19.1 necessita permitir a descoberta de redes WSD compatíveis com 802.19.1. O termo descoberta deve ser entendido como sendo a detecção de outras redes WSD e identificação dos seus atributos, tais como os IDs;
- Requisitos relacionados aos algoritmos de coexistência - O primeiro requisito neste grupo está relacionado com a análise do ambiente de TVWS. Depois de coletar informações sobre o ambiente operacional, tais como espaço em branco disponível e os usuários atuais não licenciados, a partir de redes individuais ou de outras fontes, como o banco de dados de bandas de TV, um sistema 802.19.1 deve analisar os dados para determinar se um problema de coexistência existe. Assumindo que não é um problema coexistência, o sistema 802.19.1 deve ter a capacidade e algoritmos de decisão para aliviar ou eliminar o problema de coexistência. O sistema 802.19.1 deve suportar decisões centralizadas, distribuídas e autônomas para a coexistência em TVWS. Este requisito ressalta a possibilidade de ter existirem diversas abordagens para implementar a tomada de decisões em cenários de coexistência. Também salienta que o 802.19.1 deve ser capaz de apoiar estas diferentes abordagens de tomada de decisão para a coexistência;
- Requisitos Relacionados à Comunicação - O sistema 802.19.1 deve ter um meio para obter e atualizar as informações necessárias para tomar decisões de coexistência em TVWS. Sem restringir o mecanismo de comunicação, isto requer que o sistema de coexistência suporte um ou mais métodos de comunicação utilizados pelas redes WSD 802.19.1. Além disso, o sistema de coexistência em TVWS deve ser capaz de trocar informações entre as suas entidades. O último requisito relacionado à comunicação afirma que o sistema 802.19.1 deve ser capaz de fornecer solicitações e/ou comandos de reconfiguração de rede, bem como informações de

controle correspondente a redes WSD 802.19.1 para implementar decisões de coexistência do sistema;

- Requisitos Gerais - os dois últimos requisitos estão relacionados à segurança e a mecanismos de coexistência gerais. O sistema 802.19.1 deve suportar mecanismos de segurança adequados, incluindo, mas não limitado, a autenticação, integridade e confidencialidade de trocas abertas entre usuário/dispositivos. Finalmente, o sistema 802.19.1 deve utilizar um conjunto de mecanismos para alcançar a coexistência melhorada de redes WSD.

B. Arquitetura do Sistema

Na arquitetura 802.19.1, entidades lógicas são definidas de acordo com seus papéis funcionais [16]. Há cinco entidades lógicas definidas. A Figura 2 ilustra as entidades lógicas e as interfaces entre elas. O Gerenciador de Coexistência (CM - *Coexistence Manager*), o Servidor de Informações e Descoberta de Coexistência (CDIS - *Coexistence Discovery and Information Server*), e o Facilitador de Coexistência (CE - *Coexistence Enabler*). A WSD (ou rede WSD), a Entidade de Gerenciamento do Operador (OME - *Operator Management Entity*) e o banco de dados de bandas de TV estão fora do escopo do padrão 802.19.1 [16].

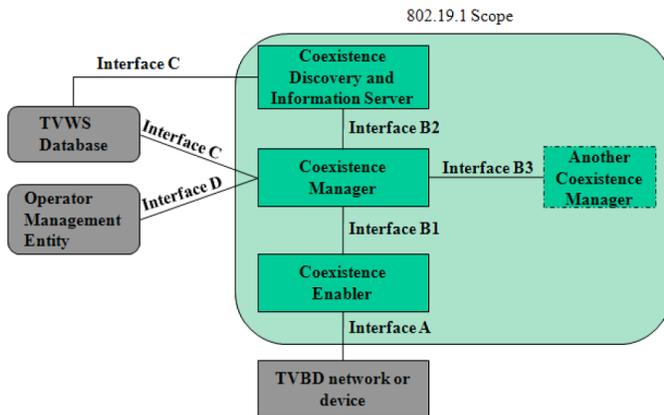


Figura 2. Arquitetura do sistema 802.19.1

- Entidades lógicas - A WSD é o dispositivo que atua nas TVWS. O banco de dados de TV é o banco de dados regulatório que contém a localização, área de operação e programação para todas as estações de TV licenciadas, e fornece listas de canais TVWS disponíveis para WSDs.
 - CM: responsável por fazer decisões relacionadas à coexistência. Isto inclui a geração e o fornecimento de requisições/comandos de coexistência correspondentes e informação de controle para CEs. O CM também auxilia os operadores de rede na gestão relacionada à coexistência em TVWS. Outra responsabilidade da CM é a descoberta e a comunicação com outros CMs;
 - CE: responsável pela comunicação entre o CM e WSD. Obtém as informações necessárias para a coexistência de dispositivos WSD ou da rede WSD, e

converte as requisições/comandos de reconfiguração e informação de controle recebidas do CM em requisições/comandos de reconfiguração específicos de WSD;

- CDIS: fornece informações relacionadas à coexistência para o CM e suporta descoberta de CEs. O CDIS também facilita a descoberta e a comunicação entre CMs. Finalmente, o CDIS coleta e agrega informações relacionadas a coexistência em TVWS;
- Interfaces lógicas - Há seis interfaces lógicas no sistema 802.19.1. Interfaces B1, B2 e B3 são entre entidades 802.19.1, enquanto que as interfaces A, C e D estão entre entidades 802.19.1 e entidades externas.
 - Interface A: permite a comunicação entre o CE e a WSD. Requisições ou comandos de reconfiguração e requisições de medição relacionados a coexistência seguem do CE para WSD, enquanto o fluxo correspondente de respostas segue da WSD para o CE;
 - Interface B1: está entre um CE e um CM. CM envia comandos/requisições de coexistência para CE. CE fornece informações relacionadas à coexistência;
 - Interface B2: está entre CM e CDIs. Através de B2, as informações necessárias para a descoberta e coexistência seguem de duas maneiras;
 - Interface B3: deve ser utilizada para comunicação direta relacionada à coexistência entre CMs;
 - Interface C: está entre o banco de dados de bandas de TV e CM. É utilizado principalmente para a obtenção de dados relacionados com canais de TVWS disponíveis.
 - Interface D: está relacionada a troca de informações entre o CM e o OME;

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

TVWS é considerada pela potencial coexistência de redes cognitivas sem fio heterogêneas incluindo usuários primários e sistemas secundários. Este artigo apresenta brevemente as normas existentes em TVWS e identifica os desafios proeminentes que possam ser encontradas por essas redes cognitivas sem fio heterogêneas, levando também em conta as regulamentações impostas pelo FCC.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Cabric, S. Mishra, and R. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in *Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on*, vol. 1, nov. 2004, pp. 772 – 776 Vol.1.
- [2] I. Akyildiz, Y. Altunbasak, F. Fekri, and R. Sivakumar, "Adaptnet: an adaptive protocol suite for the next-generation wireless internet," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 42, no. 3, pp. 128 – 136, mar 2004.
- [3] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *Computer Networks*, vol. 50, no. 13, pp. 2127 – 2159, 2006. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128606001009>
- [4] FCC, "Second report and order and memorandum opinion and order, in the matter of unlicensed operation in the tv broadcast bands additional spectrum for unlicensed devices below 900mhz and in the 3 ghz band (et docket 08-260)," Nov. 2008.

- [5] G. Villardi, Y. Alemseged, C. Sun, C.-S. Sum, T. H. Nguyen, T. Baykas, and H. Harada, "Enabling coexistence of multiple cognitive networks in tv white space," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 18, no. 4, pp. 32–40, august 2011.
- [6] T. Baykas, M. Kasslin, M. Cummings, H. Kang, J. Kwak, R. Paine, A. Reznik, R. Saeed, and S. Shellhammer, "Developing a standard for tv white space coexistence: technical challenges and solution approaches," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 19, no. 1, pp. 10–22, february 2012.
- [7] G. Cheng, W. Liu, Y. Li, and W. Cheng, "Joint on-demand routing and spectrum assignment in cognitive radio networks," in *Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on*, june 2007, pp. 6499–6503.
- [8] FCC, "Unlicensed operations in the tv broadcast bands, second memorandum opinion and order," pp. 10–174, Sept. 2010.
- [9] OfCom, "Consultation doc.: Digital dividend-cognitive access," Feb. 2009.
- [10] C. Ghosh, S. Roy, and D. Cavalcanti, "Coexistence challenges for heterogeneous cognitive wireless networks in tv white spaces," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 18, no. 4, pp. 22–31, august 2011.
- [11] I. S. 802.22-2011, "Ieee standard for information technology telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks specific requirements part 22: Cognitive wireless ran medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications: Policies and procedures for operation in the tv bands," p. 1680, July 2011.
- [12] ECMA, "Std. ecma-392, mac and phy for operation in tv white space," Feb. 2009.
- [13] F. Granelli, P. Pawelczak, R. Prasad, K. Subbalakshmi, R. Chandramouli, J. Hoffmeyer, and H. Berger, "Standardization and research in cognitive and dynamic spectrum access networks: Ieee scc41 efforts and other activities," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 48, no. 1, pp. 71–79, january 2010.
- [14] D. Gurney, G. Buchwald, L. Ecklund, S. Kuffner, and J. Grosspietsch, "Geo-location database techniques for incumbent protection in the tv white space," in *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2008. DySPAN 2008. 3rd IEEE Symposium on*. Ieee, 2008, pp. 1–9.
- [15] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 11, no. 1, pp. 116–130, 2009.
- [16] T. Baykas, M. Kasslin, and S. Shellhammer, "System design document," <https://mentor.ieee.org/802.19/dcn/10/19-10-0055-03-0001-systemdesign-document.pdf>, March 2010.