

Transmissão de Vídeos Escaláveis em Redes Cognitivas

Eduardo P. Julio¹

¹Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)

ejulio@ic.uff.br

Resumo. *Com o aumento do uso de dispositivos móveis, o espectro de rádio frequência vem sendo cada vez mais requisitado. Por outro lado, a limitada disponibilidade e a ineficiência de sua utilização geram demandas por novos mecanismos e paradigmas de comunicação que explorem o espectro existente de maneira mais eficaz. As redes cognitivas representam uma tecnologia de rede que aumenta a eficiência da alocação espectral, por meio do acesso oportunista às faixas de frequência. Uma das aplicações que requerem demandas cada vez maiores são as transmissões de vídeo. Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento do tráfego multimídia de vídeos escaláveis em redes cognitivas, uma vez que os vídeos podem ser transmitidos por diversos caminhos, aumentando a qualidade dos vídeos recebidos. Foram feitas simulações avaliando múltiplos canais e múltiplos caminhos em redes cognitivas, onde o tráfego de vídeo com taxas adaptativas foi avaliado com o apoio do framework Evalvid-RA.*

1. Introdução

A limitada disponibilidade de espectro e a ineficiência de sua utilização geram demandas por novos mecanismos e paradigmas de comunicações que explorem o espectro existente de maneira mais eficaz [Sousa et al. 2010, Cabric et al. 2004]. As Redes Cognitivas, também denominadas Redes de Rádios Cognitivos ou Redes sem fio de Próxima Geração [Akyildiz et al. 2006], 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 [Cabric et al. 2004], 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.

As 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. Essa nova tecnologia permite uma utilização mais eficiente do espectro.

Com o crescimento explosivo de aplicações multimídia através da Internet sem fio nos últimos anos, a demanda por recursos de espectro de rádio tem aumentado significativamente. A fim de atender a qualidade do serviço, atraso, e os requisitos de grande largura de banda, várias técnicas, tais como codificação de canal e/ou de fonte, *streaming* distribuídos, *multicast*, têm sido consideradas. O problema de como selecionar o conjunto de usuários cognitivos adequados para satisfazer a qualidade do serviço

(QoS) da comunicação multimídia é de grande interesse e ainda um problema aberto [Akyildiz et al. 2006].

Diante disso, este trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação do comportamento de transmissão de vídeos escalares em redes cognitivas, e está organizado como segue. A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica das redes cognitivas. A Seção 3 expõe os mecanismos de transmissão de vídeos escaláveis. A Seção 4 apresenta os principais trabalhos relacionados na área de transmissão de vídeos escaláveis em redes cognitivas. Na Seção 5 são apresentadas as simulações realizadas e os resultados encontrados. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais e os trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

A Figura 1 apresenta a arquitetura geral das redes cognitivas proposta em [Cabric et al. 2004]. 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).

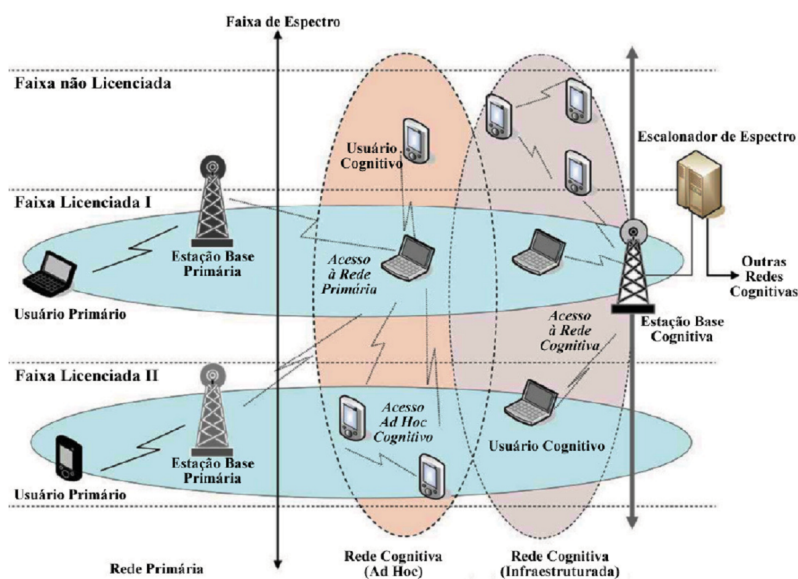


Figura 1. Arquitetura de redes cognitivas.

Os elementos básicos das redes primárias e cognitivas são definidos a seguir [Cabric et al. 2004]:

- Rede Primária - infra-estrutura 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 [Cheng et al. 2007]. 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.

3. Vídeos Escaláveis

O objetivo desta seção é apresentar a ideia básica de codificação escalável de vídeo, bem como ilustrar como o fluxo de vídeo armazenado pode ser dividido com o propósito de reduzir a taxa necessária para sua transmissão. De acordo com o método de codificação FGS (*Fine Granularity Scalability*) [Radha et al. 2001, Li 2001], o resultado da decodificação de um fluxo dividido deve ser comparável à qualidade de um fluxo de taxa inferior. Essa codificação permite que a qualidade de um vídeo enviado ao receptor acompanhe qualquer alteração na taxa disponível.

Em um sistema de vídeo tradicional, o codificador comprime o sinal de entrada de vídeo em um fluxo de taxa de bits que deve ser menor ou igual à capacidade do canal. Neste caso o desafio da codificação do vídeo é que inicialmente o codificador deve conhecer previamente a capacidade do canal e o cliente deve ser capaz de decodificar todos os bits do fluxo com agilidade suficiente para reconstruir o vídeo. Em redes sem fio de taxa variável, não se conhece a taxa real de transmissão do canal. Isso ocorre pois, os padrões de transmissão sem fio adaptam a taxa de transmissão de sua camada física com o objetivo de manter a taxa de erro sob controle.

Uma solução trivial seria codificar o vídeo em uma qualidade que resultasse em uma taxa média equivalente à da rede sem fio em questão. Porém, além de haver a necessidade de codificar um fluxo de vídeo diferente para cada perfil de taxa, esta solução não

garante que o vídeo seja entregue ao receptor à mesma taxa de consumo do vídeo, já que a taxa do enlace sem fio pode variar em ordens de grandeza.

Quando a taxa de um enlace sem fio cai abaixo do requerido pelo vídeo, o *buffer* do cliente é consumido, podendo cair a zero, o que gera problemas de continuidade (pausas). Este fenômeno gera dois problemas altamente indesejados pelo usuário:

- Aumento da taxa de perda de pacotes que é percebido pelo usuário através de incômodos artefatos nas imagens reproduzidas, e
- Interrupção da apresentação do vídeo, ou seja, o vídeo pára de ser apresentado até que a taxa de rede volte a subir e o *buffer* do cliente volte a acumular quantidade suficiente de bits.

Uma das soluções possíveis para este problema é codificar o vídeo mais de uma vez e gerar dois ou mais fluxos distintos a serem armazenados no servidor, cada um com uma qualidade (taxa) diferente. O servidor poderia trocar o fluxo que está enviando ao cliente de acordo com as flutuações na taxa. Um dos problemas desta solução é que há replicação de informação nos discos, o que é ineficiente.

Para contornar o problema da replicação de informação nos discos, surgiram propostas de codificação escalável em camadas [Feamster et al. 2001, Li et al. 2004]. Estes métodos codificam e armazenam, em um mesmo arquivo no servidor, duas ou mais opções de qualidade/taxa, através do uso de uma camada básica e uma ou mais camadas usadas para melhorar a qualidade da camada básica. Esta solução ainda possui a limitação de que somente há alteração de qualidade quando a alteração na taxa do enlace sem fio alcançar a taxa requerida pela próxima camada disponível. Mas a principal limitação desta solução é que para uma mesma taxa a qualidade de um vídeo FGS fica abaixo da qualidade de um vídeo codificado usando as soluções tradicionais.

Para medir a qualidade de um serviço de rede para *streaming* de vídeo, não é suficiente somente considerar os parâmetros de QoS como atraso, *jitter* e *throughput*. A forma como uma sequência de vídeo é codificada com tipos diferentes de quadros, e como é dividida em pequenos pacotes, resulta em um fluxo de taxa de bits variável, onde é relevante considerar quais pacotes foram perdidos. Assim, a impressão de qualidade percebida do usuário é muito importante. Existem abordagens tanto subjetivas quanto objetivas para medições de qualidade. Normalmente, os métodos subjetivos são caros e exigem muito recursos. Um método objetivo que é mais simples e pode ser automatizado é a relação sinal-ruído de pico (PSNR - *Peak signal-to-noise ratio*) [Lie and Klaue 2008].

Para quantificar as perdas observadas de descompressão, compressão e transferência de um vídeo, um valor PSNR pode ser calculado para a sequência de um vídeo fornecido. Este valor é a razão entre a potência máxima do sinal original (dados do vídeo original) e a potência do ruído interferente que foi introduzido no processo. Como a qualidade do sinal pode assumir uma grande variedade de valores, o PSNR é normalmente dado em uma escala logarítmica de decibéis. Os valores de PSNR utilizados neste trabalho, são calculadas como a média dos valores PSNR para cada quadro na sequência de vídeo [Lie and Klaue 2008].

4. Trabalhos Relacionados

Uma quantidade ainda muito pequena de trabalhos tratam especificamente sobre transmissão de vídeos escaláveis sobre redes cognitivas.

Em [Kushwaha et al. 2008], é proposta uma técnica para a transmissão multimídia distribuída através da rede de usuários secundários, que faz uso de acesso ao espectro oportunistas com a ajuda de rádios cognitivos, usando *fountain codes* (códigos de "chafariz") para distribuir o conteúdo multimídia sobre o espectro não utilizado e também para compensar a perda incorrida devido à interferência do usuário primário. O tráfego do usuário primário é modelado como um processo de Poisson. Foram desenvolvidas técnicas para selecionar canais apropriados e estudar o *trade-offs* entre confiabilidade do enlace, eficiência espectral e sobrecarga de codificação.

Fountain codes são uma classe de códigos de correção de supressão que produzem um suprimento infinito de pacotes a partir de um conjunto de pacotes de entrada K , dos quais todos os pacotes N podem ser usados para recuperar os pacotes K original com uma certa probabilidade de erro E , onde N é ligeiramente maior que K . A fim de transmitir pacotes de dados K , uma abordagem de redundância tem sido utilizada em [Willkomm et al. 2005, Kushwaha and Chandramouli 2007], onde alguma redundância X é usada para compensar a perda devido à interferência do usuário primário. Assim, um total de $N + X$ pacotes são distribuídos por um conjunto de S usuários secundários.

Em [Mansour et al. 2009], é considerado o controle de latência e taxa de bits multi-usuário de conteúdo de vídeo escalável em uma rede multimídia de rádio cognitivos. É considerada uma rede de rádios cognitivos, onde vários usuários secundários tentar acessar uma oportunidade no espectro via TDMA (*Time Division Multiple Access*), com base nas atividades do usuário primário, a qualidade do canal e o atraso de transmissão de cada usuário. Taxas escaláveis de vídeo e modelos de distorção são usadas na formulação do problema como uma mudança de controle de jogo dinâmico markoviano. As fontes de vídeo e o comportamento do canal são modelados como processos de Markov independentes. No entanto, a interação entre os usuários é combinada na regra de acesso resultando assim em uma mudança no controle do jogo.

[Hu et al. 2010] propõem uma abordagem de otimização *cross-layer* para vídeo *multicast* em redes cognitivas. Especificamente, é considerada uma infra-estrutura de rede baseados em rádios cognitivos co-instalados com N redes de usuários primários e transmissão *multicast* de vídeo ao longo dos N canais, modelado como um problema de programação não-linear inteira mista (MINLP). O objetivo são três: otimizar a qualidade de vídeo recebidos em geral; alcançar a justiça proporcional entre os usuários *multicast*, e manter a interferência aos usuários primários abaixo de um limite definido. Foi proposta uma abordagem em duas etapas para resolver o problema MINLP formulado. Para cada grupo de imagens (GOP), primeiro determinar a partição ótima (taxas de modulação e de codificação) FGS de dados do vídeo. São apresentados dois algoritmos computacionalmente eficiente para esse fim: (i) um algoritmo sequencial de fixação (SF), com base em uma relaxação linear do problema MINLP, e (ii) um algoritmo guloso denominado GRD1, que explora a estrutura de prioridade inerente da FGS do vídeo e a ordem dos canais do usuário de acordo com suas qualidades. A solução é calculada e ajustada a cada intervalo de tempo com base nos resultados mais recentes do sensoriamento e *feedback* do canal, usando um algoritmo guloso refinado, denominado GRD2. Segundo, durante cada intervalo de tempo, usa-se um algoritmo de escalonamento de "azulejo", denominada TSA, para atribuir pacotes de vídeo (cujo montante é determinado pela GRD1 e GRD2) para os canais disponíveis, enquanto que cada canal é acessado com uma probabilidade derivada

a partir dos resultados de sensoriamento de espectro. Simulações com vídeo MPEG-4 FGS demonstram a eficácia e desempenho superior dos algoritmos propostos.

[Hu and Mao 2010] investiga o problema de *streaming* de vários vídeos sobre redes *multi-hop* de rádio cognitivo. Vídeos com Escalabilidade de Granularidade Fina (FGS) e Escalabilidade de Granularidade Média (MGS) são adotados para acomodar a heterogeneidade entre as disponibilidades e as condições de canal da rede dinâmica. Uma formulação MINLP do problema é proposta, com os objetivos de maximizar a qualidade em geral do vídeo recebido e alcançar a equidade entre as sessões de vídeo, enquanto limite da taxa de colisão com os usuários primários sob a presença de erros de sensoriamento de espectro. Foi considerada uma rede sem infraestrutura de rádios cognitivos co-localizada com uma ou mais redes primárias fixas. O vídeo FGS é codificado em uma camada base (BL) e em uma camada de melhoramento (EL). Considera-se também vídeos H.264/SVC MGS, que obtém melhor desempenho de taxa de distorção sobre MPEG-4 FGS. Para modelar e garantir o desempenho fim a fim do vídeo, foi adotada uma abordagem amplificar-e-encaminhar (*amplify-and-forward*) para dados de vídeo, onde cada nó é equipado com dois transceptores operando em canais ortogonais. Durante a transmissão de dados, um nó recebe dados de seu nó *upstream* através de um rádio em um canal e, simultaneamente, amplifica e transmite os dados recebidos para seu nó *downstream* usando outro rádio operando em um canal diferente. Isto é equivalente ao estabelecimento de um túnel virtual através de um caminho *multi-hop* multi-canal, e análogo a abordagem *cut-through switching* para redes de comutação de pacotes.

[Li 2010] aplica Codificação com Múltiplos Descritores (MDC) ao tráfego de dados sensível a atraso para aliviar as interrupções causadas por usuários primários em sistemas de rádio cognitivos. Para fonte Gaussiana, um algoritmo simplificado para a busca exaustiva de distorções e taxas ótimas é proposto baseado na região viável de codificação taxas e exigência de atraso. Para uma codificação prática de imagem em tempo real, uma divisão na fonte é aplicada para gerar múltiplos descritores. Quando há um único canal, dois descritores sucessivos são compostos de coeficientes grandes e pequenos em um domínio (DCT), respectivamente. Quando existem dois canais, coeficientes DCT pares e ímpares são usados para construir dois descritores paralelos. Os resultados mostram que a MDC pode combater eficazmente as interrupções causadas por usuários primários em sistemas de rádio cognitivos.

Em [Hu and Mao 2011] investigam o problema de *streaming* de vídeos escaláveis em redes *femtocell* de rádio cognitivo. Foi considerada no trabalho uma rede *femtocell* consistindo de uma MBS (*Macro Base Station*) e múltiplas FBS (*Femto Base Station*). A rede de *femtocell* é colocada juntamente com uma rede primária com múltiplos canais licenciados, explorando o acesso dinâmico ao espectro para utilizar as oportunidades de espectro nos canais licenciados para *streaming* de vídeos. Assinantes *femtocell* (usuários cognitivos) e FBS sensoriam os canais licenciados, e determinam qual(is) canal(is) e qual a estação base (ou seja, um MBS ou um FBS) usar para a entrega de pacotes de vídeo com base nos resultados de detecção. O objetivo é maximizar a capacidade da rede de rádios cognitivos *femtocell* no transporte de vídeo em tempo real, enquanto limita a interferência aos usuários primários. Foi adotado SVC no sistema, que codifica um fluxo de vídeo composto em vários subfluxos, subconjuntos que podem ser decodificados para fornecer diferentes níveis de qualidade para o vídeo reconstruído. E foram considerados vídeos

escaláveis MGS H.264/SVC , ao invés de vídeos FGS. Foi desenvolvida uma formulação do problema com programação estocástica. No caso de uma única FBS, ou várias FBS não interferentes, um algoritmo ótimo distribuído é proposto. No caso de FBS interferentes, um algoritmo guloso que pode computar soluções próximas a ótima, e provar um limite inferior de desempenho.

5. Simulações e Resultados

As simulações foram feitas utilizando o Network Simulator 2 (ns-2) [NS2 2011], versão 2.31. Para simulações com tráfegos multimídia, o ns-2 oferece implementações de taxa de transmissão constante (CBR) e através de contribuições, taxas de transmissão variáveis (VBR). Somente é considerado nas transmissões o tempo e o tamanho do pacote a ser transmitido, onde o conteúdo é desprezado. Isso não permite que o vídeo transmitido seja reconstruído, por exemplo.

Para auxiliar as simulações, o *framework* Evalvid-RA [Lie and Klaue 2008] foi utilizado, que permite a simulação de fluxos multimídia com taxa de transferência adaptativa baseada em geração de *trace* de vídeo MPEG. Isto significa que em vez de usar o conteúdo multimídia real, que exige muitos recursos e é demorado, a simulação é executada com arquivos *trace* gerados a partir dos arquivos de mídia prévios. Um arquivo de *trace* típico contém informações sobre número de quadro, tipo de quadro, tamanho, fragmentação em segmentos e o tempo para cada quadro do vídeo. Durante a execução, o ns-2 pode acompanhar o tempo e a taxa de transferência de pacotes em cada nó, incluindo o receptor. Com esta informação e o vídeo original comprimido, o Evalvid-RA pode reconstruir o vídeo do jeito que teria sido recebido em uma rede real. A vantagem dessa abordagem é que se pode reproduzir o vídeo e inspecionar visualmente o resultado. Além disso, o ruído total introduzido pela compressão e transferência do vídeo (PSNR) e o MOS (*Mean Opinion Score*) podem ser calculados.

Evalvid-RA é um complemento da ferramenta EvalVid [Kao et al. 2006], onde foram introduzidas funcionalidades para o vídeo com taxa adaptativa, incluindo suporte aos mecanismos de *feedback*, como o TCP-Friendly Rate Control (TFRC). O uso da ferramenta é ilustrado na Figura 2.

No Evalvid-RA, o pré-processamento consiste na conversão do vídeo original em vídeos quantizados com fator Q entre 2 e 31. Assim, são gerados vídeos e *traces* em cada fator Q . Os *traces* são usados como entrada para as simulações no ns-2, onde a cada *feedback* recebido na transmissão do vídeo, a taxa de transmissão na simulação é adaptada no próximo GOP (definido em 12). Na simulação, a cada frame recebido, as informações necessárias para a reconstrução do vídeo são registradas em novos arquivos *trace*, como o identificador do pacote, o tempo de transmissão e valor de Q usado no frame. Na fase de pós-processamento, é possível com os *traces* gerados reconstruir o vídeo exatamente com os quadros recebidos, podendo fazer uma comparação visual e o cálculo do MOS e do PSNR.

Para a simulação de redes cognitivas, foi utilizada a implementação CRCN (*Cognitive Radio Cognitive Network*) [Khan and Rehmani 2010], que suporta avaliações de desempenho para a alocação dinâmica de recursos do espectro, algoritmos de controle de potência e protocolos adaptáveis de redes de rádios cognitivos, incluindo camada MAC cognitiva e os protocolos de roteamento cognitivos. Para cada nó no simulador,

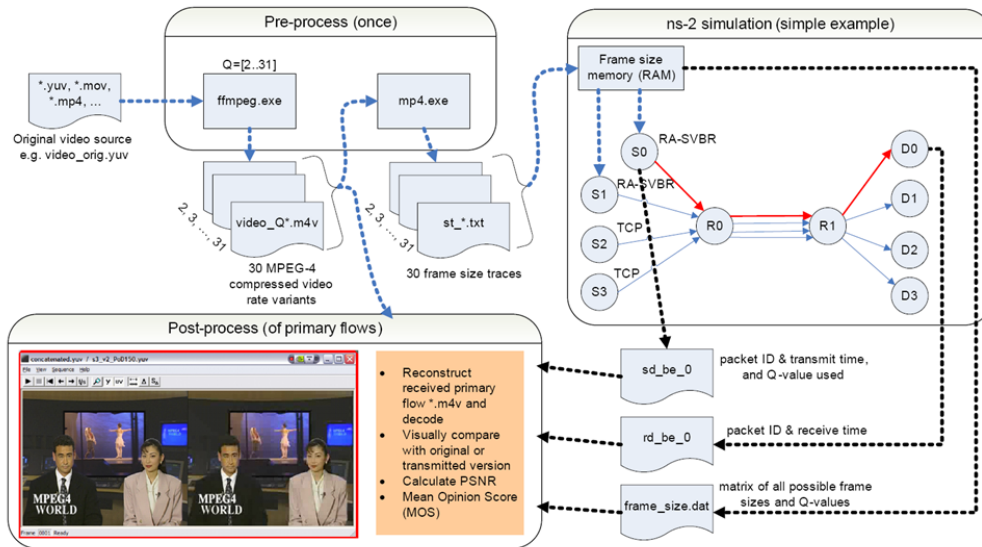


Figura 2. Evalvid-RA.

um rádio reconfigurável multirádio e multi-canal está disponível, podendo personalizar os parâmetros do espectro, como potência de transmissão, propagação, entre outros. Implementa os protocolos Macng (*Collision Free MAC*) e Maccon (*Contention Based MAC*). Na camada de roteamento, a métrica WCETT (*Weighted Cumulative Expected Transmission Time*). A arquitetura do CRCN é apresentada na Figura 3.

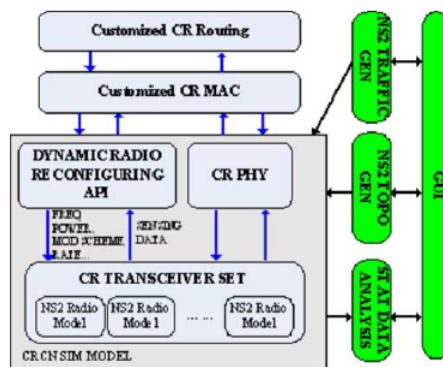


Figura 3. Arquitetura do CRCN.

No Maccon, cada nó seleciona aleatoriamente um canal a partir de uma lista de canais pré-definidos. Uma vez que cada nó não tem conhecimento de qual canal será utilizado pelos outros nós, colisões ainda podem existir para a seleção de canal aleatória. A informação do canal selecionado por cada nó é passada para a camada física através do cabeçalho do pacote.

Camadas MAC baseadas em escalonamento e em inteligência exigem a negociação sobre a decisão do canal e parâmetros de transmissão. A maioria das atuais implementações usam um canal de controle comum (CCC) para negociar esses parâmetros. O Macng implementa uma forma de negociar através de canal de controle comum e tomar a decisão de canal.

Nesse trabalho, foram consideradas redes cognitivas de múltiplos saltos, com 10 nós sem fio sem mobilidade, com um único fluxo ativo utilizando o Evalvid-RA para monitoramento e reconstrução do vídeo. Foi utilizado o vídeo *highway*, formato QCIF, que possui 2000 *frames*, disponível em [Video Trace Library 2011]. Após as simulações, o vídeo é reconstruído e pode ser comparado visualmente com o vídeo original, conforme visto na Figura 4.

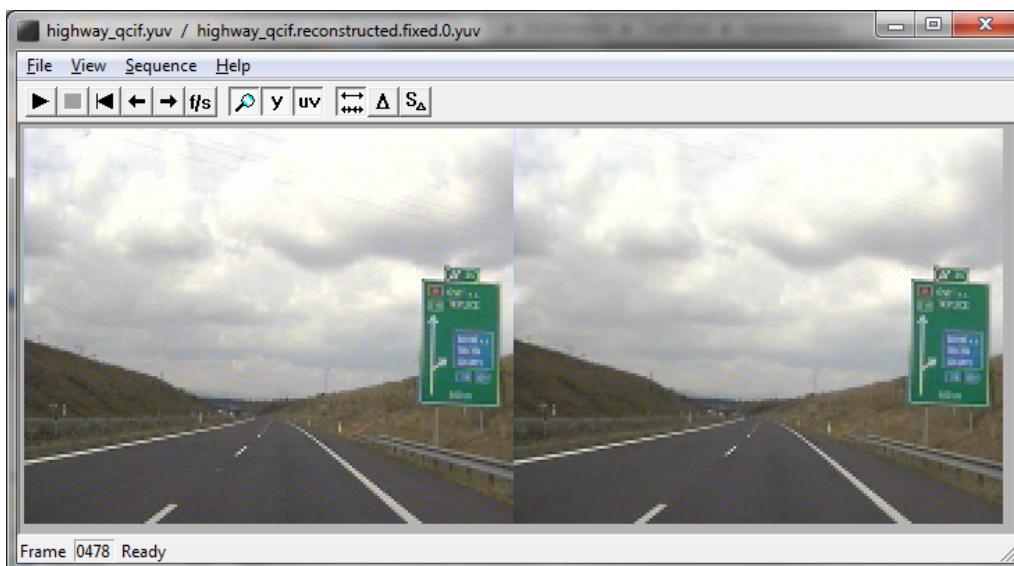


Figura 4. Inspeção visual do vídeo highway. A esquerda o vídeo original e a direita o vídeo reconstruído após a simulação.

A Figura 5 apresenta a média dos resultados de 10 simulações, comparando os protocolos 802.11 e Macng na camada de enlace, e os protocolos AODV, DSR e WCETT (AODV com métrica WCETT), com relação ao *throughput* do vídeo.

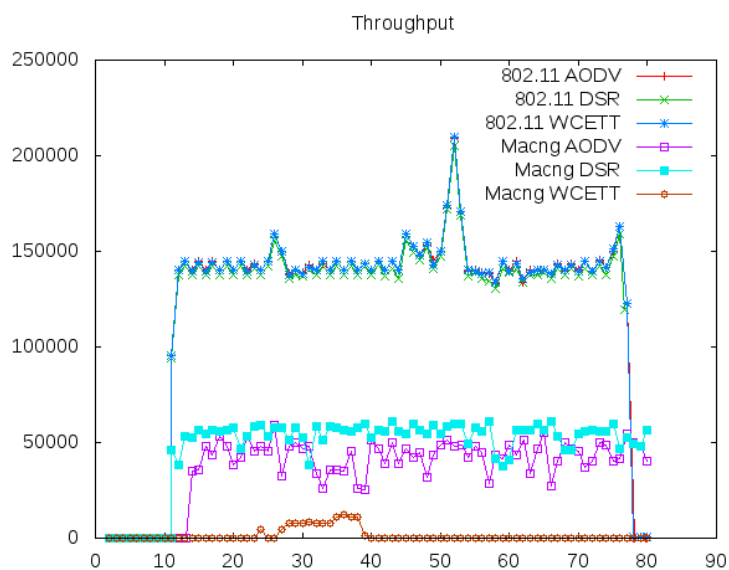


Figura 5. Throughput do vídeo com diferentes protocolos de enlace e roteamento

Como observado na Figura 5, o desempenho do vídeo usando 802.11 é o mesmo para os 3 protocolos de roteamento, e foi considerado como referência de melhor qualidade de transmissão, já que o vídeo tem todos os 2000 *frames* recebidos no destino. Já com o protocolo Macng, o desempenho foi 3 vezes pior que com o 802.11, para os protocolos AODV e DSR, tendo conseguido entregar somente 750 *frames* em média. o WCETT só conseguiu transmitir poucos *frames* (14). Esses resultados mostram que mesmo utilizando uma única interface, e um único canal, a implementação Macng tem muitas perdas de frames, mesmo em um cenário onde todos os nós estão próximos.

Não são apresentados resultados com mais interfaces e mais canais, pois os mesmos não geraram resultados, e a maioria das simulações resultou em nenhum *frame* recebido. Já com o protocolo Maccon não foi possível concluir as simulações por problemas de falha de segmentação no ns-2. Acredita-se que a inclusão de mais canais e mais interfaces (em todos os nós, de forma homogênea) tem gerado mais interferência do que auxiliado nas transmissões. Para auxiliar na detecção desse problema, um mapa da utilização de canais deve ser produzido.

Como tanto o Macng, quanto o Maccon fazem escolha de canais aleatórios, acredita-se que em algumas simulações, não existia roteamento entre a origem e o destino do vídeo, por falta de canais em comum.

Um problema encontrado durante as simulações foi o cálculo do PSNR. No cenário original [Lie and Klaue 2008], os nós são cabeados, e a perda de *frames* é mínima. Assim, o cálculo do PSNR, pode ser feito para praticamente todos os *frames* recebidos. Em cenários sem fio, onde a perda de pacotes é um fator a ser considerado, o cálculo fica comprometido, já que só é realizado sobre os *frames* recebidos no destino. Um exemplo disso é o cenário com utilização de dos protocolos Macng e WCETT. Apesar de ter recebido somente 122 *frames*, o valor do PSNR é 42.12db. Já as simulações de referência tem valores de PSNR próximos a 43db. Com a inspeção visual foi possível perceber que a perda de continuidade do vídeo é nitida, mesmo o PSNR apontando um valor próximo ao ótimo.

Outro problema detectado é a perda do primeiro *frame*. Caso esse seja perdido, os demais *frames* ficam comprometidos, e causam uma distorção nos resultados. Em algumas rodadas de simulações, os resultados chegavam a uma diferença entre 3 *frames* recebidos e 1470 *frames* recebidos. Isso pode ser agravado com protocolos de roteamento reativos, já que o estabelecimento de rota só é feito sob demanda, podendo causar a perda do primeiro *frame*.

6. Considerações Finais

Por ser ainda uma área de pesquisa muito recente, as redes cognitivas ainda apresentam diversos desafios em aberto, considerada em ascensão. A transmissão de vídeos escaláveis nessas redes se mostra uma área de pesquisa desafiadora.

Padrões para redes cognitivas ainda estão sendo definidos, como o [IEEE 802.22 2011] e IEEE 802.11af em fase de definição. Isso torna difícil uma validação em um cenário real, e as implementações para simulação no ns-2 ainda se encontram em estágios iniciais de desenvolvimento, onde muitas contribuições são necessárias.

Acredita-se que a transmissão de vídeo nesse ambiente pode se beneficiar de múltiplas interfaces e múltiplos canais para manter a qualidade, mesmo com a presença de um usuário primário. Vídeos escaláveis podem ser transmitidos por múltiplos canais, aumentando a probabilidade de recebimento de vídeos de melhor qualidade.

Como trabalhos futuros, são propostas mais simulações em cenários mais controlados, contemplando usuários cognitivos e usuários não cognitivos, para uma validação dos benefícios dos rádios cognitivos. Também são propostas as simulações com a transmissão de camadas de vídeos, usando múltiplos canais e múltiplos caminhos, para a verificação da melhora na qualidade percebida pelo usuário.

Além disso, outras métricas além do PSNR devem ser consideradas. Conforme observado nas simulações executadas, mesmo um vídeo que foi transmitido com muitas perdas, mas com quadros de melhor qualidade recebidos, pode obter um valor de PSNR alto, mas que não representa completamente o vídeo original.

Outra proposta para trabalho futuro contempla a utilização do módulo dei80211mr para o ns-2, que usa rádios 802.11 com características mais realistas, como o SINR para o cálculo da probabilidade de recebimento do pacote no destinatário.

Com um ambiente mais estável de simulação, também é possível fazer comparações com outros trabalhos como em [Haukaas 2007], que usa o Evalvid-RA com a última milha com rádios 802.11, avaliando o impacto das redes sem fio nas transmissões de vídeos escaláveis.

Após esses desafios, será possível criar uma proposta *cross-layer* para adaptação de vídeo em função da disponibilidade de canais em redes sem fio cognitivas.

Referências

- Akyildiz, I. F., Lee, W.-Y., Vuran, M. C., and Mohanty, S. (2006). Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey. *Comput. Netw.*, 50:2127–2159.
- Cabric, D., Mishra, S., and Brodersen, R. (2004). Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios. In *Signals, Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on*, volume 1, pages 772 – 776 Vol.1.
- Cheng, G., Liu, W., Li, Y., and Cheng, W. (2007). Joint on-demand routing and spectrum assignment in cognitive radio networks. In *Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on*, pages 6499 –6503.
- Feamster, N., Bansal, D., and Balakrishnan, H. (2001). On the interactions between layered quality adaptation and congestion control for streaming video. In *11th International Packet Video Workshop*.
- Haukaas, T. (2007). Rate Adaptive Video Streaming over Wireless Networks. Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology.
- Hu, D. and Mao, S. (2010). Streaming scalable videos over multi-hop cognitive radio networks. *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, 9(11):3501 –3511.

- Hu, D. and Mao, S. (2011). Resource allocation for medium grain scalable videos over femtocell cognitive radio networks. In *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2011 31st International Conference on*, pages 258 –267.
- Hu, D., Mao, S., Hou, Y., and Reed, J. (2010). Scalable video multicast in cognitive radio networks. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 28(3):334 –344.
- IEEE 802.22 (2011). IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks. <http://ieee802.org/22/>.
- Kao, K. L., Ke, C. H., and Shieh, C. K. (2006). An Advanced Simulation Tool-set for Video Transmission Performance Evaluation. In *Proceedings from the 2006 Workshop on ns-2: the IP Network Simulator*, volume 202 of *ACM International Conference Proceeding Series*.
- Khan, Z. A. and Rehmani, M. H. (2010). A tutorial on broadcasting packets over multiple-channels in a multi-interface network setting in ns-2. *CoRR*, abs/1007.4066. informal publication.
- Kushwaha, H. and Chandramouli, R. (2007). Secondary spectrum access with lt codes for delay-constrained applications. In *Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE*, pages 1017 –1021.
- Kushwaha, H., Xing, Y., Chandramouli, R., and Heffes, H. (2008). Reliable multimedia transmission over cognitive radio networks using fountain codes. *Proceedings of the IEEE*, 96(1):155 –165.
- Li, H. (2010). Multiple description source coding for cognitive radio systems. In *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks Communications (CROWNCOM), 2010 Proceedings of the Fifth International Conference on*, pages 1 –5.
- Li, Q., Schaar, M. V. D., and Member, S. (2004). Providing adaptive qos to layered video over wireless local area networks through real-time retry limit adaptation. *IEEE Trans. on Multimedia*, 6:278–290.
- Li, W. (2001). Overview of fine granularity scalability in mpeg-4 video standard. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 11(3):301 –317.
- Lie, A. and Klaue, J. (2008). Evalvid-ra: trace driven simulation of rate adaptive mpeg-4 vbr video. *Multimedia Systems*, 14:33–50. 10.1007/s00530-007-0110-0.
- Mansour, H., Huang, J., and Krishnamurthy, V. (2009). Multi-user scalable video transmission control in cognitive radio networks as a markovian dynamic game. In *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pages 4735 –4740.
- NS2 (2011). The Network Simulator NS-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- Radha, H. M., van der Schaar, M., and Chen, Y. (2001). The mpeg-4 fine-grained scalable video coding method for multimedia streaming over ip. *IEEE Transactions on Multimedia*, 3:53–68.
- Sousa, M., R., L., W., L., and M., A. (2010). Redes cognitivas: Um novo paradigma para as comunicações sem fio. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 167–211.

Video Trace Library (2011). Video Trace Library. <http://trace.eas.asu.edu/>.

Willkomm, D., Gross, J., and Wolisz, A. (2005). Reliable link maintenance in cognitive radio systems. In *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on*, pages 371–378.