

Mecanismo para Aprovisionamento Dinâmico e Escalável em Redes em Malha sem Fio para Suporte de Aplicações com Alta Demanda de Recursos

Augusto Neto¹, Eric Patrick², Eduardo Cerqueira³, Rui Aguiar⁴, Antônio Abelém⁵

¹ Universidade Federal do Ceara (UFC), Departamento de Engenharia de Teleinformática (DETI), Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat), Fortaleza-CE, Brasil.

² Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Informática (INF), Goiânia-GO, Brasil.

³ Universidade Federal do Pará (UFPA), Engenharia de Computação (ENGCOMP), Belém-PA, Brasil

⁴ Instituto de Telecomunicações (IT), Universidade de Aveiro (UA), Portugal

⁵ Universidade Federal do Pará (UFPA), Faculdade de Computação, Belém-PA, Brasil.

augusto.deti@ufc.br, ericpatrick15@gmail.com, cerqueira@ufpa.br, ruilaa@ua.pt, abelem@ufpa.br

Abstract. *The success of mobile and ubiquitous computing, coupled with the increasing demand for applications with high Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) requirements, has brought great challenges to the future access networks. Thus, wireless mesh networks distinguish due to its flexibility, redundancy, low-cost and broadband capacity. However, aspects as scalability, availability and reliability, are still challenging. Following the limitations of existing proposals, this paper proposes the Multi-Service Resource Allocation in Wireless Mesh Networks (MIRA-WMN) for provisioning resources of wireless mesh networks compliant with IEEE 802.11e/s standard. The MIRA-WMN proposes a single solution to integrate QoS control and connectivity resources to support multi-user sessions with high requirements. The MIRA-WMN was evaluated by simulations, which demonstrated its benefits in the data and control plane, as well as user's perception.*

Resumo. *O sucesso da computação móvel e ubíqua, aliado a crescente demanda por aplicações com altos requisitos de Qualidade de Serviço (QoS) e Qualidade de Experiência (QoE), trouxe grandes desafios para o sucesso das redes de acesso futuras. Nesse cenário, as redes em malha sem fio destacam-se devido a sua flexibilidade, redundância, baixo custo, alta taxa de transmissão e mobilidade. Entretanto, aspectos como escalabilidade, disponibilidade e confiabilidade são ainda desafiadores. Com base nas limitações das propostas e padrões existentes, este artigo propõe o MIRA-WMN (Multi-service Resource Allocation in Wireless Mesh Networks) para provisionamento de recursos em redes em malha sem fio seguindo o padrão IEEE 802.11e/s. O MIRA-WMN propõe uma solução única para controle integrado de QoS e conectividade para suporte eficiente de sessões multiusuário sensíveis ao tempo. O MIRA-WMN foi analisado através de simulações, que demonstram seus benefícios no plano de dados e de controle, bem como da perspectiva do usuário.*

1. Introdução

A crescente necessidade de acesso ubíquo (em qualquer lugar e a qualquer hora) à Internet aliado ao aumento da demanda de conteúdos complexos (multimídia em tempo real) e dispositivos sem fio, está fazendo com que a computação móvel esteja cada vez mais presente na vida das pessoas, seja no âmbito pessoal, profissional ou educacional. É comum por exemplo, encontrar zonas de acesso sem fio a Internet em aeroportos, centros comerciais, universidades e restaurantes, dando comodidade e flexibilidade a usuários móveis. A riqueza de aplicações multimídia emergentes tem atraído cada vez mais usuários. Entretanto, o suporte eficiente de sessões multimídia requer aplicação de técnicas de Qualidade de Serviço (QoS) para garantir transmissão fim-a-fim de dados com níveis de Qualidade de Experiência (QoE) assegurados [Serral-Gracia 2010]. Além das operações básicas, como diferenciação, priorização de tráfego e controle de congestionamento, um controlador de QoS deve implementar: (i) controle de admissão; (ii) provisionamento dinâmico de recursos; (iii) e resiliência. Estas operações devem ser realizadas sem prejudicar a escalabilidade do sistema, que pode ser ocasionado por uma carga excessiva de sinalização, armazenamento de estado ou consumo de CPU/memória.

Dentre as tecnologias de acesso sem fio disponíveis atualmente, o padrão IEEE 802.11 tornou-se dominante por fornecer mecanismos de suporte a QoS e ligação de nós em malha. A família “e” [IEEE 2000] do padrão 802.11 define um conjunto de recursos com facilidades que distinguem estações e pontos de acesso com suporte a QoS (nomeadamente QSTAs e QAPs). Existem dois principais blocos funcionais no padrão IEEE 802.11e, assim como funções de acesso ao meio e gerenciador de padrões de tráfego. Além disso, uma nova função de coordenação (*Híbrida Coordination Function - HCF*) foi definida para utilização apenas em um conjunto básico de serviços com suporte a QoS. O HCF possui dois modos de operação: EDCA (*Enhanced Distributed Channel Access*), onde o acesso ao meio é baseado em contenção e opera concorrentemente com o HCCA (*HCF Controlled Channel Access*). O EDCA foi projetado para permitir tráfego (*Traffic Streams - TS*) com diferenciação de prioridades de usuários através da alocação de transmissão oportunística (TXOPs), enquanto o HCCA tráfego parametrizado.

A configuração de um TS é feita por meio de requisição ao QAP através de mensagens ADDTS contendo (*Traffic Specifications - TSPEC*). O TSPEC informa parâmetros de QoS ao HCF de modo que este possa configurar o escalonador de pacotes, reservando assim largura de banda. O QAP pode aceitar ou rejeitar uma nova requisição de TSPEC através das verificações de controle de admissão consoante as condições atuais da rede. O HCF calcula o TXOP baseado na taxa mínima de dados vindo do TSPEC.

Além do suporte a QoS, a família “s” [Hiertz 2010] desenvolveu um padrão emergente para comunicação através de múltiplos saltos no nível dois, fazendo com que a rede de múltiplos saltos pareça uma única rede local para o nível três. O padrão IEEE 802.11s especifica funções de encaminhamento através de múltiplos saltos na camada MAC, utilizando um mecanismo de seleção de caminhos obrigatório chamado HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*) e fornece um *framework* para seleção de caminhos que permite a utilização de mecanismos alternativos e futuras extensões.

O controle multicast é provido pelo QAP engloba o encapsulamento dos pacotes IP multicast em quadros multicast IEEE 802.11 e a sua transmissão aos usuários. A função

IP multicast suportada no padrão IEEE 802.11e/s não é sensível a QoS, e assim muitos problemas são inerentes devido principalmente ao encaminhamento confiável de pacotes [Bristow 2006]. Para evitar excesso de complexidade e prejuízo de desempenho, este artigo propõe o MIRA-WMN (*Multi-service Resource Allocation in Wireless Mesh Networks*). O MIRA-WMN visa o provisionamento de redes em malha sem fio para suporte eficiente de sessões multiusuário. O MIRA-WMN fornece uma abordagem dinâmica, distribuída e escalável para o orquestramento de provisionamento de QoS e conectividade, fornecendo um melhor planejamento de capacidade e acesso sistematizado aos recursos da rede. Além disso, o MIRA-WMN suporta uma estratégia de resiliência com baixo custo, para intermitência de sessões com excelente percepção de qualidade/QoE nos usuários e desempenho da rede.

O resto deste artigo é organizado como a seguir. Seção 2 apresenta um estudo de trabalho relacionado com relevância. A Seção 3 descreve a proposta MIRA-WMN. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos pela avaliação das simulações do MIRA-WMN. Por fim, a Seção 5 conclui o estudo realizado bem como aponta trabalho futuro.

2. Trabalho Relacionado

A literatura apresenta diversas propostas da comunidade científica para provisionamento de recursos em redes IEEE 802.11. O estudo de alguns trabalhos relacionados que consideramos relevantes no âmbito de provisionamento de recursos para admissão de sessões sensíveis a QoS, é descrito a seguir. Protocolos de roteamento sensíveis a QoS, como MARIA (*Interference-Aware Admission Control and QoS Routing in Wireless Mesh Networks*) [Cheng 2008] e QASR (*QoS Aware Stable path Routing*) [Gauhan 2008], visam estabelecimento de rotas em redes em malha sem fio ou redes móveis ad-hoc respectivamente. Em redes configuradas com o MARIA, cada nó envolvido na descoberta da rota procede o controle de admissão do fluxo baseado na largura de banda residual local e dos nós vizinhos. Entretanto, o protocolo MARIA não é indicado para aplicações sensíveis a atrasos por considerar apenas largura de banda como métrica de roteamento. Já em redes com QASR, o roteamento adaptativo é baseado em estabilidade de sinal para escolha de caminhos que podem sobreviver por longos períodos de tempo. Entretanto, o QASR é complexo e requer uma exaustiva troca de sinalizações para a gestão do sistema. Nenhuma das duas soluções supracitadas suportam multicast.

Uma outra proposta é o ASAP (*Adaptive Reservation and Preallocation* (ASAP) [Xue 2007]. O ASAP faz reserva de recursos através de sinalizações entre elementos na rota de fluxos multimídia em tempo real. A reserva de recursos é feita em duas fases. A primeira fase a ser executada é a fase *soft*. Os elementos de redes que recebem uma requisição de reserva, nesta fase, fazem controle de admissão e efetuam a reserva para uso futuro. A reserva de banda na fase *soft* é concretizada quando uma mensagem da fase *hard* for recebida. Enquanto isso, a banda reservada pode ser utilizada por serviços que não possuem requisitos de QoS (*Best-effort*). Após a fase *soft*, o destinatário do fluxo de dados, envia uma mensagem *hard* no caminho inverso da mensagem *soft*, liberando as reservas temporárias e admitindo a reserva para o fluxo de tempo real. Assim como o protocolo MARIA, o mecanismo ASAP apenas considera a largura de banda como forma de garantir QoS, e também gera uma grande quantidade de sinalização na rede. Além

disso, as reservas *soft* do ASAP podem desperdiçar largura de banda, uma vez que estão reservadas porém não alocadas.

O WIRA (*WiMAX Resource Allocation Control*) [Cerqueira 2008] é uma proposta para provisionamento de recursos em redes WiMAX, o qual estende as funcionalidades do MIRA (*Multi-Service Resource Allocation*) [Augusto 2007], uma solução que visa provisionamento de recursos em redes cabeadas. O WIRA fornece provisionamento de largura de banda por Classes de Serviço (CoS) e mapeamento/adaptação de QoS de sessões. O MIRA assegura o nível de qualidade requisitado por cada fluxo de sessões unicast, ajustando seus recursos consoante as capacidades de QoS da rede para intermitência. Apesar de uma abordagem eficiente para provisionamento de QoS em redes sem fio WiMAX, o WIRA não funciona em redes em malha pois é apenas suportado no ponto de acesso diretamente ligados a rede dos usuários (não com múltiplos saltos). Além disso, o WIRA não realiza o provisionamento de recursos multicast.

O estudo dos trabalhos relacionados revela que nenhuma das propostas supra citadas cumpre os requisitos para provisionamento de recursos de sessões multiusuários em redes em malha sem fio, por não suportarem IP Multicast, comunicação em malha, ou gerarem excessiva sinalização.

3. Visão Geral do MIRA-WMN

O MIRA-WMN tem como principal objetivo provisionar dinamicamente recursos em redes em malha sem fio para suporte de sessões multiusuários com QoS. O MIRA-WMN possui uma solução única para orquestramento de alocação de largura de banda por classe e árvores multicast no mesmo sentido. O MIRA-WMN é hospedado em todas as QAPs de uma rede em malha sem fio. A seguir o MIRA-WMN é descrito detalhadamente.

3.1. Arquitetura MIRA-WMN

A arquitetura MIRA-WMN é constituída por dois componentes, nomeadamente o MIRA-WMN *Resource Controller* (MIRA-WMN-RC) e o MIRA-WMN *Protocol* (MIRA-WMN-P), e tabelas de estado. A Figura 1 apresenta a arquitetura do arcabouço MIRA-WMN, bem como a interface com o padrão IEEE 802.11e.

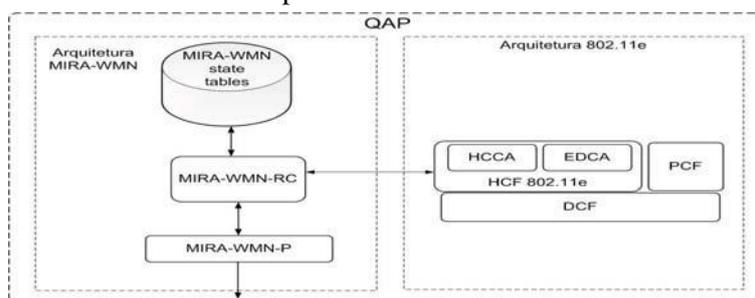


Figura 1. Arquitetura da suíte MIRA-WMN e interface com IEEE 802.11e

Interfaces internas e externas são suportadas para permitir a interação local entre os elementos da arquitetura ou expor suas funcionalidades a mecanismos e padrões fora da arquitetura, respectivamente. O MIRA-WMN-RC é responsável pelo provisionamento dos recursos de rede (largura de banda e árvores multicast). Para tal, o MIRA-WMN-RC

se utiliza de interfaces com os mecanismos suportados pelo padrão IEEE 802.11e conformemente. O MIRA-WMN-P prover a sinalização da arquitetura. Para diminuir a complexidade do protocolo, o MIRA-WMN-P disponibiliza apenas dois tipos de mensagem de sinalização: *RESERVE* e *RESPONSE*. As mensagens são repassadas pelo protocolo de roteamento intra-domínio presente, onde cada QAP visitado inspeciona seu cabeçalho para determinar as ações a serem tomadas.

A mensagem *RESERVE* sinaliza os agentes MIRA-WMN nas QAPs em direção a(s) QSTAs (*downstream*) para instalar, modificar, liberar ou coletar o estado atual da rede (i.e., QoS e conectividade). O recursos são alocados pelo MIRA-RC em cada QAP suprimindo o HCF com um TSPEC. Com base nos parâmetros de QoS contidos no TSPEC, o HCF se encarrega de configurar o escalonador de pacotes (reserva de largura de banda) e atribuir os quadros às suas respectivas filas (classificação). Além disso, os agentes MIRA-WMN nos QAPs de entrada da rede enviam periodicamente mensagens de *RESERVE* encarregadas de solicitar refrescamento dos estados previamente instalados, bem como coletar informações de QoS para atualizar as tabelas de estado.

A mensagem de *RESPONSE* é encarregada principalmente de fornecer *feedback* ao requisitante da operação prévia (contida no objeto *INFOSPEC*). O MIRA-WMN-RC também usa a mensagem de *RESPONSE* para solicitar liberação de recursos no sentido *downstream* (solicitação explícita de liberação) ou *upstream* (quando a alocação de recursos falha). No último caso, o QAP é impossibilitado de realizar a alocação dos recursos solicitados, cria imediatamente uma mensagem de *RESPONSE* e a envia no caminho reverso que foi percorrido pela mensagem de *RESERVE* associada (indicado no objeto *RSVPATH* da referida mensagem), e assim, todos os agentes visitados liberam os recursos indicados no objeto TSPEC.

3.3. Funcionalidades do MIRA-WMN

O provisionamento de recursos no MIRA-WMN tem por objetivo alocar recursos de QoS e conectividade nos QAPs ao longo de um caminho de comunicação no sentido do nó emissor ao(s) usuário(s) interessado(s) em uma determinada sessão. Por um lado, recursos de QoS refere-se a quantidade de largura de banda reservada para uma determinada CoS mapeada a uma TS. Para evitar monopólio de largura de banda, o MIRA-WMN se baseia em limites de reserva (máximo e mínimo) configurados em cada CoS manualmente pelo administrador de rede, o qual pode ter em conta políticas locais e acordos ao nível de serviço (esta definição não é foco deste trabalho). Por outro lado, estado de conectividade refere-se a árvores multicast sensíveis a QoS, as quais podem ser diretamente criadas pelo MIRA-WMN ou indicadas ao protocolo de roteamento multicast local. Não cabe ao MIRA-WMN determinar a quantidade de recursos necessários para uma sessão requisitante, mas sim proceder exatamente conforme solicitado por uma aplicação externa. Dessa maneira, não é foco deste trabalho determinar valores absolutos para algumas variáveis, como largura de banda. Como suporte ao provisionamento de recursos de rede, o MIRA-WMN-RC orquestra os seguintes mecanismos:

- Mapeamento de CoS: Responsável por mapear os requisitos de QoS da sessão requisitante na mais apropriada CoS padrão IEEE 802.11e (ou AC conforme o padrão) disponível. Este mecanismo baseia-se na solução detalhadamente descrita em

[Cerqueira 2007a, Cerqueira 2007b], o qual escolhe a CoS mais apropriada a uma sessão requisitante pela comparação dos parâmetros de QoS fornecidos durante o pedido de restabelecimento da sessão e a lista de CoSs IEEE 802.11e disponíveis no link sem fio, juntamente com suas capacidades de QoS atuais. Quando mais de uma CoS tiver sua configuração e capacidade de QoS atual compatível com os requisitos da sessão solicitante, o mecanismo gera uma lista de CoSs candidatas classificadas por ordem de qualidade. Se o mecanismo estiver configurado no modo *Ótimo*, a maior qualidade é sempre escolhida. No caso de estar configurado no modo *Sub-ótimo*, outros critérios podem ser considerados para escolha (como por exemplo custo, população e etc.);

- Controle de Admissão: Este mecanismo é encarregado de checar localmente a largura de banda disponível na CoS pretendida pela sessão, tendo em consideração a quantidade pretendida e o valor do limite de reserva configurado. Caso suceda, a sessão é admitida, caso contrário é negado. O controle de admissão é primordial para eficiência da alocação de recursos e mitigação da degradação da rede como um todo;
- Reserva de recursos: Mecanismo destinado a manipular reserva de recursos para a CoS pretendida pela sessão requisitante. Conforme dito anteriormente, a reserva de recursos no link sem fio é realizada através de solicitação explícita ao módulo HCF local (mensagens ADDTS encapsulando um TSPEC) para configuração de um TS;
- Controle de Árvore Multicast: destina-se a instalação, manutenção ou remoção de estado de árvore multicast no sistema, no caso de requisição de sessões baseada em grupo de usuários.

3.3.1 Estabelecimento de Sessão

Para facilitar a compreensão das funcionalidades do MIRA-WMN considere a Figura 2, a qual apresenta um cenário genérico para estabelecer uma sessão sobre uma rede segundo o padrão IEEE 802.11e/s com facilidades MIRA-WMN.

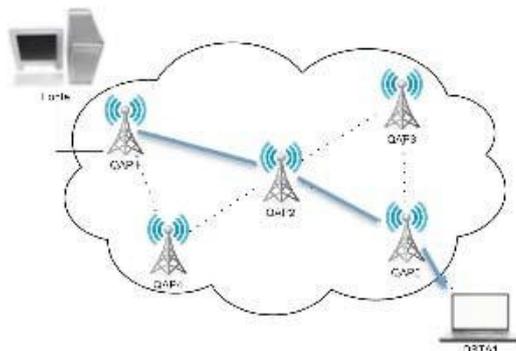


Figura 2: Cenário genérico do MIRA-WMN em uma rede IEEE 802.11e/s

Para requisitar o estabelecimento de uma sessão, uma aplicação no emissor ativa o agente MIRA-WMN no QAP de entrada da rede (QAP1 no caso) com uma mensagem *Session-Setup.Request* (especificada pela interface externa) para cada fluxo que compõe a sessão (S1), contendo: (i) o endereço de IP do nó de destino (QSTA1 no caso); (ii) indicação se é uma sessão unicast ou multicast; (iii) identificador da sessão (S1); (iv) identificador do

fluxo (F1); (v) e os requisitos de QoS da sessão (largura de banda, CoS, taxas máximas de atraso, perda e variação do atraso). Primeiramente, o MIRA-WMN-RC em QAP1 checa em suas tabelas de estado locais se a sessão solicitada já está ativa. Caso esteja, a requisição do emissor é negada através de uma primitiva *Session-Setup.Response*, caso contrário o procedimento prossegue. Se for uma sessão multicast, o MIRA-WMN-RC em QP1 interage com um mecanismo padrão para alocação dinâmica de endereços (MADCAP por exemplo [Hanna 1999]) solicitando um endereço multicast local.

Após alocar uma árvore multicast para conectar S1, o módulo MIRA-WMN-RC ativa o mecanismo de mapeamento para gerar um TSPEC (com a CoS IEEE 802.11e mais apropriada para S1). Depois disso, o mecanismo de controle de admissão é ativado, o qual verifica se o limite máximo de reserva da CoS escolhida foi excedido. Caso não, o módulo HCF local é ativado com uma mensagem *ADDTS.Request* contendo o TSPEC de S1. Após sucedido o controle de admissão, o HCF envia uma mensagem *ADDTS.Response* ao MIRA-WMN-RC local informando que os recursos foram alocados com sucesso (acarretando que S1 está alocada a um TS com a quantidade largura de banda indicada estando reservada ao longo do tempo de vida da sessão). Depois disso, a tabela de estado é atualizada com informações sobre S1: largura de banda reservada, IP do QAP de entrada (IP local) e a árvore multicast alocada. Feito isso, o MIRA-WMN-RC em QAP1 invoca o MIRA-WMN-P para compor a mensagem de *RESERVE* devidamente composta com: IP de destino QSAT1; IP origem QAP1 (inalterável até o fim); *TSPEC* (largura de banda, CoS, capacidades atuais de QoS em QAP1, atraso máximo, perda máxima); *INFOSPEC (NULL)*; *RSVPATH* (com IP QAP1).

A mensagem de *RESERVE* é devidamente composta com seus objetos. Cada QAP entre a QAP1 e QSTA1 (QAP2 e QAP5 no caso) captura a mensagem de *RESERVE* (pois a *flag IP-ruter alert* do cabeçalho IP da mensagem está ativada) e procede tal como QAP1. Ao final, QAP5 compõe uma mensagem de *RESPONSE* com: IP de destino (QAP1); *TSPEC* somente muda caso as capacidades de QoS locais sejam menores do que as do QAP anterior (para garantir informação somente do gargalo); *INFOSPEC* (1111 - OK); e *RSVPATH* (QAP1; QAP2, QAP5).

Após receber a mensagem *RESPONSE*, o MIRA-WMN-RC em QAP1 atualiza as informações de S1 na tabela de estado: o endereço IP dos QAPs indicados em *RSVPATH*, descobertos durante o envio da mensagem de *RESERVE* (contidos no objeto *RSVPATH*); e as capacidades de QoS no gargalo do caminho descoberto (em *TSPEC*). Finalmente o MIRA-WMN-RC envia uma *Session-Setup.Response* para o nó requisitante de S1 (Fonte) informando que a sessão foi admitida. Note que as operações não são realizadas fim-a-fim mas sim borda-a-borda (*i.e.*, *QAP-entrada a QAP-saída*), o que implica que o controle multicast não é sobrecarregado consoante o número de usuários (o que acontece com o padrão existente), já que toda a operação é ignorada caso a sessão já esteja ativada.

3.3.2 Encerramento de Sessão

Quando uma sessão entra em condição de encerramento, o MIRA-WMN define que seus recursos devem ser disponibilizados imediatamente. O MIRA-WMN decide encerrar uma sessão no caso de: (i) sua negação pelo controle de admissão em uma QAP; (ii) quando a sessão é encerrada; (iii) ou quando nenhum usuário está ativo. Portanto, a liberação imediata dos recursos de uma sessão encerrada visa otimizar a probabilidade de bloqueio

e melhorar o desempenho da rede. No entanto, essa operação deve ser feita cuidadosamente no caso de recursos associados a sessões multiusuários multicast ativos, pois seu encerramento pode desconectar usuários ainda interessados na sessão.

Para evitar esse problema, o MIRA-WMN define que os recursos de uma sessão encerrada só podem ser liberados a partir de um ponto de ramificação para um destino especificado. Quando uma aplicação deseja explicitamente requisitar liberação de recursos associado a uma sessão multicast, esta envia uma mensagem *Session-Delete.Request* para uma QAP de entrada contendo: IP do QAP de acesso, indicação da conexão multicast, e identificador da sessão/fluxo. Após receber a requisição, o MIRA-WMN-RC no referido QAP obtém informações mais detalhadas da sessão solicitada (TSPEC, fluxos, etc.) indexando o identificador da sessão na tabela de estado local. Após isso, o MIRA-WMN-RC verifica se o fluxo indicado está ativo. Caso não, a aplicação requisitante é informada, caso contrário o MIRA-WMN-RC verifica se o QAP local é um ponto de ramificação. Assumindo que a sessão indicada está localmente ativada e o QAP local não é um ponto de ramificação, o MIRA-WMN-RC ignora a operação e invoca o MIRA-WMN-P para enviar uma mensagem de *RESERVE* (com *flag d* ativado) afim de descobrir se a sessão está ativa nos demais nós do caminho e se algum deles é um ponto de ramificação da árvore multicast. Sempre que o MIRA-WMN-RC percebe que a sessão indicada está localmente ativa e que o QAP não é um ponto de ramificação da sessão, a operação de liberação de recursos é ignorada, e este procedimento é repetido. Caso contrário, o MIRA-WMN-RC libera os recursos da rede indicados e atualiza a entrada na tabela de estado associada a interface obtida. Todos os nós seguintes farão o mesmo até alcançar o QAP de saída.

Além de liberar os recursos de rede indicados e atualizar a tabela de estado na interface de rede obtida, o MIRA-WMN-P é invocado para enviar uma mensagem de *RESPONSE* para o QAP de entrada. Após receber uma mensagem de *RESPONSE* bem sucedida, o MIRA-WMN-P invoca o MIRA-WMN-RC, o qual irá remover na tabela de estado os recursos relativos ao fluxo indicado.

3.3.3 Resiliência

Para aumentar a confiabilidade e disponibilidade de recursos em redes em malha sem fio, o MIRA-WMN fornece um suporte a resiliência com baixo custo. A ideia se concentra no fato do agente MIRA-WMN ficar monitorando o estado do link em cada QAP ativo na rede em malha. Ao detectar a queda do link, o agente no QAP afetado imediatamente compõe e envia uma mensagem *RESPONSE* (com código de falha de link no objeto *INFOSPEC*) em direção ao(s) QAP(s) de entrada devidamente guardadas em tabelas de estado locais (conhecidos pelas mensagens de *RESERVE* para estabelecimento de sessão). Ao receber tal mensagem, cada QAP de entrada indexa nas tabelas de estado locais as os caminhos afetados pelo QAP com falha, bem como as sessões associadas a estes caminhos. Após isso, o agente MIRA-WMN compõe uma mensagem *RESERVE* (para estabelecimento de sessão) para cada sessão afetada, e envia em direção a referida QSTA.

O procedimento normal de estabelecimento de sessão se encarrega de obter um novo caminho, e assim as sessões são re-roteadas de forma apropriada pelo protocolo de roteamento intra-domínio disponível enquanto o MIRA-WMN dá o suporte de QoS e multicast sensível a QoS. Em caso de falha de nó, o QAP de entrada detectará falha ao

não receber o estado de um nó refrescado. Quando um nó não é atualizado em 3 períodos de sinalização, e tendo sessões ativas associadas a um caminho com esse QAP, o QAP de entrada inicia o procedimento de resiliência descrito acima, onde a diferença se dá por iniciá-lo sem sinalização explícita (*RESPONSE*) da rede, já que o nó está inativo.

4. Avaliação do MIRA-WMN

O impacto do uso do MIRA-WMN, tanto no plano de dados quanto no plano de controle para aprovisionar recursos em redes em malha sem fio compatíveis com o padrão IEEE 802.11e/s, foi avaliado através de simulações usando a ferramenta *Network Simulator* v2.33 (NS2)¹. Para simular sessões com altos requisitos e verificar o impacto da proposta de acordo com a experiência do usuário, o modelo de simulação foi configurado com sessões multimídia e tráfego *background*, e suas análises foram realizadas através da ferramenta Evalvid². Já que o pacote IEEE 802.11 do NS2 é incompatível com protocolos multicast, somente foi possível considerar sessões unicast. Portanto, as avaliações se concentraram em aspectos de QoS/QoE, não de conectividade.

4.1. O Modelo de Simulação

O modelo de simulação foi configurado com a topologia apresentada na Figura 3, gerada aleatoriamente pelo BRITE³, onde as QAPs e as QSTAs possuem capacidade de transmissão de 11Mbps. Para simulação das sessões multimídia, 65 fluxos CBR, mapeados na CoS AC_VI (vídeo) e com taxa de transmissão de 256Kbps. Além disso, um fluxo contínuo mapeado na classe AC_BE foi configurado para tráfego em *background* de modo a exceder em 50% a capacidade de da rede. A classe AC_BE tem um limite de reserva de 40%, enquanto cada classe AC_VI tem 20%. O tempo de vida dos fluxos foram aleatoriamente distribuídos, bem como o destino (QSTA1 e QSTA2), entre 7 segundos (curta duração) a 20 segundos (longa duração), sendo este intervalo escolhido com base na duração de traces utilizados para avaliação do nível de qualidade de vídeos reais [Video Traces Research Group (2010)].

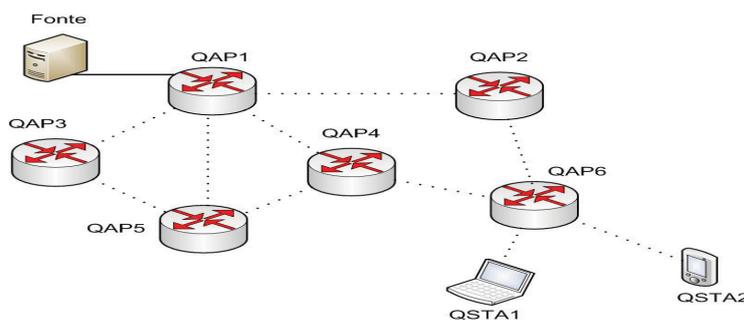


Figura 3. Topologia utilizado no modelo de simulação

¹The NS-2 Home Page, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

²Evalvid - A Video Quality Evaluation Tool-set, disponível em <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>

³BRITE's topology generator, disponível em: <http://cs-pub.bu.edu/brite/>

Devido a dificuldade em obter código de outras propostas, a metodologia adotada para os experimentos considerou duas configurações para o modelo de simulação: Regular, com os módulos do padrão IEEE 802.11e/s e configurações estáticas para classificação e sobre-reservas para cada CoS; e MIRA-WMN, com os agentes MIRA-WMN anexados aos QAPs interagindo com o padrão IEEE 802.11e/s.

4.2. Resultados

A metodologia adotada para análise dos resultados se deu no âmbito do plano de dados e do plano de controle. No que diz respeito ao plano de dados, foram avaliados a vazão de dados na rede, o atraso dos fluxos e a variação do atraso, para demonstrar a qualidade percebida pelo usuário final. A vazão de dados foi analisada afim de mostrar o quanto a rede fica subutilizada em um ambiente sem controle de QoS, além de ajudar na visualização das perdas ocorridas devido a situação de congestionamento. Quando analisado tráfego de vídeo, tanto o atraso quanto a variação impactam diretamente na qualidade do vídeo percebido pelo usuário.

Para que haja controle de QoS na rede, é necessário que mensagens sejam trocadas entre os agentes responsáveis por esse controle. Entretanto não é desejável que esses agentes gerem uma quantidade de sinalização que possa ocupar grande parte da rede, principalmente se tratando de ambientes de larga escala. Dessa forma, o que diz respeito ao plano de controle, foram analisadas as sinalizações geradas pelo MIRA-WMN, afim de mostrar que o seu uso não acrescenta um tráfego considerável na rede (ao contrário do trabalho relacionado). Os experimentos foram repetidos 10 vezes, tendo a média de seus resultados considerados com 95% de intervalo de confiança. A Figura 4 mostra a vazão de dados por CoS em um ambiente utilizando o MIRA-WMN e sem a utilização do MIRA-WMN, respectivamente.

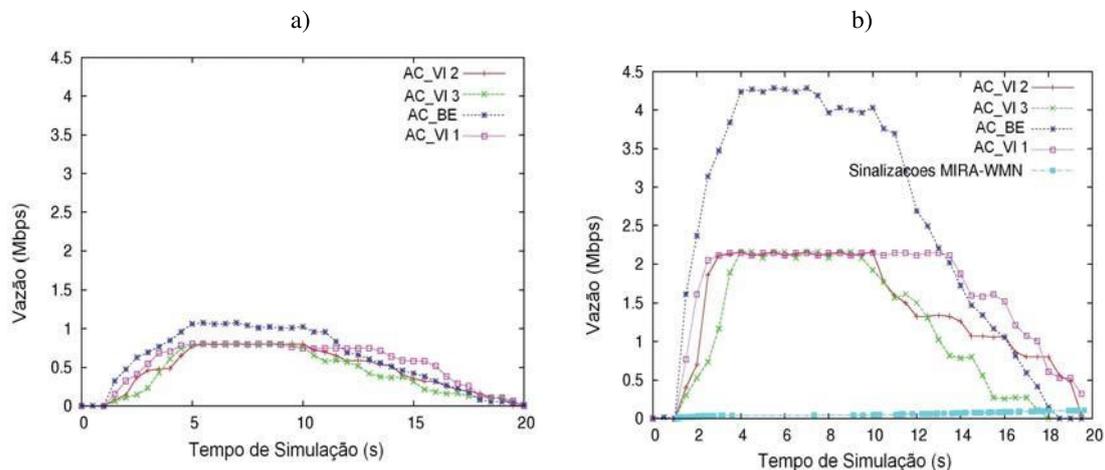


Figura 4. Vazão por CoS com configuração Regular (a) e com MIRA-WMN (b)

É percebido que o MIRA-WMN aproveita totalmente a largura de banda da rede, mantendo o fluxo das sessões mesmo durante situação de congestionamento. Em contrapartida, os experimentos com configuração Regular exibem fluxos com perda devido falta de controle do excesso de fluxos injetados na rede. Isso pode ser notado pela

vazão de dados das classes AC_BE (1,2Mbps) e AC_VI (0,7Mbps). Isso representa uma utilização de apenas 30% dos recursos da rede, justificado pelas perdas ocorridas devido a situação de congestionamento (ver Tabela 1). Isso mostra que devido ao controle de admissão e a alocação de recurso do MIRA-WMN permitiram um aproveitamento dos recursos da rede de 70% mais do que um cenário com configuração Regular.

Tabela 1. Perdas com configuração MIRA-WMN e Regular

Classes de Serviço	Perdas (%)	
	com MIRA-WMN	sem MIRA-WMN
AC_BE	32,9	50,0
AC_VI 1	30,8	21,7
AC_VI 2	33,6	49,9
AC_VI 3	38,9	50,0

Apesar das perdas com MIRA-WMN representarem um percentual alto, este é justificado pela característica hostil do meio sem fio (limitações de radio transmissão e alta taxa de erro, por exemplo). Além disso, os pacotes perdidos não prejudicaram a qualidade do vídeo transmitido, fato que pode ser graficamente atestado através da Tabela 2. Já as perdas sem a utilização do MIRA-WMN foram causadas por uma situação congestionamento descontrolado experimentado pela rede. No que diz respeito as sinalizações, nota-se que o MIRA-WMN gerou uma quantidade de sinalizações baixa quando comparado ao tráfego gerado pelas sessões ativas. Em termos quantitativos, o MIRA gerou 100Kbps de mensagens de sinalização, o que corresponde a aproximadamente 1% dos recursos da rede. Se levar em conta o impacto do MIRA-WMN nas sessões sensíveis a QoS/QoE, o tráfego de 100Kb de sinalização gerado pelo MIRA-WMN torna-se relativamente pequeno.

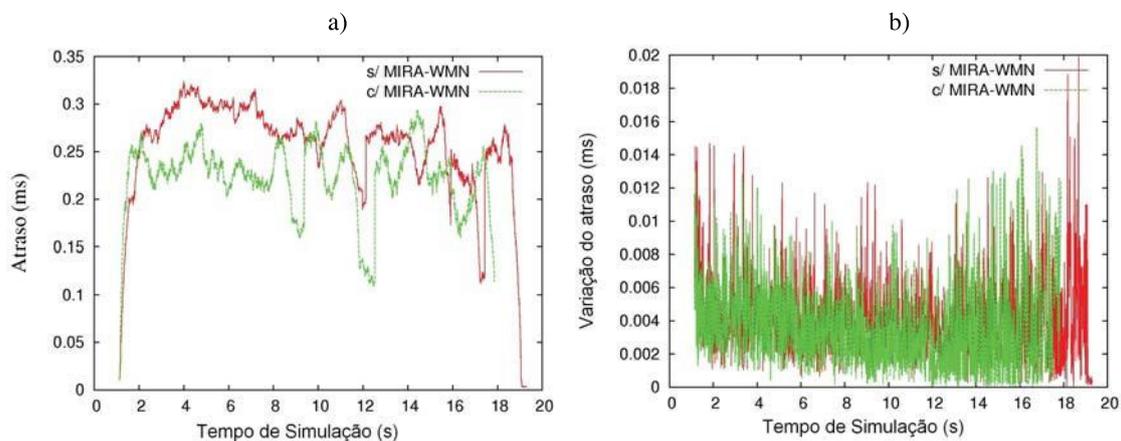


Figura 5. Atraso (a) e Variação do atraso (b) de sessões nos experimentos com configuração Regular e com MIRA-WMN

A Figura 5 mostra o atraso da rede no modelo de simulação com configuração Regular e MIRA-WMN. Os resultados atestam atraso médio de 0,22 ms (MIRA-WMN) e 0,25 ms (Regular), e a variação do atraso teve 0,003 ms (MIRA-WMN) e 0,004 ms (Regular). Dessa maneira, nota-se que um ambiente configurado com MIRA-WMN reduz em

aproximadamente 11,7% o atraso e em 15,7% a variação do atraso, em comparação a um ambiente com configuração regular. Mesmos nas situações de pico de atraso, o ambiente com MIRA-WMN obteve uma redução de 12,5% do mesmo em relação a configuração Regular, considerando que o pico de atraso com QoS foi de 0,28 ms e que o pico do ambiente sem o MIRA-WMN foi de 0,32 ms. O mesmo pode ser observado analisando a variação do atraso. Considerando que a rede usando o MIRA-WMN teve um pico de 0,16 ms e a rede com configuração Regular 0,2 ms, pode-se notar que o a rede com o uso do MIRA-WMN foi 20% mais eficiente nas situações de pico de variação de atraso.

Como forma de apresentar o impacto do MIRA-WMN na percepção dos usuário, avaliações visuais subjetivas foram realizadas. A Tabela 2 apresenta dois quadros retirados aleatoriamente dos vídeos transmitido nas simulações.

Tabela 2. Quadros do vídeo *News* com e sem MIRA-WMN

Configuração	Quadro número [12]	Quadro número [17]
Regular		
MIRA-WMN		

Pode-se notar que a qualidade do vídeo transmitido nas simulações com configuração Regular foi comprometida devido as perdas experimentadas pelo fluxo. Uma falsa contradição encontrada ao analisar a Tabela 2 se dá quando analisamos as perdas da classe AC_VI 1. Nota-se que esta classe teve menos perdas em um cenário com configuração Regular do que em um cenário com MIRA-WMN. A classe mostrou um comportamento melhor por ter ocupado a rede primeiro que as outras classes, tendo assim experimentado uma perda menor que as outras classes. Além do mais, como justificado anteriormente, essa classe experimentou perdas de pacotes sem retransmissões, o que certamente prejudicou o conteúdo recebido pelo usuário. É notório concluir que nas simulações configuradas com MIRA-WMN, o usuário recebeu a sessão multimídia com qualidade excelente, enquanto que nos experimentos com configuração Regular a qualidade foi insuficiente. Desta maneira, o MIRA-WMN é indicado para redes sem fio em malha destinadas ao suporte de aplicações com altos requisitos.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Esse trabalho propõe o *Multi-Service Resource Allocation in Wireless Mesh Networks* (MIRA-WMN) para provisionamento eficiente de recursos em rede em malha sem fio compatíveis com o padrão IEEE 802.11e/s. O MIRA-WMN orquestra provisionamento

de largura de banda por classe e árvores multicast de modo integrado, e se utiliza de um protocolo de sinalização de baixo custo. Além disso, a rede consegue suportar aplicações multiusuário com QoS/QoE garantido ao longo do tempo sem prejudicar seu desempenho. Para maior confiabilidade ao ambiente, o MIRA-WMN implementa um mecanismo de resiliência de baixo custo, provendo sessões intermitentes e com excelente nível de qualidade percebido pelo(s) usuário(s).

A avaliação do MIRA-WMN demonstrou eficiência dos mecanismos ao garantir os requisitos de QoS das sessões na rede durante todo seu tempo de vida, conciliado com um baixo acréscimo do tráfego na rede com as mensagens de sinalização. Mais precisamente, o MIRA-WMN mostrou-se mais eficiente em 70% no aproveitamento da largura de banda, 11,7% em relação ao atraso (12,5% no pico) e 15,7% em relação a variação do atraso (20% no pico), tendo ocupado 1% dos recursos disponíveis da rede. Análises gráficas demonstraram que o MIRA-WMN proporcionou aos usuários sessões multimídia com excelente qualidade percebida, enquanto que o mesmo não aconteceu nos experimentos com configuração Regular. Os resultados da avaliação do MIRA-WMN apontaram como trabalho futuro sua análise através de prototipagem para um estudo com maior exatidão. Dessa maneira, pretende-se implementar o MIRA-WMN em um ambiente real que já está em fase de implementação.

Agradecimento

Este trabalho recebeu apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Referências

- Serral-Gracia, R. *et al* (2010). “An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks”. Nos anais do *International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC 2010)*, Lule, Suécia
- IEEE Computer Society, Standard for Information technology (2000). “Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements”.
- Hiertz, G. R; Denteneer, D.; Max, S.; Taori, R.; Berlemann, L.; Walke, B. (2010) “IEEE 802.11s: The wlan mesh standard”. Em *IEEE Wireless Communications*, pg. 104–111, 2010.
- Bristow, P. (2006). “Unicast vs. multicast over wireless: a cross-disciplinary mindshare for educational application researchers”. Nos anais do *11th Annual Sigcse Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Nova York, NY, USA, 2006.
- Cheng, X.; Mohapatra, P.; Lee, S. J.; and Banerje, S. (2008), “*MARIA: Interference-aware admission control and qos routing in wireless mesh networks*”. Nos anais do *IEEE International Conference on Communications*, Beijing, China, 2008.
- Xue, J; Stuedi, P.; Alonso, G. (2007) “*Asap: An adaptive qos protocol for mobile ad hoc networks*”. Nos anais do *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Beijing, China, 2007.

- Chauhan, G. e Nandi, S. (2008) “*QoS Aware Stable path Routing (QASR) Protocol for MANETs*”. Nos anais do *First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET '08)*, Nagpur, India, 2008.
- Cerqueira, E. Neto, A. Curado, M. Mendes, P. Monteiro, E. (2008) “*WiRA: An Approach to Resource Control in WiMAX Systems*”. Nos anais do *Next Generation Internet Networks (NGI)*, Krakóvia, Polónia, 2008.
- Neto, A.; Cerqueira, E.; Rissato, A.; Monteiro, E.; Mendes, P. (2007) “*A Resource Reservation Protocol Supporting QoS-aware Multicast Trees for Next Generation Networks*”. Nos anais do *12th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, Aveiro, Portugal, 2007.
- Hanna, S.; Patel, B.; and Shah, M. (1999) “*Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol (MADCAP)*”, IETF RFC 2730, 1999.
- Cerqueira, E. *et al* (2007) "QoS Mapping and Adaptation in Next Generation Networks", nos anais do IEEE Workshop on Next Generation Service Platforms for Future Mobile Systems, Hiroshima, Japão, Janeiro de 2007.
- Cerqueira, E.; Veloso, L.; Curado, M.; Monteiro, E.; Mendes, P. (2007) "QoS Mapping and Adaptation Control for Multi-user Sessions over Heterogeneous Wireless Networks", nos anais do ACM International Mobile Multimedia Communications Conference, Nafpaktos, Grécia, Agosto de 2007.
- Video Traces Research Group (2010), "YUV 4:2:0 Video Sequences", <http://trace.eas.asu.edu/yuv/qcif.html>, Arizona State University, accessed in November 2010