

# Métodos de otimização cross-layer em ambientes multimídia aplicados em redes sem fio em malha

Marlon da Silva<sup>1</sup>, Edson Luiz França Senne<sup>2</sup>, Nandamudi Lankalapalli  
Vijaykumar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doutorado em Computação Aplicada – CAP  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

<sup>2</sup>Departamento de Matemática – DMA  
Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Guaratinguetá

<sup>3</sup>Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

{marlon.silva,vijay}@lac.inpe.br; elfsenne@feg.unesp.br

**Abstract.** *Cross-layer optimization is an approach that accompanies the growing and the expanding use of wireless networks and multimedia applications, especially in video applications and technologies that expand the coverage area of difficult installation locations such as mesh networks. This paper presents an approach to cross-layer optimization, since the OSI model to the application of some optimization models that seek to improve network performance in terms of communication between layers in wireless scenarios simple, with multimedia applications and wireless mesh networks and some techniques used to find feasible solutions in a shorter period of time and are applicable in a cross-layer architecture.*

**Resumo.** *A otimização cross-layer é uma abordagem crescente e que acompanha a expansão da utilização de redes sem fio e de aplicações multimídia, sobretudo, aplicações em vídeo, e de tecnologias que estendem a área de cobertura para lugares de difícil instalação, como as redes em malha. Este artigo apresenta uma abordagem sobre a otimização cross-layer, desde o modelo OSI até a aplicação de alguns modelos de otimização que procuram aprimorar o desempenho da rede, em termos de comunicação entre camadas, em cenários sem fio simples, com aplicações multimídia e em redes em malha sem fio e algumas técnicas empregadas para encontrar soluções viáveis num espaço de tempo menor e que são aplicáveis em uma arquitetura cross-layer.*

**Palavras-chave:** *Otimização cross-layer, Redes sem fio em malha.*

## 1. Introdução

A transmissão de dados multimídia em redes de computadores [Silva et al. 2012] vem crescendo a cada dia e os campos de aplicação são cada vez mais diversificados, abrangendo desde uma simples visualização de um vídeo doméstico até transmissões em telemedicina. Devido a este crescimento, a transmissão deve atender às demandas exigidas pelos diversos tipos de usuários, de forma a manter aceitável o serviço oferecido e vários obstáculos na transmissão de dados em uma rede devem ser superados, sobretudo se esta rede for sem fio. Apesar das dificuldades de transmissão de dados serem maiores em redes sem fio, a utilização destas redes é cada vez maior,

devido à disponibilidade de dispositivos portáteis como *notebooks*, *tablets* e telefones celulares. Para aprimorar a comunicação de dados, a estrutura de transmissão de dados em uma rede encontra-se organizada em camadas interdependentes, cuja estrutura é denominada arquitetura *cross-layer*, que mantém as funcionalidades associadas a cada uma das camadas, mas procura coordenar a interação entre elas.

Existe o desafio de otimizar este se aliado à estruturação da própria rede, como ocorre em redes sem fio em malha (ou redes *mesh*). As redes sem fio em malha são interessantes, pois permitem estender o raio de cobertura de uma rede sem fio. No entanto, a estruturação de uma rede *mesh* é mais complexa do que a de uma rede sem fio comum (como a Wi-Fi, por exemplo), uma vez que, além da decisão sobre o número e localização de dispositivos servidores (*gateways*), inclui decisões sobre o número e a localização de roteadores, o número de saltos (*hops*) entre roteadores, a necessidade de conectividade de roteadores a gateways, dentre vários outros fatores.

Neste trabalho, pretende-se estudar como otimizar as camadas de uma rede sem fio em malha, utilizada para transmitir aplicações de vídeo. O estudo deverá levar em conta a divisão das tarefas de tráfego de dados pelas diversas camadas que constituem a arquitetura da rede, que vão desde a escolha do canal em que a informação será transmitida, passando pela avaliação da qualidade de transmissão, até o direcionamento para qual aplicação do usuário o dado deverá ser transmitido. Além disso, a otimização de parâmetros de qualidade de serviço (QoS) deve ser considerada, em particular aos parâmetros que garantam a qualidade da transmissão de dados audiovisuais.

O trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são relacionados alguns trabalhos envolvendo a otimização *cross-layer*, desde as camadas, suas características e as interações que ocorrem entre elas, os conceitos, até a importância de otimizar as camadas conjuntamente. As técnicas empregadas na otimização *cross-layer*, seus métodos e aplicações serão apresentados na Seção 3. As conclusões e as sugestões para trabalhos futuros serão apresentadas na Seção 4.

## 2. Trabalhos Relacionados

A comunicação de dados em uma rede, a partir de um dispositivo servidor, requer a realização de diversas tarefas. Um grande desafio é como alocar estas diferentes tarefas, dado que existem vários usuários usufruindo os recursos da rede [Aune 2004]. Para que estas tarefas sejam realizadas de forma organizada, o modelo OSI (Open Systems Interconnection) considera a comunicação dividida em várias camadas.

O modelo OSI [Shakkottai et al. 2003] é uma forma abstrata de organizar as várias formas de comunicação e os protocolos existentes em uma rede, dividindo as tarefas de comunicação em camadas. Elas se comunicam entre si, fornecendo informações que suprem o funcionamento da comunicação da rede, de forma a atender os requisitos necessários para que rede e usuários possam interagir. O modelo OSI é dividido em sete camadas [Raisinghani e Iyer 2004] que são ordenadas desde a camada mais baixa (Camada 1) até a camada mais alta (Camada 7), conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1. Camadas encontradas na rede, segundo o modelo OSI.**

Camada		Descrição
1	Física (PHY)	Controla os canais de transmissão
2	Enlace (LLC e MAC)	Encapsula pacotes e auxilia no endereçamento
3	Rede	Roteia e endereça os dados
4	Transporte	Estabelece conexão com o destinatário

5	Sessão	Controla o diálogo durante as comunicações
6	Apresentação	Codifica as informações
7	Aplicação (APP)	Gerencia a utilização dos dados

Tais camadas interagem entre si, compartilhando informações que possibilitam ajustar o funcionamento da rede como um todo, de acordo com as funcionalidades de cada camada. Com base nestas interações, é possível extrair algumas métricas das camadas, tais como Algumas métricas podem ser extraídas das camadas, tais como a intensidade do sinal, as condições do canal e a taxa de codificação da camada física; a vazão da camada de enlace, as medidas de quantidade e tempo de transmissão por salto (quantidade média de saltos – ETX e tempo médio por salto – ETT) da camada de rede, as informações de perda de pacotes e vazão da camada de transporte e a demanda de dados a outras camadas, pela camada de aplicação.

A partir destas medidas, existe a necessidade de buscar um conjunto de estratégias nas camadas que sejam necessárias para que tais medidas sejam otimizadas. Estas estratégias podem ser encontradas por métodos, cuja modelagem do problema é denominada otimização *cross-layer*. Alguns trabalhos foram desenvolvidos para resolver este tipo de problema.

Van der Schaar e Shankar N [2005] apontam os principais desafios na pesquisa da otimização *cross-layer* em um ambiente sem fio, focando as camadas física, de enlace e de aplicação. Choi et al. [2004] e Khan et al. [2006], propõem modelos de otimização *cross-layer* que atendam ao uso de transmissões em vídeo simultâneas em uma rede, adotando uma camada de radioenlace (única camada a partir das camadas física e de enlace), para medir como desempenho o ruído médio (PSNR) do vídeo recebido. Estes trabalhos focam em redes sem fio que contém apenas clientes utilizando um único roteador.

Entretanto, existem trabalhos que estudam os efeitos da otimização *cross-layer* em redes em malha. O aprofundamento deste estudo deve-se ao fato das vantagens de se instalar redes em malha em locais que necessitem de expansão de sua área de cobertura [Akyildiz et al. 2005]. Porém, alguns problemas são encontrados na transmissão em malha e que alguns trabalhos propõem soluções para tais problemas.

A múltipla transmissão em uma WMN é levada em conta em Yuan et al. [2006], onde é maximizada a vazão em um problema de otimização conjunta, que agrega dois subproblemas: de capacidade da camada física e o de roteamento da camada de rede, através de um algoritmo primal-dual. Em Yazdanpanah et al. [2011], é desenvolvido um modelo de redes em malha onde os roteadores possuem direcionamento controlado, a fim de encontrar uma estratégia ótima de rede que maximiza a vazão de uma rede em malha, cujas restrições são divididas em quatro grupos: radiotransmissão, interferência, conservação de fluxo e largura de banda.

Apesar da variedade de material disponível na literatura sobre o assunto, o campo de aplicações de otimização *cross-layer* em redes em malha está em aberto, como, por exemplo, explorar algumas aplicações citadas nas subseções anteriores em cenários que estão estruturados em malha. Além disso, avaliar qual o comportamento das transmissões multimídia quando os pacotes necessitam trafegar em vários nós da rede, o que diferencia de avaliar aplicações de modo individual, como acontece em redes sem fio com apenas um roteador.

### 3. Técnicas em Otimização Cross-layer

Os modelos de otimização cross-layer, em casos reais, são considerados de grande porte. Apesar de, em quase todos os casos, a otimização não abordar todas as camadas de rede (no máximo, quatro camadas foram utilizadas em um modelo), existe a necessidade de se recorrer a técnicas que encontrem soluções que sejam próximas das soluções ótimas, quando estas são difíceis de serem encontradas por um método analítico, mesmo quando resolvidas com o auxílio de ferramentas computacionais.

Um algoritmo primal-dual é elaborado por Yuan et al. [2006] para encontrar uma solução viável para o problema de multitransmissão em uma rede multissalto, onde é feita uma decomposição a partir de subproblemas em cada camada estudada - física e de rede. Na camada de rede, o foco está no conjunto de vazão e de fluxo nos enlaces, representados pelo conjunto  $(f, p)$ , respectivamente. Na camada física, a otimização é focada no conjunto de variáveis  $(c, p)$ , representando a capacidade e a energia consumida de transmissão, respectivamente.

Uma vez definidos os subproblemas, encontra-se uma solução viável para o problema através do algoritmo primal-dual, definido nos seguintes passos:

- a) Atribui os valores iniciais  $\lambda_0$  e  $t = 0$ ;
- b) No domínio primal, resolver o subproblema físico (1) e o de rede (2):

$$\max_{\mathbf{r}, \mathbf{f}} U(\mathbf{r}) - \sum_l \lambda_l \sum_i f_l^i \quad (1)$$

$$\max_{\mathbf{c}, \mathbf{p}} \sum_l \lambda_l c_l \quad (2)$$

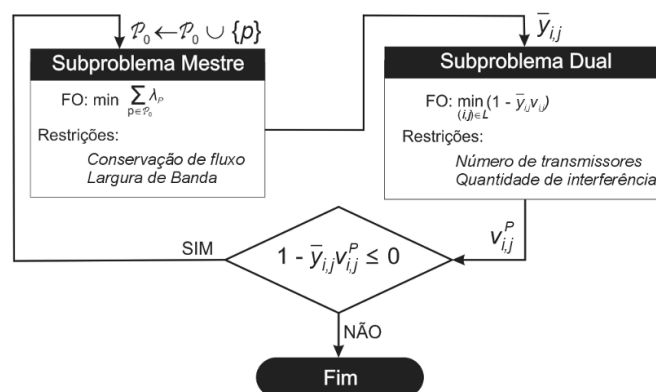
- c) No domínio dual, atualizar as variáveis duais:

$$\lambda_l^{(t+1)} = \max \left\{ 0, \left[ \lambda_l^{(t)} + \nu_l^{(t)} \left( c_l - \sum_i f_l^i \right) \right] \right\} \quad (3)$$

- d) Incrementar  $t = t + 1$  e retornar ao passo (b) até convergir.

O algoritmo aproximará o resultado obtido do valor ótimo. Porém o algoritmo não leva em conta a inclusão, por exemplo, do estudo da camada de enlace, nem de aplicação – importante para casos em que aplicações multimídia fossem ser trafegadas pela rede. Incluir mais camadas nos subproblemas primais e duais acarretaria em um tempo de processamento maior.

Um dos métodos mais utilizados na otimização *cross-layer* é o Método de Geração de Colunas (GC). Um método não-linear de GC aplicado por Johansson e Xiao [2006] sobre um modelo de otimização cross-layer é aplicado de forma a encontrar uma solução próxima da ótima em um tempo computacional menor. Outro método de GC foi aplicado por Yazdanpanah et al. [2011], atingindo tempos computacionais que proporcionaram resolver em tempo hábil instâncias que analiticamente seriam muito difíceis de resolver – consequência da redução em subproblemas, característica do método de Geração de Colunas. A Figura 2 mostra o fluxograma de execução do método, aplicado ao problema.



**Figura 2. GC proposto por Yazdanpanah et al. [2011]**

No subproblema mestre, é determinado o roteamento das demandas, onde a função objetivo é a mesma do problema original, mas considerando apenas as restrições de fluxo e de largura de banda. Na primeira iteração do algoritmo é considerado um conjunto de configurações viáveis  $P_0 \subseteq P$  é disponível para resolver tal subproblema. A solução do subproblema vai gerar uma solução ótima local para o problema de roteamento, gerando valores duais  $v_p^i$  a partir das restrições de largura de banda e aplicados no subproblema dual.

A partir dos valores fornecidos pelo subproblema mestre, o subproblema de custos (*pricing*) visa minimizar a função de custo reduzido, e o número de transmissores e a quantidade de interferência são as restrições do subproblema. Em cada iteração, o subproblema dual fornece uma configuração viável, sempre sendo verificada para determinar a otimalidade da solução obtida. Caso contrário, outra configuração  $p$  é adicionada ao conjunto de soluções  $P_0$ , até que seja encontrada a configuração ótima.

As técnicas de otimização mostraram resultados efetivos, para alguns casos onde técnicas tradicionais, como o simplex, não seriam capazes de resolver computacionalmente. No entanto, como é uma abordagem ainda nova, outras técnicas poderão ser empregadas para obter soluções satisfatórias para resolver problemas de otimização cross-layer. Este desafio será abordado durante o doutorado.

#### 4. Conclusões

Esta monografia apresentou as principais características que envolvem a otimização *cross-layer*. Apresentou também alguns trabalhos que se destacam na área, principalmente os trabalhos aplicados em cenários multimídia. Procurou-se destacar também as aplicações em vídeo e o avanço nas pesquisas aplicadas em redes sem fio em malha. Dado que os modelos de otimização *cross-layer* são extensos e, conseqüentemente, exigem um tempo computacional elevado para obter uma solução ótima, foram apresentadas algumas técnicas clássicas de otimização já aplicadas para obter uma solução aproximada dos problemas.

Da revisão bibliográfica realizada notou-se que existem várias possibilidades que podem ser exploradas em um trabalho futuro, como a utilização de outras métricas, tais como atraso médio, *jitter* e ETT. Outro campo possível de ser explorado é a aplicação de modelos de otimização *cross-layer* em outras áreas, além de redes de computadores, como, por exemplo, em modelos de prestação de serviços, em que cada estação é dividida em setores que se interagem e o rendimento no atendimento puder ser aprimorado de acordo com a forma em que se dispõe os diferentes setores das estações

de trabalho.

Em vista da quantidade de problemas a serem explorados e dos desafios a serem enfrentados, conclui-se que a aplicação da otimização *cross-layer* em ambientes de rede sem fio em malha ainda pode ser considerada como um campo de pesquisas em aberto..

## Referências

- Akyildiz, I. F.; Wang, X.; Wang, W. (2005), Wireless mesh networks: a survey. Computer Networks ISDN Systems, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, v. 47, n. 4, p. 445–487.
- Choi, L.-U.; Kellerer, W.; Steinbach, E. (2004), Cross layer optimization for wireless multi-user video streaming. In: Image Processing, 2004. ICIP '04. 2004 International Conference on. [S.l.: s.n.], 2004. v. 3, p. 2047 – 2050.
- Johansson, M.; Xiao, L. (2006), Cross-layer optimization of wireless networks using nonlinear column generation. Wireless Communications, IEEE Transactions on, v. 5, n. 2, p. 435–445.
- Khan, S.; Peng, Y.; Steinbach, E.; Sgroi, M.; Kellerer, W. (2006), Application-driven cross-layer optimization for video streaming over wireless networks. Communications Magazine, IEEE, v. 44, n. 1, p. 122–130.
- Raisinghani, V. T.; Iyer, S. (2004), Cross-layer design optimizations in wireless protocol stacks. Computer Communications, v. 27, n. 8, p. 720 – 724.
- Shakkottai, S.; Rappaport, T. S.; Karlsson, P. C. (2003), Cross-layer design for wireless networks. IEEE Communications Magazine, v. 41, n. 10, p. 74–80.
- Silva, M.; Senne, E. L. F.; Vijaykumar, N. L. (2012), Wireless mesh networks planning based on parameters of quality of service. In: Proceedings of 1<sup>st</sup> International Conference on Operations Research and Enterprise Systems. Vilamoura, v. 1, p. 441–446.
- Van der Schaar, M.; Shankar N, S. (2005), Cross-layer wireless multimedia transmission: challenges principles and new paradigms. Wireless Communications IEEE, v. 12, n. 4, p. 50–58.
- Yazdanpanah, M.; Assi, C.; Shayan, Y. (2011), Cross-layer optimization for wireless mesh networks with smart antennas. Computer Communications, v. 34, n. 16, p. 1894 – 1911.
- Yuan, J.; Li, Z.; Yu, W.; Li, B. (2006), A cross-layer optimization framework for multihop multicast in wireless mesh networks. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, v. 24, n. 11, p. 2092–2103.