

Planejamento e gerenciamento de recursos para redes sem fio baseadas em Rádio sobre Fibra

Pedro Henrique Gomes da Silva¹
Orientador: Nelson L. S. da Fonseca¹

¹ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Instituto de Computação,
Campinas, SP – Brasil, CEP: 13084–971, CxP: 6176

psilva@lrc.ic.unicamp.br, nfonseca@ic.unicamp.br

Abstract. *This article introduces a new architecture for wireless networks based on Radio over Fiber (RoF) technology. It analyzes the efficiency of existing network standards when based on RoF infrastructure. Moreover, it presents a management scheme that employ cell joining and splitting to cope with the dynamic access demand of mobile users. For that, an integer linear programming model and three fast algorithms are proposed for the optimization of resource usage as well as the enlargement of users coverage. Such management allows increased data rate and coverage as well as cost reduction, which facilitates the implementation of mobile applications and ubiquity.*

Resumo. *Este artigo discorre sobre uma nova arquitetura de redes de acesso sem fio baseada em Rádio sobre Fibra (RoF). Analisa-se a eficiência de padrões de redes existentes quando utilizam infraestrutura RoF. Propõe-se um esquema de gerenciamento dessas redes que utiliza a fusão e a divisão de células a fim de atender à demanda dinâmica de usuários móveis. Foram propostos um modelo de programação linear inteira e três algoritmos rápidos para a otimização do uso de recursos e aumento da cobertura dos usuários. O gerenciamento proposto possibilita o aumento da taxa de dados e da cobertura das redes sem fio, além de diminuir o custo das mesmas; viabilizando, assim, diversas aplicações móveis e a tão esperada ubiquidade.*

1. Introdução

O crescente uso de novos dispositivos e terminais multimídia, tais como smartphones e tablets, tem gerado um grande aumento na demanda do acesso à Internet móvel com altas taxas. As redes de acesso sem fio de faixa larga, tais como as tecnologias 3G e 4G, têm propiciado o acesso à Internet aos usuários destes novos dispositivos. No entanto, o aprimoramento das tecnologias de acesso não responde ao potencial aumento da demanda por acesso imposto pela computação ubíqua, acesso às nuvens e redes sociais móveis. Assim, novas arquiteturas de acesso devem ser propostas para responder aos desafios de expansão dos emergentes paradigmas de computação e comunicação.

A tecnologia de Rádio sobre Fibra (*Radio over Fiber* – RoF) integra as transmissões sem fio com as fibras ópticas, utilizando o melhor de cada tecnologia. Seu uso permite o acesso móvel, aumento das taxas de transmissão e, principalmente, aumento da área de cobertura. As redes RoF interconectam, através de enlaces ópticos, um grande número de antenas, chamadas Unidades de Antena Remota (*Remote Antenna Units* –

RAUs), com alguns pontos centrais da rede, chamados Estações Base de Controle (*Base Station Controllers* – BSC), nas quais as Estações Base (*Base Stations* – BSs) são concentradas. As Estações Móveis (*Mobile Stations*) devem ser atendidas através de associações entre as BSs e as RAUs [Al-Raweshidy and Komaki 2002]. As RAUs são antenas simples e de baixo custo, o que torna a implantação da infraestrutura de acesso barata e expansível.

A centralização dos recursos de rádio das redes, além de diminuir o custo de implantação e manutenção, permite o desenvolvimento de algoritmos que levam em consideração aspectos globais [Wake et al. 2004]. Nas arquiteturas tradicionais, otimizam-se os recursos considerando-se demandas locais, espalhando as Estações Base ao longo da área de cobertura e ajustando os seus parâmetros a partir de estimativas de demanda em cada região. Nas arquiteturas baseadas em RoF, otimizam-se os recursos globalmente, possibilitando a readequação dinâmica da infraestrutura da rede. As Estações Base podem se "mover" pela área de cobertura, já que a associação delas com as RAUs é feita de forma dinâmica, o que permite prover recursos para a demanda móvel da rede.

O rearranjo de células, que é possível apenas em arquiteturas centralizadas, como as baseadas em RoF, é uma quebra de paradigma no gerenciamento dos recursos das redes sem fio, possibilitando a minimização da ociosidade dos recursos, dado que é possível migrar os mesmos para as regiões com maiores demandas. Diminuindo-se o desperdício de recursos, é possível aumentar a área de cobertura da rede, assim como a taxa de dados dos usuários, já que mais células e de menor raio são implantadas em locais onde existe maiores demandas. A flexibilidade do RoF permite ainda a sua implantação em cenários diversos, tornando as tecnologias de redes sem fio existentes, como o 3G e 4G, viáveis de serem implantadas em diferentes regiões, desde centros urbanos até localidades rurais.

A Seção 2 apresenta a motivação e principais contribuições do trabalho. Na Seção 3 são relatados os resultados do estudo sobre dimensionamento do protocolo WiMAX para redes baseadas em RoF; e na Seção 4 são apresentados algoritmos para o gerenciamento da nova arquitetura. Por fim, a Seção 5 conclui o artigo.

2. Motivação e principais contribuições

Este artigo apresenta os principais resultados da dissertação de mestrado [Gomes 2011]. A principal contribuição da dissertação é uma nova arquitetura de acesso e seu gerenciamento. A arquitetura proposta não é específica de nenhuma tecnologia de acesso particular. A dissertação estuda 2 problemas relacionados com o uso da tecnologia de RoF em redes sem fio. O primeiro analisa o impacto dos atrasos em fibras de longas distâncias nas temporizações dos protocolos de controle de acesso ao meio. O objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade do uso da arquitetura proposta em redes de acesso. Apesar do estudo ter sido conduzido com a tecnologia WiMAX, dada a perspectiva de seu uso na época do desenvolvimento da dissertação, o mesmo é válido para outras tecnologias.

No segundo estudo, propuseram-se algoritmos de otimização para o gerenciamento de recursos de rádio para uma nova arquitetura de redes de acesso, que é composta de uma hierarquia de RAUs e que permite posicionar as Estações Base de forma ótima e dinâmica, bem como ajustar o comprimento dos raios das células. A modelagem do problema foi baseada em programação linear inteira e 3 funções objetivos diferentes foram propostas: a primeira para minimizar o número de Estações Base; a segunda para maximizar a receita do operador; e a terceira que engloba os dois objetivos anteriores.

Para viabilizar a otimização em redes sem fio móveis com configuração dinâmica, foram também propostos 3 algoritmos baseados em relaxação linear para a diminuição da demanda computacional da otimização. Resultados mostraram que a arquitetura proposta possibilita a otimização dos recursos e que os algoritmos rápidos conseguem obter resultados próximos dos ótimos em tempos reduzidos.

Tanto a arquitetura proposta quanto os modelos de otimização são genéricos suficiente para serem utilizados com diferentes critérios de otimização, tais como a minimização do consumo de energia. A formulação assume o emprego de algoritmos de desligamento de Estações Base em regiões com baixa demanda [Niu et al. 2010].

Os resultados da dissertação foram relatados em 9 publicações. O primeiro estudo foi publicado na conferência IEEE LATINCOM 2009 e na revista IEEE Latin America Transactions e os resultados do segundo estudo foram apresentados em conferências nacionais e internacionais (WPerformance 2010, SBRC 2011, IEEE LATINCOM 2010, IEEE Globecom 2010 e IEEE ICC 2011), além de uma revista regional (IEEE Latin America Transactions). Outro artigo foi submetido para publicação [Gomes et al. 2012] com uma versão estendida de todos os resultados da tese.

3. Dimensionamento de redes IEEE 802.16 baseadas em Rádio sobre Fibra

Foi avaliado o desempenho de protocolos de redes de acesso sem fio conhecidos, quando implementados em arquiteturas baseadas em RoF. É sabido que todo protocolo, principalmente nos níveis mais baixos da pilha, possuem temporizações e tempos de guarda que podem limitar o seu uso em diferentes meios físicos. Avaliou-se o uso da tecnologia de acesso WiMAX em arquiteturas baseadas em RoF, o que viabilizou uma avaliação mais realista da arquitetura proposta. Foram analisados os impactos da fibra na estrutura dos símbolos OFDM e na duplexação por tempo (TDD); assim, a análise também é válida para a tecnologia de redes LTE, que adota o OFDMA e OFDMA-SC para downlink e uplink, respectivamente, e o TDD na duplexação do meio.

O problema de perda de desempenho devido ao atraso introduzido pela fibra foi analisado através de modelagem matemática (equações) e de simulações. Diversos resultados e gráficos foram obtidos, que podem ser utilizados como base para o dimensionamento de redes baseadas em RoF.

O estudo concluiu que protocolos de acesso podem ser adaptados para serem usados em infraestrutura RoF para extensos comprimentos de fibra óptica, permitindo, assim, a cobertura de grandes áreas. As vantagens do uso de RoF são atraentes para redes de acesso em centros urbanos, nas quais existe uma grande demanda de largura de banda para aplicações móveis e um grande número de usuários, bem como para regiões rurais, que demandam uma infraestrutura de rede de baixo custo para populações pequenas.

4. Gerenciamento de recursos na arquitetura proposta

Nessa seção, apresenta-se uma arquitetura de acesso baseada em RoF que pretende atender aos novos desafios impostos pela crescente demanda dos dispositivos móveis.

Os algoritmos de gerenciamento buscam minimizar o custo da rede, com o uso do menor número possível de BSs. Buscou-se, também, maximizar a receita do operador, atendendo o maior número de usuários possível, de acordo com o tipo de serviço associados a estes. Por fim, esses dois últimos objetivos foram otimizados simultaneamente.

4.1. Arquitetura proposta e modelagem para o gerenciamento dinâmico

A arquitetura proposta consiste de recursos de rádio (BSs), localizados em centros de gerenciamento da rede (BSCs). Os recursos são dinamicamente distribuídos entre um grande número de antenas (RAUs), para que a demanda das estações móveis (MSs) seja atendida. As RAUs são organizadas em uma arquitetura hierárquica multicamadas, na qual as diferentes camadas possuem células com diferentes raios de cobertura. A hierarquia multicamadas fornece maior flexibilidade aos algoritmos, mas estes também podem ser empregados em cenários com uma única camada de antenas. O algoritmo proposto, que é executado nas BSCs, sugere a divisão e a fusão de células para otimizar o arranjo das mesmas e seus tamanhos. As RAUs podem ser dinamicamente "ligadas" e "desligadas", o que permite as operações de fusão e divisão de células de acordo com a demanda.

O problema foi formulado com um modelo de programação linear inteira (PLI) cuja solução determina: i) as BSCs que devem operar na rede, ii) as BSs que deve ser ativadas nas BSCs operacionais; iii) as RAUs associadas às BSs ativas, e iv) as MSs cobertas pelas RAUs associadas. A formulação é constituída de 12 restrições e as variáveis de decisão são separadas em duas matrizes. Todas variáveis de decisão são binárias. A matriz $x_{i,j,k}$ define a configuração final da infraestrutura que a rede deve operar; as variáveis assumem o valor 1 se a RAU R_i é associada à BS B_j , localizada na BSC C_k , e 0 caso contrário. A matriz $y_{i,j}$ define a cobertura e serviço da rede, associando as MSs às RAUs disponíveis; as variáveis assumem o valor 1 se a MS M_i é servida pela RAU R_j , e 0 caso contrário. As restrições do problema garantem que as RAUs só possam ser associadas à BSs ligadas por fibras ópticas, que uma MS seja atendida por apenas uma célula da rede, que exista um percentual mínimo de MSs atendidas e que o número total de MSs atendidas por uma RAU não ultrapasse a capacidade da BS associada àquela RAU. Mais detalhes sobre o modelo e suas restrições são mostrados em [Gomes 2011] (Seção 4.4).

Três funções objetivo diferentes foram avaliadas. A primeira minimiza o número de BSs utilizadas, a fim de se reduzir os custos da rede. A segunda maximiza o número de MSs servidas. A terceira tenta alcançar ambos os critérios, simultaneamente. Nota-se que minimizar o número de BSs é um critério ortogonal à maximizar o número de MSs atendidas. Assim, a terceira função engloba dois objetivos distintos. A solução do problema foi, no entanto, obtida através da transformação de um dos critérios para se ter uma resolução mono-objetiva. Nos resultados computacionais, os pesos de cada critério foram variados entre 0 e 1 com saltos de 0,05 e com soma igual a 1. Em [Gomes 2011] (Seção 4.4) são discutidas as funções objetivo.

O problema de alocação de recursos de rádio em RoF é um problema NP-difícil [Gomes 2011] (Seção 5.1). É necessário, portanto, abordagens que usam heurísticas ou algoritmos aproximados, dado que instâncias do problema podem exigir tempo de execução muito altos quando comparados com o tempo de reconfiguração da rede. São propostos algoritmos que empregam a técnica de relaxação linear para encontrar soluções de boa qualidade em períodos curtos.

Todos os algoritmos recebem como entrada uma solução dada pela formulação do problema linear relaxado (PL). Durante o processo de aproximação algumas variáveis da solução relaxada são arredondadas com o auxílio de variáveis aleatórias uniformes no intervalo $[0, 1]$ e outros PLs são resolvidos iterativamente. O trabalho propõe 3 algoritmos aproximados. O primeiro, minimiza o número de BSs; o segundo maximiza a receita

do operador e o terceiro tenta alcançar os dois objetivos. Os algoritmos são descritos em [Gomes 2011] (Seção 5.3).

4.2. Resultados numéricos da otimização

A infraestrutura de rede utilizada na avaliação consiste de uma BSC e várias RAUs distribuídas uniformemente, organizadas em 4 camadas, conforme pode ser visto na Figura 1.

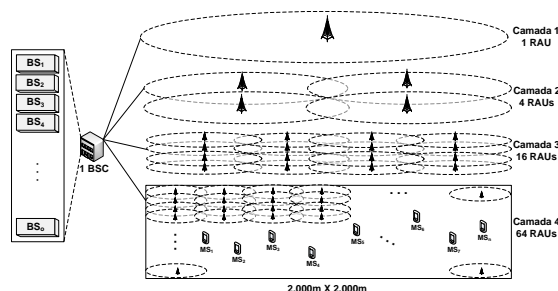


Figura 1. Infraestrutura de Rádio sobre Fibra usada na avaliação

Quatro infraestruturas de rede diferentes foram consideradas: a *Infraestrutura 1* envolveu apenas a Camada 1; a *Infraestrutura 2* envolveu as Camadas 1 e 2; a *Infraestrutura 3*, as Camada 1, 2 e 3 e a *Infraestrutura 4*, todas as 4 camadas. Ao se considerar estas quatro infraestruturas, foi possível avaliar os benefícios das diferentes estruturas das RAUs em hierarquia multinível.

Os resultados do PLI e dos algoritmos aproximados foram muito parecidos. Considerando a primeira função objetivo proposta, as *Infraestruturas 2 e 3* exigiram o menor número de BSs na rede. A *Infraestrutura 1* exigiu em média 35 BSs a mais, para redes com até 400 MSs (Figura 2). Analisando o tempo exigido pelo PLI, a infraestrutura que apresentou a melhor relação custo x benefício foi a *Infraestrutura 2*.

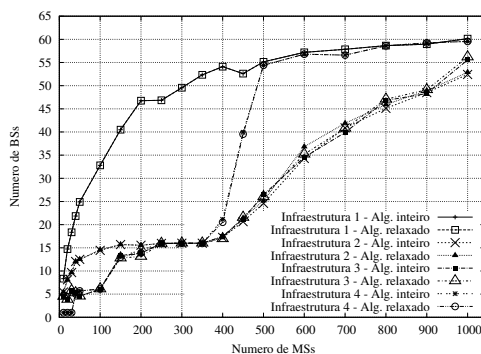


Figura 2. Minimização do número de BSs - soluções inteiras e aproximadas

O gap de otimalidade médio obtido pelas soluções relaxadas foi de 0,38% e o máximo foi de 6,48%. A diminuição média do tempo de execução foi de 180,16% e a diminuição máxima foi de 981% (Figura 3). Todos os demais resultados obtidos são apresentados em [Gomes 2011] (Seções 4.5 e 5.4).

5. Conclusões e considerações finais

Neste artigo foram apresentadas as contribuições da dissertação que propõe o uso de uma nova arquitetura de acesso baseada em Rádio sobre Fibra. Foi proposta uma nova arqui-

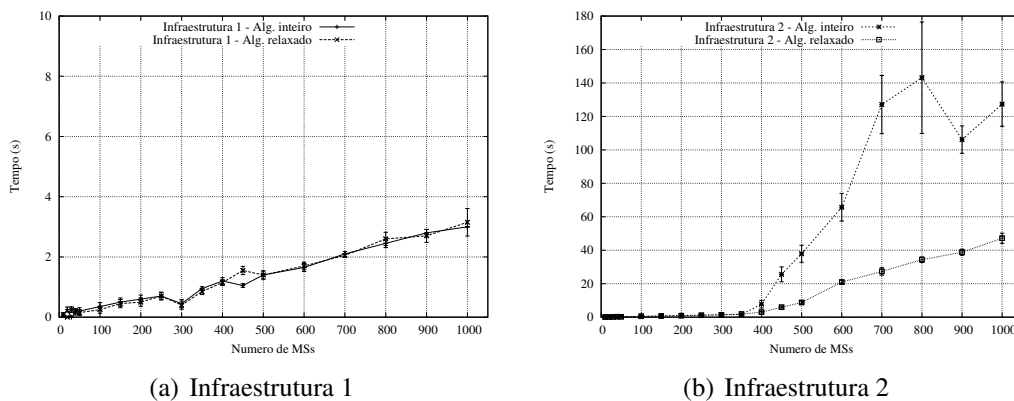


Figura 3. Tempo de execução dos algoritmos ótimo e relaxado

tutura que organiza a rede de acesso hierarquicamente em multicamadas e que é gerenciada por um mecanismo baseado em programação linear inteira. Algoritmos que utilizam relaxação linear também foram propostos para a obtenção de soluções rápidas, que são fundamentais em redes móveis.

Como trabalhos futuros, propõe-se a elaboração de novos algoritmos rápidos e que outras métricas, como a economia de energia, sejam avaliadas na otimização. Na realidade, a extensão da formulação para o problema de minimização de consumo de energia pode ser facilmente realizada. Este estudo é de grande importância dado que se estima que 50% do consumo energético em infraestruturas de Tecnologias de Informação e Comunicação seja devido às redes móveis, o que representa cerca de 1,5% do consumo global de energia, com previsão de crescimento de 300% em 2020 [Bolla et al. 2011].

Referências

- Al-Rawashidy, H. and Komaki, S. (2002). *Radio Over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks*. Artech House.
- Bolla, R., Bruschi, R., Davoli, F., and Cucchietti, F. (2011). Energy Efficiency in the Future Internet: A Survey of Existing Approaches and Trends in Energy-Aware Fixed Network Infrastructures. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 13(2):223–244.
- Gomes, P. H. (2011). Planejamento e gerenciamento de recursos para redes IEEE 802.16 baseadas em rádio sobre fibra. Master's thesis, Instituto de Computação - Unicamp. <http://www.lrc.ic.unicamp.br/~psilva/dissertacao-final.pdf>.
- Gomes, P. H., da Fonseca, N. L. S., and Branquinho, O. C. (2012). Radio Resource Optimization for Radio-over-Fiber Access Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications* (submetido).
- Niu, Z., Wu, Y., Gong, J., and Yang, Z. (2010). Cell zooming for cost-efficient green cellular networks. *IEEE Communications Magazine*, 48(11):74–79.
- Wake, D., Webster, M., Wimpenny, G., Beacham, K., and Crawford, L. (2004). Radio over fiber for mobile communications. *2004 IEEE International Topical Meeting on Microwave Photonics (IEEE Cat. No.04EX859)*, pages 157–160.