

Metaheurísticas Aplicadas à Gerência de Recursos de Rádio em Redes Multi-Acesso 4G

Yuri V. L. de Melo e Vicente A. de Sousa Jr.

Resumo—As redes de comunicações sem fio estão se tornando mais heterogêneas tanto em termos tecnológicos como em modelos de negócios das operadoras. Essa tendência, aliada ao crescimento da demanda por novos serviços, reforça a ideia que as redes modernas de comunicação sem fio deverão ser capazes de prover múltiplos serviços sob uma arquitetura de rede unificada, composta de várias redes de acesso de rádio, a chamada rede Multi-Acesso. Este trabalho de iniciação científica tem como objetivo o estudo de estratégias de Gerência de Recursos de Rádio em redes Multi-Acesso, mas especificamente a maneira de alocar usuários em tais redes, i.e., a Seleção de Acesso. Em [1], uma abordagem via otimização foi adotada e a busca da solução ótima do problema de seleção de acesso foi obtida através de Algoritmos Genéticos. Este trabalho tem como objetivo estender os estudos apresentados em [1] através do uso do algoritmo Tabu Search [2] como estratégia de busca da solução ótima. A intenção é obter soluções com menor custo computacional em relação a estratégia usada anteriormente. As soluções propostas foram prototipadas por meio de simulação e como objetivo final, o desempenho das mesmas foi avaliado e comparado.

Palavras-Chave—Redes 4G, Algoritmo Genético, Tabu Search, CRRM, Seleção de Acesso.

I. INTRODUÇÃO

A nova geração de comunicação móvel (4G) deve ser capaz de suportar novos serviços e alta eficiência espectral enquanto reduz o preço cobrado ao usuário final. Uma alternativa promissora para a arquitetura dos sistemas 4G é a rede Multi-Acesso (MA), a qual é composta por mais de uma Tecnologia de Acesso de Rádio (RAT) operando de maneira coordenada com o objetivo de prover serviços avançados de comunicação sem fio. O principal objetivo das redes MA é aproveitar a complementaridade das redes de acesso existentes para proporcionar maior taxa de transmissão e eficiência espectral. A rede MA requer um novo nível de Gerência de Recurso de Rádio (RRM), com característica mais ampla em relação ao RRM tradicional, a denominada Gerência de Recurso de Rádio Comum (CRRM). Ela não vai substituir o RRM, mas complementá-lo ao adicionar novas funcionalidades voltadas a regulação e uso inteligente da operação conjunta de várias RATs. Um das novas funcionalidades é a Seleção de Acesso (AS). Ela consiste em selecionar qual rede atenderá melhor cada usuário. Este trabalho consiste em explorar metaheurísticas para a busca da solução ótima do AS formulado com um problema de otimização combinatória.

II. FORMULAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

Como o problema a ser explorado neste trabalho envolve uma resolução formal via otimização, os critérios de seleção de acesso foram escritos em termos de uma função utilidade, a qual mapeia os objetivos e preferências das entidades de

comunicação (usuários e/ou rede) em números reais. Duas frentes foram usadas no problema de seleção de acesso [1]: GASP (Problema Geral de Seleção de Acesso) e SASP (Problema de Seleção de Acesso Restrita). Com o GASP, a entidade de CRRM tem liberdade de realocar os usuários já conectados quando ocorre um novo pedido de conexão, enquanto que no SASP apenas a nova conexão pode ser gerenciada. Dessa forma, o objetivo é decidir a melhor alocação de conexões tal que a função utilidade da rede MA seja maximizada com ou sem liberdade de reconectar usuários já em operação. O GASP foi formulado considerando um conjunto de M RATs e N conexões, como mostrado na equação 1. O problema tratado neste trabalho consiste em maximizar a função utilidade $f(x_{mn}, r_{mn}, w_{mn}, G_m)$, sujeito a algumas restrições. Cada RAT tem uma quantidade limitada de recurso de rádio G_m . Quando uma conexão n é alocada a uma RAT m , ela consome uma quantidade de recurso r_{mn} , gerando uma receita w_{mn} . A receita gerada corresponde a uma função $h_{mn}(r_{m1}, \dots, r_{mn}, \dots, r_{mN})$, a qual é caracterizada pelas especificidades da RAT m e dependente dos requisitos de recurso de cada conexão.

$$\begin{aligned}
 & \max \quad f(x_{mn}, r_{mn}, w_{mn}, G_m) \\
 & \text{sujeito a} \\
 & \quad \sum_{1 \leq m \leq M} x_{mn} = 1, \text{ para } n = 1, 2, \dots, N \\
 & \text{sendo} \\
 & r_{mn} = \begin{cases} r^{Req}_{mn}, \text{ se } \sum_{1 \leq n \leq N} r_{mn} \cdot x_{mn} \leq G_m \\ g_{mn}(G_m, N_m), \text{ se } \sum_{1 \leq n \leq N} r_{mn} \cdot x_{mn} > G_m \end{cases}, \\
 & w_{mn} = h_{mn}(r_{m1}, \dots, r_{mn}, \dots, r_{mN}) \\
 & x_{mn} \in \{0, 1\}, \text{ para } m = 1, \dots, M \text{ e } n = 1, 2, \dots, N.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Na equação 1, r^{Req}_{mn} é o consumo de recurso mínimo que garante o requerimento de qualidade de serviço da conexão n na RAT m e N_m é o número de conexões na RAT m . Os recursos de rádio de cada RAT são compartilhados por todas as suas conexões quando o consumo de recurso ($\sum r_{mn} \cdot x_{mn}$) atinge o valor máximo permitido pela RAT (G_m). A divisão de recursos é representada por $g_{mn}(G_m, N_m)$. Ela representa a função que modela a parcela de recurso destinada a uma conexão n quando assinalada para a RAT m . Ela pode ser escrita com um número diferente de argumentos de forma a contemplar diferentes políticas de escalonamento.

Para fins de análise de desempenho foi criado um simulador o qual modela uma rede MA composta de duas RATs com capacidade e cobertura diferentes, como ilustrado na figura 1. Para esse cenário em questão, a RAT 1 tem cobertura maior que a RAT 2 (Hot Spot). A descrição completa desse simulador pode ser encontrado em [1], [3].

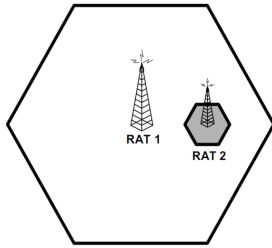


Fig. 1. Cenário MA para análise de desempenho.

III. SOLUÇÕES INVESTIGADAS

Em problemas como o mostrado na equação 1, cuja solução gulosa (*greedy*) se torna excessivamente onerosa ou mesmo inviável, é bastante útil poder contar com ferramentas de busca que aliem uma significativa capacidade de busca em um *modus operandi* genérico e flexível. Ferramentas baseadas em metaheurística aplicadas na área de telecomunicação [4] se encaixam perfeitamente nesse modelo, sendo, portanto, candidatas naturais à tarefa de buscar a alocação ótima de usuários em redes MA. O GASP é um problema de otimização combinatória NP-difícil [5]–[7] e por esse motivo escolheu-se o emprego de metaheurísticas para a busca da melhor solução. Algoritmo Genético (GA) e Tabu Search (TB) são utilizados para essa busca. O GA emprega uma metáfora originada da teoria da evolução natural e o TB é um método de busca local que mantém uma lista de soluções candidatas visitadas recentemente (Lista Tabu) e se recusa a revisitar estas candidatas até que um determinado tempo se passe, objetivando encontrar a melhor solução para a função utilidade [2].

Dentre as soluções investigadas, o algoritmo baseado em cobertura (CTA) é o mais simples, portanto, usado como algoritmo de referência. No CTA a conexão é destinada para a RAT à qual o usuário tem cobertura, i.e., os usuários do Hot Spot são conectados à RAT 2. Não existe distinção entre as versões GASP e SASP do CTA, pois esse algoritmo não advém de uma modelagem por otimização. A função utilidade da equação 1 pode ser composta de somente uma métrica de desempenho bem como uma combinação de várias métricas. Neste trabalho escolheu-se a função utilidade baseada na estratégia de maximização da taxa (RMA) para caracterizar a solução GASP (tanto com o GA e o TB), devido ela ter sido a melhor escolha em outros estudos [1], [3]. Na sua versão SASP, cada usuário é conectado a RAT para a qual apresenta melhor condição de taxa de transmissão.

IV. RESULTADOS

O GASP com TB apresentou um ganho em comparação ao CTA, como pode ser visto na Figura 2. A análise comparativa entre GASP e SASP indica que a seleção de acesso pode assumir um escopo mais amplo e a realocação de usuários no ato da admissão traz benefícios significativos em termos de vazão de dados. Em relação as duas técnicas de otimização utilizadas com a mesma função utilidade (RMA), verifica-se a melhor qualidade do GA (Figura 3), principalmente para cargas altas. Essa melhor qualidade da busca é devido ao GA incluir mecanismos de fuga de ótimos locais enquanto que a busca local do TB cai em mínimos locais quando a complexidade do problema aumenta (maior carga). Para carga baixa, os algoritmos obtiveram praticamente o mesmo desempenho em

termos de taxa de transmissão, contudo o TB disponibiliza o resultado em menos tempo que o GA.

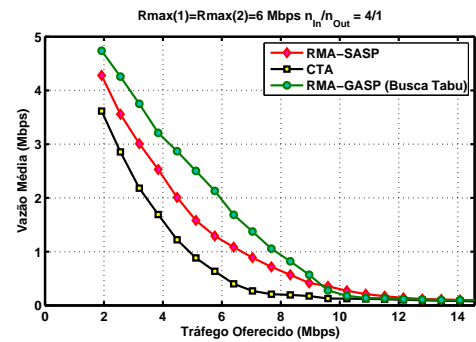


Fig. 2. Análise de desempenho do SASP e do GASP com o Busca Tabu.

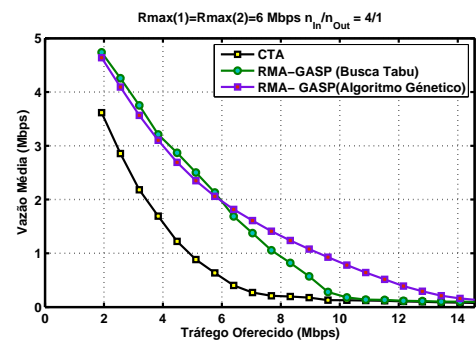


Fig. 3. Análise de desempenho das metaheurísticas para o GASP.

V. CONCLUSÕES

Considerando o problema da seleção de acesso, obtiveram-se resultados mais rápidos com a TB, mas o desempenho final da solução foi inferior ao GA devido principalmente a sua ineficiência de fuga de ótimos locais. A implementação de metaheurísticas proporcionou investigar o problema de seleção de acesso com mais graus de liberdade, i.e., verificar o ganho de realocar conexões já em operação no momento um pedido de conexão. A análise de desempenho via protótipo de software mostrou ganhos significativos em termos de vazão média, mas os benefícios obtidos com a implementação das técnicas de CRRM podem ser aproveitadas de outras formas, tais como: ganho de cobertura, capacidade e QoS.

REFERÊNCIAS

- [1] V. A. de Sousa Jr, "Seleção de acesso e gerência de recursos de rádio em redes multi-acesso," Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Ceará (UFC), 2009.
- [2] S. M. Sait and H. Youssef, *Iterative Computer Algorithms with Applications in Engineering - Solving Combinatorial Optimization Problems*. Wiley IEEE Computer Society, 1999.
- [3] A. P. da Silva, L. S. Cardoso, V. A. de Sousa Jr., and F. R. P. Cavalcanti, *Optimizing Wireless Communication Systems*, F. R. P. Cavalcanti and S. Andersson, Eds. Springer US, 2009.
- [4] M. C. Sinclair, "Evolutionary telecommunications: A summary," *Proc. GECCO'99 Workshop on Evolutionary Telecommunications: Past, Present and Future*, 1999.
- [5] S. Martello and P. Toth, *Knapsack Problems: Algorithms and Computer Implementations*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 1990.
- [6] M. Yagiura, T. Ibaraki, and F. Glover, "An ejection chain approach for the generalized assignment problem," Department of Applied Mathematics and Physics, Graduate School of Informatics, Kyoto University, Technical Report, 1999.
- [7] H. R. Loureno and D. Serra, "Adaptive approach heuristics for the generalized assignment problem," Department of Economics and Business, Universitat Pompeu Fabra, Economics Working Papers 288, May 1998.