

Algoritmo Genético e Tabu Search para solucionar o problema das p-medianas

João Lucas Silva Solano

¹Departamento de Informática – Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Campus Universitário – 36.570-900 – Viçosa – MG – Brasil

joao.l.solanoufv.br

Abstract. *In this article, we present an approach for solving the p-median problem using two heuristics together. For this work, we analyzed several parameters for Tabu Search to be used as part of the initial population that will be further consumed in a Genetic Algorithm. We examined these approaches with the aim of finding the best location for p facilities that minimizes the total cost of the solution.*

Resumo. *Neste artigo, apresentamos uma abordagem para solucionar o problema das p-medianas utilizando duas heurísticas em conjunto. Para esse trabalho, analisamos alguns parâmetros para o Tabu Search para que seja utilizado como parte da população inicial que será consumida, posteriormente, em um Algoritmo Genético. Analisamos essas abordagens com o objetivo de encontrar a melhor localização de p instalações que minimize o custo total da solução.*

1. Introdução

O problema das p-medianas é um problema de otimização que envolve a seleção estratégica da localização de p instalações em uma rede. O objetivo principal é minimizar o custo total de serviço considerando fatores como distância, demanda e acessibilidade. Neste problema, é necessário determinar as p localizações ideais que melhor atendam às demandas dos usuários ou clientes, levando em conta as restrições e características e específicas da rede em análise. O problema das p-medianas é amplamente aplicado em diversas áreas, como transporte, logística, planejamento urbano e telecomunicações, desempenhando um papel fundamental na tomada de decisões estratégicas relacionadas à localização de instalações e serviços. Ao longo dos anos, foram desenvolvidos diversos métodos e algoritmos para abordar esse problema complexo, buscando encontrar soluções eficientes e de alta qualidade.

Este trabalho propõe uma abordagem para a resolução do problema das p-medianas, combinando as meta-heurísticas Tabu Search e Algoritmo Genético. A Tabu Search é uma técnica de busca local que visa explorar soluções próximas, mesmo aquelas que possam ser piores em termos de qualidade, permitindo escapar de mínimos locais e explorar diferentes regiões do espaço de busca. Essa abordagem utiliza uma lista tabu para evitar que soluções já visitadas sejam revisitadas, permitindo um maior grau de diversificação durante a busca. Por outro lado, o Algoritmo Genético é inspirado no processo de evolução biológica e utiliza conceitos como seleção, recombinação e mutação para explorar o espaço de soluções de forma mais ampla. Ele mantém uma população de

soluções candidatas e, ao longo das iterações, busca combinar características promissoras e melhorar gradualmente a qualidade das soluções encontradas. Ao combinar essas duas meta-heurísticas, busca-se aproveitar as vantagens de cada abordagem e obter melhores resultados na resolução do problema.

2. Trabalhos Relacionados

No mesmo contexto, [Rolland et al. 1997] propuseram uma nova heurística de solução para o problema das p -medianas, baseada nos princípios da busca tabu. O algoritmo desenvolvido por eles utiliza conceitos como memória de curto e longo prazo, além de estratégias de oscilação e tamanhos aleatórios para a lista tabu. Através de testes computacionais em redes com até 500 nós, os resultados demonstraram que a heurística proposta por [Rolland et al. 1997] apresenta soluções de maior qualidade em relação às demais abordagens. Esses achados destacam a eficiência da busca tabu aplicada ao problema das p -medianas.

Nos trabalhos de [Hosage and Goodchild 1986] e [Chaudhry et al. 2003], eles apresentaram um algoritmo genético para abordar o problema das p -medianas. Enquanto um mostra que esse algoritmo possa não ser tão eficiente quanto as heurísticas existentes para o problema das p -medianas, o outro, com base em resultados satisfatórios, mostra que é sim possível utilizar essa heurística nesse problema em questão. Os parâmetros para o algoritmo genético utilizados nesse trabalho foram inspirados nos de [Chaudhry et al. 2003].

3. Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho visa abordar o desafio de encontrar uma solução eficiente para o problema das p -medianas, utilizando uma abordagem híbrida que combina a Tabu Search e o Algoritmo Genético. O objetivo principal é investigar se é possível melhorar a solução inicial obtida pela Tabu Search ao utilizar essa solução como base para criar uma população inicial no Algoritmo Genético. A Tabu Search, uma meta-heurística baseada em busca local, é aplicada inicialmente para encontrar uma solução de qualidade para o problema das p -medianas. Em seguida, essa solução é utilizada como ponto de partida para o Algoritmo Genético, onde a população inicial é composta por soluções vizinhas à solução do Tabu Search em combinação com soluções aleatórias. Dessa forma, busca-se explorar a região do espaço de busca em torno da solução encontrada pelo Tabu Search, bem como introduzir diversidade na população inicial do Algoritmo Genético.

Ao combinar essas duas abordagens, busca-se avaliar se o Algoritmo Genético pode aprimorar a solução inicial do Tabu Search, contribuindo para a obtenção de soluções de maior qualidade para o problema das p -medianas.

Foram analisadas instâncias do problema clássico das p -medianas, utilizando a biblioteca OR-Library. Para o problema, foram selecionadas e utilizadas as 30 instâncias disponíveis nessa biblioteca.

3.1. Solução Inicial

A solução inicial submetida ao Tabu Search neste trabalho é obtida através de uma abordagem gulosa, onde o objetivo é minimizar o custo da solução de forma imediata. Essa estratégia consiste em selecionar, em cada etapa, a opção mais benéfica considerando o

contexto atual. Dessa forma, busca-se construir uma solução inicial que tenha um bom desempenho inicial e possa servir como base para as iterações subsequentes do Tabu Search. A escolha gulosa visa encontrar uma solução que, mesmo não sendo ótima, possa fornecer uma boa direção inicial para a busca local e, assim, explorar regiões promissoras do espaço de soluções.

3.2. Vizinhança

Na abordagem proposta, a escolha da vizinhança desempenha um papel crucial no processo de busca por soluções melhores. Neste trabalho, foi adotada a estratégia de substituir cada uma das p instalações da solução atual por 5 novas instalações escolhidas aleatoriamente. Essa abordagem resulta na geração de $5p$ novos vizinhos para a solução inicial, ampliando significativamente o espaço de busca explorado. Ao explorar diferentes combinações de instalações, busca-se encontrar alternativas que possam levar a soluções de melhor qualidade para o problema das p -medianas.

3.3. Parâmetros

Nesta seção, analisaremos os parâmetros utilizados em cada uma das meta-heurísticas propostas, a Tabu Search e o Algoritmo Genético. Serão discutidos aspectos como tamanho da lista tabu, critérios de parada, tamanho da população inicial, operadores genéticos e estratégias de seleção.

3.3.1. Tabu Search

No Tabu Search, foram realizadas análises e escolhas criteriosas dos parâmetros para otimizar o desempenho da meta-heurística. Quanto ao tamanho da lista tabu, foram considerados três valores: 30, 40 e 50. O desempenho da heurística foi avaliado para cada um desses tamanhos e os melhores resultados obtidos foram utilizados na população do Algoritmo Genético. Além disso, o número máximo de iterações foi definido como 100, considerando as limitações computacionais. Esse valor foi escolhido com base em experimentações anteriores, em que se obteve resultados satisfatórios dentro de um tempo razoável. O limite de tempo de execução da Tabu Search foi limitado em 15 minutos.

3.3.2. Algoritmo Genético

No Algoritmo Genético, foram adotados os parâmetros que apresentaram melhores resultados na pesquisa de [Chaudhry et al. 2003]. Esses parâmetros foram cuidadosamente selecionados para maximizar o desempenho da meta-heurística. O tamanho da população inicial foi definido como 200 indivíduos, sendo eles 33% soluções vizinhas da solução encontrada previamente pela Tabu Search e 67% de soluções aleatórias, garantindo uma diversidade suficiente para a exploração do espaço de soluções. O número máximo de gerações foi estabelecido em 200, permitindo um número adequado de iterações para a evolução das soluções ao longo do tempo. Para a seleção de pais, optou-se por selecionar metade da população atual, favorecendo uma maior diversidade genética. A função de fitness adotada foi definida como 1 dividido pelo custo mais um pequeno valor 1×10^{-6} para evitar divisão por zero. A probabilidade de mutação foi configurada em 5%, permitindo

uma pequena chance de introdução de variação genética na população. Quanto ao crossover, foi escolhido o crossover uniforme com probabilidade de 85%, garantindo uma combinação equilibrada das características genéticas dos indivíduos. Esses parâmetros foram selecionados buscando alcançar um equilíbrio entre a exploração e a exploração do espaço de soluções, de forma a obter soluções de qualidade para o problema das p-medianas. O limite de tempo de execução do Algoritmo Genético foi limitado em 15 minutos.

4. Resultados

Nesta seção, apresentaremos os resultados da combinação das melhores soluções alcançadas pelo Tabu Search com o Algoritmo Genético. Na Tabela 1 são relatadas a solução ótima conhecida para cada uma das 30 instâncias analisadas, a solução encontrada pelo nosso método, o tempo necessário para alcançar essa solução e a proximidade da solução encontrada em relação à ótima. Analisaremos os resultados em termos de qualidade das soluções obtidas e a eficiência do método proposto.

Tabela 1. Resultados do Tabu Search e do Algoritmo Genético.

| Inst | OPT | Initial | TS | | | | GA | | |
|------|------|---------|---------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|
| | Cost | Cost | TL Size | Cost | Opt | Time (s) | Cost | Opt | Time (s) |
| 1 | 5819 | 5891 | 30 | 5819 | 100% | 0.23 | 5819 | 100% | 0.01 |
| 2 | 4093 | 4118 | 30 | 4102 | 99.78% | 3.18 | 4105 | 99.71% | 51.58 |
| 3 | 4250 | 4399 | 40 | 4250 | 100% | 1.95 | 44250 | 100% | 0.01 |
| 4 | 3034 | 3088 | 20 | 3038 | 99.87% | 12.98 | 3034 | 100% | 40.18 |
| 5 | 1355 | 1373 | 39 | 1355 | 100% | 1.28 | 1355 | 100% | 0.01 |
| 6 | 7824 | 8027 | 20 | 7899 | 99.04% | 1.35 | 7824 | 100% | 46.52 |
| 7 | 5631 | 5646 | 30 | 5646 | 99.73% | 7.83 | 5645 | 99.75% | 102.91 |
| 8 | 4445 | 4472 | 40 | 4468 | 99.48% | 20.44 | 4457 | 99.73% | 201.34 |
| 9 | 2734 | 2811 | 30 | 2762 | 98.98% | 80.91 | 2748 | 99.49% | 399.89 |
| 10 | 1255 | 1286 | 30 | 1258 | 99.76% | 223.8 | 1258 | 99.76% | 666.73 |
| 11 | 7696 | 7721 | 30 | 7696 | 100% | 0.46 | 7696 | 100% | 0.02 |
| 12 | 6634 | 6651 | 20 | 6651 | 99.74% | 7.8 | 6640 | 99.91% | 155.01 |
| 13 | 4374 | 4467 | 40 | 4414 | 99.09% | 68.57 | 4397 | 99.47% | 453.37 |
| 14 | 2968 | 3003 | 40 | 2987 | 99.36% | 277.53 | 2987 | 99.36% | 901.01 |
| 15 | 1729 | 1761 | 30 | 1739 | 99.42% | 757.97 | 1738 | 99.48% | 916.44 |
| 16 | 8162 | 8232 | 30 | 8174 | 99.85% | 2.78 | 8174 | 99.85% | 107.02 |
| 17 | 6999 | 7019 | 40 | 7019 | 99.71% | 10.66 | 6999 | 100% | 166.88 |
| 18 | 4809 | 4873 | 40 | 4836 | 99.44% | 162.63 | 4824 | 99.69% | 797.69 |
| 19 | 2845 | 2898 | 20 | 2866 | 99.26% | 653.83 | 2864 | 99.33% | 915.96 |
| 20 | 1789 | 1857 | 20 | 1812 | 98.71% | 974.8 | 1810 | 98.83% | 943.3 |
| 21 | 9138 | 9138 | 30 | 9138 | 100% | 0.01 | 9138 | 100% | 0.01 |
| 22 | 8579 | 8670 | 20 | 8663 | 99.02% | 13.49 | 8595 | 99.81% | 259.1 |
| 23 | 4619 | 4685 | 40 | 4651 | 99.31% | 362.81 | 4651 | 99.31% | 905.91 |
| 24 | 2961 | 3002 | 30 | 2977 | 99.46% | 915.99 | 2977 | 99.46% | 919.29 |
| 25 | 1828 | 1893 | 30 | 1867 | 97.87% | 943.15 | 1864 | 98.03% | 970.06 |
| 26 | 9917 | 10093 | 30 | 10013 | 99.03% | 11.81 | 9917 | 100% | 268.4 |
| 27 | 8307 | 8364 | 30 | 8359 | 99.37% | 17.35 | 8325 | 99.78% | 331.91 |
| 28 | 4498 | 4579 | 40 | 4525 | 99.4% | 624.17 | 4525 | 99.4% | 911.63 |
| 29 | 3033 | 3101 | 40 | 3079 | 98.48% | 959.15 | 3079 | 98.48% | 932.14 |
| 30 | 1989 | 2034 | 20 | 2026 | 98.14% | 973.07 | 2024 | 98.24% | 996.71 |

5. Conclusão

Em conclusão, durante a pesquisa, um fato que nos surpreendeu foi a eficácia da busca local com a solução gulosa como solução inicial para o problema das p-medianas. Em alguns casos, essa abordagem alcançou diretamente a solução ótima conhecida, demonstrando seu potencial na resolução eficiente do problema. No entanto, constatamos que a busca tabu não conseguiu melhorar significativamente essa solução inicial. Da mesma forma, o algoritmo genético também não conseguiu melhorar substancialmente a solução encontrada pela busca tabu.

Como forma de análise, tivemos uma optimalidade final média de 99,56%, que mede o quão próximo chegamos do custo da solução ótima. Alcançamos o valor ótimo

em 7 das 30 instâncias estudadas. E para o Algoritmo Genético, conseguimos melhorar 18 das 30 soluções obtidas anteriormente pela Tabu Search.

Esses resultados evidenciam a complexidade do problema das p-medianas e apontam para a importância de uma escolha cuidadosa da abordagem heurística a ser utilizada e que as heurísticas escolhidas não foram capazes de melhorar significativamente a solução encontrada pelo método guloso, que já se encontrava com bons resultados. Futuros estudos podem explorar outras técnicas e combinações de meta-heurísticas para buscar soluções ainda mais aprimoradas e eficientes para o desafiador problema das p-medianas.

Referências

- Chaudhry, S., He, S., and Chaudhry, P. (2003). Solving a class of facility location problems using genetic algorithms. *Expert Systems*, 20:86 – 91.
- Hosage, C. and Goodchild, M. (1986). Discrete space location-allocation solutions from genetic algorithms. *Annals of Operations Research*, 6(2):35–46.
- Rolland, E., Schilling, D. A., and Current, J. R. (1997). An efficient tabu search procedure for the p-median problem. *European Journal of Operational Research*, 96(2):329–342.