



Uma Abordagem Gulosa Randômica para o Problema do Conjunto Dominante Independente Mínimo

A Greedy Randomized Approach for the Minimum Independent Dominant Set

Matheus Seiki Mudrek Nakagawa¹, Marco Antonio Barbosa²

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma alternativa de solução para o Problema do Conjunto Dominante Independente Mínimo (PCDIM), denominada de Método Guloso Randômico Destrutivo (MGRD). O PCDIM tem como objetivo encontrar o menor subconjunto de vértices em um grafo não direcionado e não ponderado. Cada vértice selecionado é independente ou adjacente a pelo menos um vértice escolhido. O PCDIM tem aplicações como: pesquisa em banco de dados e alocação de sensores em redes de sensores sem fio. Atualmente o conjunto de dado a ser tratado é massivo, uma solução viável, porém rápida, pode ser mais útil que uma solução que forneça os melhores resultados, porém a um custo computacional mais elevado. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi explorar soluções viáveis rápidas em detrimento de soluções que alcançassem soluções melhores a um maior custo. Para alcançar esse objetivo, foram explorados procedimentos de construção de solução que priorizassem a escolha de vértices não vizinhos, tornando o conjunto dominante independente mais restrito. Os experimentos computacionais realizados, demonstraram que a abordagem usando o Método Guloso Randômico Destrutivo forneceram resultados satisfatórios em termos de qualidade da solução e eficiência computacional.

PALAVRAS-CHAVE: PCDIM; Heurística; Guloso;

ABSTRACT

This work presents an alternative solution to the Independent Dominant Set Problem. Minimum tooth (PCDIM), called Greedy Random Destructive Method (MGRD). PCDIM aims to find the smallest subset of vertices in an undirected, unweighted graph. Each selected vertex is independent of or adjacent to at least one chosen vertex. PCDIM is a problem that can be found in concrete applications such as database search and sensor allocation in wireless sensor networks. Considering that currently the data set to be treated is massive, a viable but quick solution may be more useful than a solution that provides the best results, but at a higher computational cost. Therefore, the objective of this research was to explore quick viable solutions rather than solutions that achieve better solutions at a greater rate. To achieve this objective, procedures for the construction of a solution that prioritized the choice of non-neighboring vertices, making the set dominant more restricted independent. The computational experiments carried out demonstrated that the approach using the Greedy Method Random Destructive provided satisfactory results in terms of solution quality and efficiency computational.

KEYWORDS: MIDS. Heuristic. Greedy.

INTRODUÇÃO

O presente projeto de pesquisa concentrou-se no denominado Problema do Conjunto Independente Dominante Mínimo (PCDIM). Um Conjunto Dominante (CD) de um grafo G e um conjunto S de

¹ Bolsista da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: nakagawa@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3270163817307279.

² Docente no Curso de Engenharia de Computação/Departamento de Informática. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil. E-mail: mbarbosa@utfpr.edu.br. ID Lattes: 5794615482009389.



vértices de G , tal que todo vértice que não esteja em S e adjacente a um vértice em S . Um conjunto independente (CI) se nenhum dos vértices pertencentes a este conjunto formarem aresta entre si no grafo G . Portanto, um conjunto é considerado independente dominante (CID) se for, ao mesmo tempo, independente e dominante e, por fim, quando a cardinalidade deste conjunto for a menor possível tem-se o Conjunto Independente Dominante Mínimo (CIDM) (GODDARD; HENNING, 2013).

As Redes de Sensores sem Fio (SANTOS et al., 2009) e a pesquisa em Banco de Dados (POLA et al., 2015) são exemplos de problemas que pode ser resolvidos com uma redução ao PCDIM. Ambos os problemas referidos são muito encontrados atualmente. As redes sem fio são uma realidade largamente empregada atualmente e os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) estão com dados cada vez mais massivos o que faz com que novas formas de pesquisar e tratar estes dados sejam investigadas pois, algumas técnicas que até então vinham funcionando bem tendem a ficarem lentas e obsoletas com o passar do tempo mesmo com algoritmos de tempo polinomial. Pode-se considerar o PCDIM como um “filtro” capaz de reduzir consideravelmente a quantidade de dados por rotular, de forma que, somente aqueles dados que são relevantes a pesquisa e que, por estarem em um conjunto menor, serão mais rapidamente analisados e recuperados (GODDARD; HENNING, 2013). O PCDIM se caracteriza como um problema NP-Difícil (GAREY; JOHNSON, 1979) e, portanto, as soluções exatas e aproximadas existentes na literatura, tal como (GODDARD; HENNING, 2013), são soluções com grandes limitações sobre o tamanho da entrada que se pode resolver em tempo viável, pois as soluções exatas são de complexidade de tempo exponenciais. Uma alternativa de solução mais eficiente é usar técnicas heurísticas e metaheurísticas, como em (HARAGUCHI, 2019; PAN et al., 2022; ALESSI. et al., 2023) que, não garantem a otimalidade da solução contudo, geram as soluções em tempo polinomial.

Este trabalho apresenta uma abordagem de solução alternativa ao PCDIM, a qual foi denominada Método Guloso Randômico Destrutivo (MGRD). Por ser uma heurística construtiva a prioridade é buscar uma solução viável que seja a mais rápida possível, abrindo-se mão da otimalidade da solução.

Os resultados obtidos revelaram que o MGRD é capaz de encontrar soluções competitivas para o PCDIM em grafos não direcionados e não ponderados. A abordagem apresentou uma redução significativa no tamanho do conjunto dominante independente em comparação com métodos tradicionais encontrados no estado da arte do tema de pesquisa. Além disso, a eficiência computacional demonstrada pelo método é promissora, tornando-o uma alternativa viável para a resolução desse problema.

MATERIAIS E MÉTODOS

A solução proposta nesta pesquisa, utilizou uma heurística construtiva, a qual foi denominada Método Guloso Randômico Destrutivo (MGRD). Nesta abordagem, são explorados procedimentos de construção de solução que priorizam a escolha de vértices não vizinhos, tornando o conjunto dominante independente mais restrito. Conseqüentemente, por reduzir o espaço de busca, uma solução viável é obtida de forma mais rápida, isto é, com menos etapas no processo de busca, se comparada com as soluções existentes na literatura.



O MGDR foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação C, em um equipamento Intel Core i7, 2.20GHz. Foram utilizados conjuntos de instâncias de teste da biblioteca BHOSLIB que é um repositório de gráficos e redes contendo centenas de redes do mundo real e conjuntos de dados de referência, as mesmas utilizadas nos trabalhos de (ALESSI. et al., 2023; PAN et al., 2022; HARAGUCHI, 2019).

O MGRD é ilustrado pelo pseudocódigo apresentado a seguir:

ALGORITMO DO MGRD

Definições:

G - Grafo de entrada não direcionado e não ponderado

N - Número de vértices inicial do grafo de entrada

α - Coeficiente de multiplicação da lista restrita de candidatos

v - Vértice do grafo

v_l - Número de vértices restantes no grafo

LRC - Lista restrita de candidatos

LPB - Lista pós fase beta

g - Grau do vértice

g_m - Grau máximo encontrado no grafo

N - Número de vértices Inicialmente em GR

D - Conjunto dominante Independente(parte da solução)

C - Conjunto complementar(parte da solução)

$\chi()$ - Função que escolhe um vértice aleatório da lista

$v()$ - Função que retorna todos os vizinhos de um vértice

$Max()$ - Retorna o grau máximo do grafo

$Rand(i,f)$ - Retorna um numero aleatório entre dois intervalos (0.5 a 0.875)

Algorithm 1 Fase Beta(β)

while $v_l > (0.02 * N)$ **do**

$RCL \leftarrow \forall(v)(\alpha * g_m)$

while $RCL \neq \emptyset$ **do**

$V \leftarrow \chi(RCL)$

$D \leftarrow V$

$C \leftarrow v(V)$

end while

end while

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 ilustra os resultados obtidos quando da aplicação do MGDR nas instâncias de teste da biblioteca BHOSLIB, onde cada um desses grafos tem um número de vértices N apresentado na segunda coluna. Em comparação com o método GRASP+VD que é a heurística GRASP(*Greedy*



Algorithm 2 Fase Gama(γ)

```
LPB  $\leftarrow$   $\forall(v)$ 
while LPB  $\neq$   $\emptyset$  do
    V  $\leftarrow$   $\chi(RCL)$ 
    D  $\leftarrow$  V
    C  $\leftarrow$   $v(V)$ 
end while
```

Algorithm 3 MGRD

```
D  $\leftarrow$   $\emptyset$ 
C  $\leftarrow$   $\emptyset$ 
 $g_m \leftarrow$  Max(G)
 $alfa \leftarrow$  Rand(i,f)
while LPB  $\neq$   $\emptyset$  do
    V  $\leftarrow$   $\chi(RCL)$ 
    D  $\leftarrow$  V
    C  $\leftarrow$   $v(V)$ 
end while
```

Randomized Adaptive Search Procedure) com uma busca local VD (*VertexDegree*), é possível observar que os resultados foram próximos para algumas instâncias e igual para outras, mostrando ser capaz de trazer resultados de mesma qualidade em um curto período de execução, dado que não faz uso de uma etapa adicional de Busca Local.

O custo computacional do algoritmo foi reduzida drasticamente, com as seguintes modificações:

- 1) Utilização de uma Matriz esparsa para reduzir o número de acessos a índices ao retirar vizinho ou retirar um vértice.
- 2) Remoção de ordenações em todo o algoritmo, devido a utilização do parâmetro α como critério guloso,
- 3) Remoção de checagem nas listas encadeadas, na função ChooseRandom() ao escolher um vertice, a mesma já faz a checagem para saber se o vértice foi retirado do grafo no processo destrutivo.

Conclusões

O problema do Conjunto Independente Dominante Mínimo (PCIDM), é um problema abstrato e clássico na Teoria dos Grafos e, como tal, pode ser utilizado como base teórica e formal para especificar e solucionar, diversos problemas concretos e reais que podem ser encontrados nas mais diversas áreas do conhecimento, tais como base de especificação e solução: as Redes de Sensores sem Fio e pesquisa em Banco de Dados.

Este trabalho apresentou uma heurística construtiva gulosa alternativa às soluções atualmente encontradas na literatura. A abordagem proposta foi denominada de Método Guloso Randômico Destrutivo (MGRD).

O MGRD, caracteriza-se por usar como função gulosa. A abordagem proposta nesta pesquisa,



XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



SEI-SICITE
2023

Tabela 1 – comparação do MGRD com resultados da literatura

Instância	Vértices	MGRD(GRASP+VD)	MGRD(Mínimo)	MGRD(Média)	Tempo(média)
frb30-15-1.clq	450	3	3	4.85	0.00998
frb30-15-2.clq	450	3	3	5.73	0.01517
frb30-15-3.clq	450	3	3	7.14	0.01856
frb30-15-4.clq	450	3	3	7.44	0.01877
frb30-15-5.clq	450	3	3	7.13	0.01220
frb35-17-1.clq	595	3	4	7.57	0.03581
frb35-17-2.clq	595	3	3	6.65	0.03588
frb35-17-3.clq	595	3	4	6.45	0.03390
frb35-17-4.clq	595	3	4	7.64	0.03498
frb35-17-5.clq	595	3	4	7.16	0.06028
frb40-19-1.clq	760	3	4	6.71	0.05880
frb40-19-2.clq	760	3	4	7.03	0.05912
frb40-19-3.clq	760	3	4	7.88	0.05992
frb40-19-4.clq	760	3	4	6.74	0.06198
frb40-19-5.clq	760	3	3	7.86	0.05994
frb45-21-1.clq	945	3	4	8.08	0.10137
frb45-21-2.clq	945	3	4	8.45	0.10185
frb45-21-3.clq	945	3	4	7.66	0.10123
frb45-21-4.clq	945	3	4	7.75	0.10271
frb45-21-5.clq	945	3	4	8.56	0.10160
frb50-23-1.clq	1000	3	4	7.92	0.17196
frb50-23-2.clq	1000	3	4	7.35	0.17072
frb50-23-3.clq	1000	3	4	7.45	0.16651
frb50-23-4.clq	1000	3	4	7.94	0.16929
frb50-23-5.clq	1000	3	3	7.53	0.17248
frb53-24-1.clq	1272	3	4	8.56	0.21217
frb53-24-2.clq	1272	3	3	7.65	0.17802
frb53-24-3.clq	1272	3	4	9.25	0.21508
frb53-24-4.clq	1272	3	4	7.98	0.21600
frb53-24-5.clq	1272	3	4	7.57	0.13022

Fonte: Elaborado por autores (2022).

utilizada a abordagem denominada Método Guloso Randômico Destrutivo (MGRD). São explorados procedimentos de construção de solução que priorizam a escolha de vértices não vizinhos, tornando o conjunto dominante independente mais restrito. Esta é uma escolha diferente das soluções encontradas na literatura que utilizam o *Path Cost* (PC) (HARAGUCHI, 2019; PAN et al., 2022) e, o VD (*Vertex Degree*) (ALESSI. et al., 2023).

Os resultados apresentados, demonstram que a estratégia proposta é competitiva em termos, de tempo de resposta, quanto em termos de qualidade da solução, além disso a busca local para o MIDS é de alto custo computacional, sendo assim pode ser aplicado o MGRD recursivamente até encontrar uma resposta satisfatória descartando a necessidade de aplicar uma busca Local .



Agradecimentos

Serei eternamente grato ao meu orientador Marco por ter despertado em mim o interesse pela pesquisa científica e a ciência da computação, por incentivar a persistência na realização desse trabalho e pela expansão da minha compreensão da ciência da computação.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ALESSI., André et al. A Vertex Degree-Based GRASP Approach for the Minimum Independent Dominating Set Problem. In: INSTICC. PROCEEDINGS of the 3rd International Symposium on Automation, Information and Computing - ISAIC. [S.l.]: SciTePress, 2023. P. 318–323. ISBN 978-989-758-622-4. DOI: [10.5220/0011924000003612](https://doi.org/10.5220/0011924000003612).

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness (Series of Books in the Mathematical Sciences)**. First Edition. [S.l.]: W. H. Freeman, 1979. ISBN 0716710455.

GODDARD, Wayne; HENNING, Michael A. Independent domination in graphs: A survey and recent results. **Discrete Mathematics**, v. 313, n. 7, p. 839–854, 2013. ISSN 0012-365X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.disc.2012.11.031>. Disponível em: [↗](#).

HARAGUCHI, Kazuya. **An Efficient Local Search for the Minimum Independent Dominating Set Problem**. [S.l.: s.n.], 2019. arXiv: [1802.06478 \[cs.DS\]](https://arxiv.org/abs/1802.06478).

PAN, Shiwei et al. An improved master-apprentice evolutionary algorithm for minimum independent dominating set problem. en. **Frontiers of Computer Science**, v. 17, n. 3, 2022. DOI: [10.1007/s11704-022-2023-7](https://doi.org/10.1007/s11704-022-2023-7).

POLA, I.R.V. et al. Similarity sets: A new concept of sets to seamlessly handle similarity in database management systems. **Information Systems**, v. 52, p. 130–148, 2015. Special Issue on Selected Papers from SISAP 2013. ISSN 0306-4379. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.is.2015.01.011>. Disponível em: [↗](#).

SANTOS, Andréa Cynthia et al. Heuristics for Designing Energy-efficient Wireless Sensor Network Topologies. **Journal of Networks**, Academy Publisher, v. 4, n. 6, p. 436–444, ago. 2009. Disponível em: [↗](#).