

## ALGORITMOS COM PREDIÇÕES PARA CACHING

PAULO HENRIQUE ALBUQUERQUE DOS ANJOS DE SOUZA

ORIENTADOR: VICTOR SANCHES PORTELLA

### 1. INTRODUÇÃO

Para resolver um problema computacional, usualmente desenvolvemos algoritmos que funcionem para todas as instâncias possíveis, focando no desempenho mesmo no pior caso. Isso nos permite obter algoritmos com garantias robustas de qualidade da solução e tempo de execução, totalmente independentes dos dados de entrada. No entanto, as instâncias que encontramos em aplicações práticas raramente são patológicas: estão longe do pior caso. Pelo contrário, frequentemente elas possuem alguma estrutura adicional que facilita a solução. Essa estrutura nem sempre é evidente de antemão e algoritmos clássicos raramente fazem uso dela sem algum tipo de modificação. Mesmo com o conhecimento prévio sobre a estrutura dos dados de entrada, aprimorar os algoritmos clássicos usando esse conhecimento pode ser uma tarefa complexa.

Uma alternativa é o uso de algoritmos de aprendizado de máquina. Ao serem treinados em exemplos de instâncias do problema que pretendemos resolver, eles podem explorar padrões existentes sem a necessidade de desenvolver algoritmos a partir do zero. Embora eficazes, tais soluções normalmente não oferecem garantias determinísticas: algoritmos de aprendizado tendem a ter certa probabilidade de erro, principalmente em casos não usuais. Assim, o uso dessas soluções sem modificações só é possível se estivermos dispostos a abrir mão das garantias que algoritmos clássicos possuem.

A recém-nascida área de algoritmos com predições [8] investiga como obter o melhor dos dois mundos: algoritmos que utilizam predições — dadas, por exemplo, por um modelo de aprendizado de máquina — sem abdicar totalmente das fortes garantias de pior caso. Nesse trabalho pretendemos estudar essa crescente área da teoria da computação, usando o clássico problema de *paginação online* ou *problema de caching*.

## 2. OBJETIVOS E PLANEJAMENTO

O nosso objetivo nesse trabalho é o estudo das principais ideias usadas na área de algoritmos com predições. Para focar nosso estudo, propomos investigar o problema de caching com o uso de predições. Este foi um dos problemas mais clássicos estudados sob essa perspectiva, e os artigos nesse tópico geraram ideias fundamentais da área (como os conceitos de  $\alpha$ -robustness e  $\beta$ -consistency propostos em [6]). Como resultado deste estudo, o aluno elaborará uma monografia descrevendo os principais resultados e algoritmos para o problema de caching com predições. Idealmente, o texto servirá como uma boa introdução para outros alunos interessados no problema de caching com predições, ou até mesmo na área de algoritmos com predições em geral.

**2.1. Objetivos Principais.** Os principais artigos que esperamos que o aluno consiga estudar são:

- “**Competitive Caching with Machine Learned Advice**” por Lykouris e Vassilvitskii [6];
- “**Near-Optimal Bounds for Online Caching with Machine Learned Advice**” por Rohatgi [10];
- “**Better and Simpler Learning-Augmented Online Caching**” por Wei [12].

Esses artigos cobrem desde os primeiros resultados do problema de caching com predições e cotas inferiores, até os resultados mais recentes conhecidos e a descrição dos problemas em aberto. Para fazer um estudo efetivo desses artigos, o aluno muito provavelmente precisará se familiarizar com técnicas de análise de algoritmos aleatorizados através de livros como [7] ou [9], além dos algoritmos e resultados clássicos para o problema de caching [2, 4]. O capítulo de livro [11] sobre *resource augmentation* também é uma ótima fonte de estudos para uma perspectiva teórica em heurísticas famosas como *Least Recently Used* (LRU).

**2.2. Objetivos Extras.** Algumas possíveis direções de investigação seriam estudar diferentes modelos de predição, como predições probabilísticas [3], ou generalizações do problema de caching, como o problema de caching com pesos [5] ou sistemas métricos de tarefas [1].

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Antoniadis, C. Coester, M. Eliás, A. Polak e B. Simon. “Online Metric Algorithms with Untrusted Predictions”. Em: *ACM Trans. Algorithms* 19.2 (2023), 19:1–19:34.
- [2] A. Borodin e R. El-Yaniv. *Online computation and competitive analysis*. Cambridge University Press, 1998.

- [3] M. Dinitz, S. Im, T. Lavastida, B. Moseley, A. Niaparast e S. Vassilvitskii. “Binary Search with Distributional Predictions”. Em: *Advances in Neural Information Processing Systems 38, NeurIPS 2024*. 2024.
- [4] A. Fiat, R. M. Karp, M. Luby, L. A. McGeoch, D. D. Sleator e N. E. Young. “Competitive Paging Algorithms”. Em: *J. Algorithms* 12.4 (1991), páginas 685–699.
- [5] Z. Jiang, D. Panigrahi e K. Sun. “Online Algorithms for Weighted Paging with Predictions”. Em: *ACM Trans. Algorithms* 18.4 (2022), 39:1–39:27.
- [6] T. Lykouris e S. Vassilvitskii. “Competitive Caching with Machine Learned Advice”. Em: *J. ACM* 68.4 (2021), 24:1–24:25.
- [7] M. Mitzenmacher e E. Upfal. *Probability and Computing: Randomized Algorithms and Probabilistic Analysis*. Cambridge University Press, 2005.
- [8] M. Mitzenmacher e S. Vassilvitskii. “Algorithms with predictions”. Em: *Commun. ACM* 65.7 (2022), páginas 33–35.
- [9] R. Motwani e P. Raghavan. *Randomized Algorithms*. Cambridge University Press, 1995. URL: <https://doi.org/10.1017/cbo9780511814075>.
- [10] D. Rohatgi. “Near-Optimal Bounds for Online Caching with Machine Learned Advice”. Em: *Proceedings of the 2020 ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2020*. SIAM, 2020, páginas 1834–1845.
- [11] T. Roughgarden. “Resource Augmentation”. Em: *Beyond the Worst-Case Analysis of Algorithms*. Cambridge University Press, 2020, páginas 72–92.
- [12] A. Wei. “Better and Simpler Learning-Augmented Online Caching”. Em: *Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques, APPROX/RANDOM 2020*. Volume 176. LIPIcs. 2020, 60:1–60:17.

*E-mail:* paulodosanjos@usp.br