



Universidade Federal  
de São João del-Rei

Departamento de Ciência da Computação

**Vítor Augusto Niess Soares Fonseca**  
**Vítor Rezende Silva**

Tutorial - Algoritmo de Otimização da Baleia

São João del-Rei, Agosto de 2024

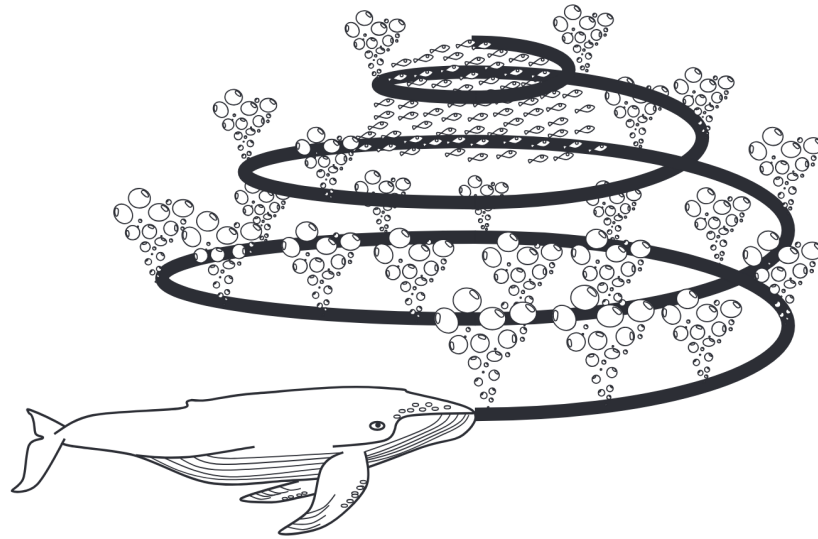
# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Algoritmo de Otimização por Baleias</b>	<b>3</b>
2.1	Equações do WOA . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Função de Ackley</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Implementação</b>	<b>4</b>
4.1	Pseudo-código do Algoritmo de Otimização por Baleias . . . . .	5
4.2	Inicialização da População . . . . .	5
4.3	Avaliação das Soluções . . . . .	5
4.4	Atualização das Posições . . . . .	5
<b>5</b>	<b>Comparação com Outros Algoritmos</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Referências</b>	<b>6</b>

# 1 Introdução

O Algoritmo de Otimização por Baleias (WOA - *Whale Optimization Algorithm*) é um algoritmo meta-heurístico recente inspirado pelo comportamento de caça das baleias jubarte. Ele foi introduzido por Mirjalili em 2016 [1].

As baleias jubartes possuem uma estratégia de caça muito interessante chamado rede de bolhas. Essa espécie caça cardumes de krills nadando em um espiral ao redor deles e soprando bolhas de ar para prendê-los em um espaço pequeno, facilitando assim a sua caça. Até 2011 esse comportamento só tinha sido observado pela superfície, com a formação de um "caminho em formato de 9" de bolhas na água, contudo, Goldbogen et al. [2] conseguiu identificar esse fenômeno mais de 300 vezes observando 9 indivíduos diferentes.



**Figura 1:** Comportamento da rede de bolhas.

Este tutorial apresenta uma implementação desse algoritmo aplicado à função de Ackley, uma função de benchmark amplamente utilizada para avaliar algoritmos de otimização.

A função de Ackley, definida pela Equação 1.1, é uma função não-convexa que possui múltiplos mínimos locais, tornando-se um desafio interessante para algoritmos de otimização.

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = -20 \exp \left( -0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \right) - \exp \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e \quad (1.1)$$

## 2 Algoritmo de Otimização por Baleias

O WOA simula três principais fases da caça das baleias jubarte: o cercamento, a espiral de bolhas e a busca por presas. A seguir estão os passos principais do algoritmo:

- **Fase de cercamento:** As baleias assumem que a melhor solução até o momento representa a localização da presa, e se aproximam dela.
- **Fase de espiral de bolhas:** Nesta fase, as baleias nadam em uma trajetória espiral em direção à presa.

- **Busca por novas presas:** Uma exploração randômica ocorre para evitar mínimos locais e encontrar novas soluções.

O algoritmo é iterativo, sendo capaz de equilibrar a exploração e a exploração por meio dessas fases.

## 2.1 Equações do WOA

O WOA pode ser descrito por três conjuntos de equações que modelam o comportamento das baleias:

- Atualização da posição em relação à melhor solução:

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}^*(t) - \vec{A} \cdot |\vec{C} \cdot \vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (2.1)$$

onde  $\vec{X}^*(t)$  é a melhor solução atual,  $\vec{A}$  e  $\vec{C}$  são vetores de coeficientes, e  $t$  é a iteração atual.  $\vec{A}$  é definido por:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \times \vec{r} - \vec{a} \quad (2.2)$$

e  $\vec{a}$  é definido por:

$$\vec{C} = 2\vec{r} \quad (2.3)$$

- Movimento em espiral:

$$\vec{X}(t+1) = |\vec{X}^*(t) - \vec{X}(t)| e^{bl} \cos(2\pi l) + \vec{X}^*(t) \quad (2.4)$$

onde  $b$  é uma constante que define a forma da espiral e  $l$  é um número aleatório entre -1 e 1.

## 3 Função de Ackley

A função de Ackley é frequentemente usada para avaliar a eficiência de algoritmos de otimização, devido ao seu grande número de mínimos locais. A forma geral da função para  $n$  variáveis é dada pela Equação 1.1. Esta função tem um mínimo global em  $f(0, 0, \dots, 0) = 0$ .

## 4 Implementação

A implementação do algoritmo foi realizada em Python. Abaixo estão os passos principais da implementação, descritos por meio de pseudo-código:

## 4.1 Pseudo-código do Algoritmo de Otimização por Baleias

1. Inicialize os parâmetros do WOA e a população de baleias (soluções)
2. Avalie a função objetivo para cada baleia na população (Ackley)
3. Defina a baleia com o melhor fitness como solução atual
4. Para cada iteração:
  - 4.1 Para cada baleia (solução) na população:
    - 4.1.1 Atualize os vetores de coeficientes  $A$ ,  $C$  e o parâmetro  $p$
    - 4.1.2 Se  $p < 0.5$ :
      - 4.1.2.1 Se  $|A| < 1$ : (Cercamento)
        - a) Atualize a posição da baleia em relação à melhor solução
      - 4.1.2.2 Se  $|A| \geq 1$ : (Busca por presas)
        - a) Escolha uma baleia aleatória da população
        - b) Atualize a posição da baleia em relação à baleia aleatória
    - 4.1.3 Se  $p \geq 0.5$ : (Movimento em espiral)
      - a) Atualize a posição da baleia utilizando a equação de espiral
  - 4.2 Avalie a função objetivo para cada nova posição
  - 4.3 Atualize a melhor solução, se necessário
5. Verifique o critério de parada (número máximo de iterações ou convergência)
6. Retorne a melhor solução encontrada

## 4.2 Inicialização da População

A população inicial consiste em  $N$  soluções aleatórias dentro dos limites de busca para cada variável.

## 4.3 Avaliação das Soluções

Cada solução é avaliada utilizando a função de Ackley.

## 4.4 Atualização das Posições

As posições das baleias são atualizadas de acordo com as equações apresentadas anteriormente, baseando-se nas três fases de otimização.

# 5 Comparação com Outros Algoritmos

Comparando o WOA com outros algoritmos de otimização, como o *Algoritmo Genético* ou o *Particle Swarm Optimization*, o WOA tem a vantagem de explorar o espaço de busca de forma mais diversificada, graças ao seu comportamento espiral, o que ajuda a evitar mínimos locais.

## 6 Referências

- [1] S. Mirjalili and A. Lewis, “The whale optimization algorithm,” *Advances in engineering software*, vol. 95, pp. 51–67, 2016.
- [2] J. A. Goldbogen, A. S. Friedlaender, J. Calambokidis, M. F. Mckenna, M. Simon, and D. P. Nowacek, “Integrative approaches to the study of baleen whale diving behavior, feeding performance, and foraging ecology,” *BioScience*, vol. 63, no. 2, pp. 90–100, 2013.