

Chapter 1

Colônia Artificial de Abelhas

Neste capítulo será estudado o *Artificial Bee Colony*, algoritmo que tem como inspiração a dinâmica de enxames de abelhas em busca de fontes de alimento. O ABC foi concebido em 2005 por Darvis Karaboga e seu time de pesquisa na universidade de Erciyes, Turquia [5]. Por ser uma técnica relativamente recente¹, o ABC se beneficiou da experiência acumulada pela comunidade, para em sua forma *vanilla*, conseguir lidar com uma maior gama de problemas.

Além das características fundamentais de algoritmos de inteligência por enxames como: agentes simples, auto-organização e divisão de trabalho — o ABC possui especificidades como: exploração constante do espaço de busca, especialização dos indivíduos e recrutamento. Assim como no modelo natural dos enxames, o algoritmo funciona através de uma colaboração constante entre três diferentes tipos de agentes reativos: observadores, exploradores e operários (entraremos em detalhes nas próximas sessões). Cada tipo de agente é responsável por uma etapa diferente no processo de busca. Diferentemente de abordagens tradicionais, a especialização do agente faz com que o algoritmo consiga conciliar a exploração do espaço de busca e a convergência para possíveis soluções [6]. Devido a capacidade de exploração contínua, o ABC consegue se adaptar a mudanças no espaço de busca, o que o torna uma alternativa para solução de problemas dinâmicos.

Assim como a maioria das técnicas estudadas nesse livro, o ABC vem sendo utilizado para solução de problemas de otimização numérica (em especial os multimodais e hiperdimensionais). Apesar de ser uma técnica nova, é possível encontrar trabalhos recentes com aplicações do ABC as mais diferentes áreas como: processamento digital de imagens, redes neurais artificiais e engenharia de *software* [3, 10, 9, 11].

Na próxima sessão será apresentada a inspiração natural que motivou a construção do ABC, onde será descrita a dinâmica de enxames de abelhas em busca de fontes de alimento. Em seguida será explicado como que o modelo natural foi mapeado para um algoritmo computacional e como este algoritmo consegue resolver problemas reais. O modelo matemático do algoritmo também será apresentado, explicitando operadores e fórmulas de atualização dos diferentes tipos de agentes no enxame. Por fim, será feita uma análise comparativa entre as técnicas estudadas até então.

¹Em relação a técnicas como o *Ant Colony Optimization* (1992) e o *Particle Swarm Optimization* (1995)

1.1 Inspiração Natural

Assim como bandos de pássaros, cardumes de peixes ou colônias de formigas os enxames de abelhas também possuem um comportamento social[4]. Comportamentos coletivos surgem desse enxame e esses trazem benefícios para os seus constituintes. Passaros conseguem fazer viagens mais longas em bandos, peixes se organizam em cardumes visando se proteger de predadores e abelhas conseguem localizar e explorar fontes de alimento mais rapidamente quando se organizam em colméia.

Em uma colméia de abelhas encontramos sofisticados mecanismos de hierarquização, comunicação e divisão de trabalho[13]. Uma colméia saudável consegue explorar de forma eficiente o ambiente ao seu redor em busca de fontes de alimento. A saúde de uma colméia é determinada pela sua capacidade de exploração e localização de fontes de alimento. Para manutenção da saúde da colméia, as abelhas se organizam em três classes que realizam atividades específicas. As classes encontradas em uma colméia são:

- **Abelhas Operárias:** são responsáveis pela exploração do nectar encontrado em uma nova fonte de alimento;
- **Abelhas Reservistas:** se localizam na colméia esperando para serem recrutadas para exploração de novas fontes de alimento;
- **Abelhas Observadoras:** percorrem livremente pelo ambiente em busca de novas fontes de alimento.

Enquanto as abelhas operárias coletam a alimentação, as abelhas observadoras percorrem o ambiente em busca de novas fontes. Para cada nova fonte de alimento encontrada, a abelha observadora se torna operária, retorna para a colméia com a informação de posição e abundância da fonte e inicia o processo de coleta. A informação de novas fontes encontradas é consumida por abelhas reservistas que podem ser recrutadas para ajudar na coleta. As abelhas reservistas serão recrutadas proporcionalmente de acordo com a qualidade da fonte encontrada, isto é, mais abelhas serão recrutadas para trabalhar em fontes que ofereçam um retorno maior para a colméia. A qualidade de uma fonte é uma função da distância da fonte para a colméia em relação a quantidade de alimento que essa possui.

A comunicação das características de uma determinada fonte é passada das abelhas operárias para as recrutas dentro da colméia através de movimentos que se assemelham com uma dança e servem como protocolo de comunicação. Através dessa dança a colméia consegue extrair informação de abundância, direção em relação a colméia e distância da nova fonte encontrada. A distância é informada através da quantidade de giros em torno do próprio corpo, a direção através do ângulo da formão entre a abelha operária (a comunicante) e o sol e a abundância através da quantidade de alimento coletada na primeira viagem. Podemos visualizar a dança que realizada pelas abelhas operárias através da figura 1.1

Após o esgotamento de uma determinada fonte de alimento, a abelha operária retorna a procurar por novas fontes de alimento. Podemos observar que determinadas abelhas entram em um ciclo de busca e coleta, alternando de classe entre observadora e operária. O ciclo de mudança de classe das abelhas pode ser observado através da figura 1.2.

Notem que apesar das abelhas observadoras se tornarem operárias e vice-versa, as abelhas recrutas não sofrem nenhuma transformação. As abelhas recrutas apenas ajudam na exploração de uma nova fonte mas não se tornam operárias. Outro detalhe

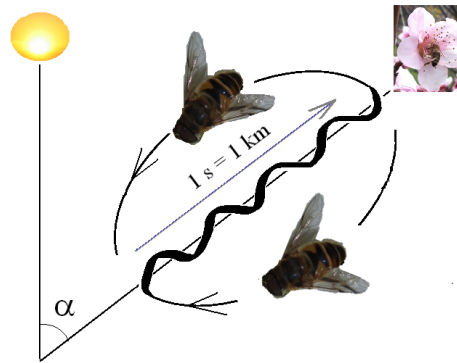


Figure 1.1: O ângulo com o sol indica a direção e a duração da dança indica a distância da fonte.

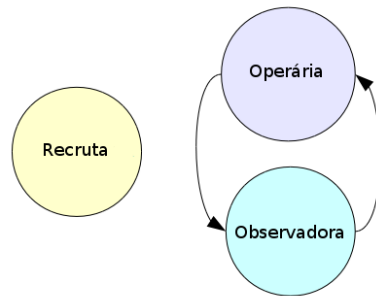


Figure 1.2: Ciclo de trabalho de uma abelha em busca de fontes de alimento

importante é que a função da abelha recruta consiste em ajudar na explorar, marcar a localização e guardar a informação referente a qualidade de novas fontes. A qualidade de todas as fontes exploradas por uma determinada colméia pode ser mensurada pela concentração de abelhas recrutas. A taxa de recrutamento pode servir como indicador de saúde da colméia pois indica que novas fontes estão sendo encontradas.

1.2 Modelo Computacional

Inspirado no modelo natural apresentado na sessão anterior, Dervis Karaboga em 2005 criou o primeiro modelo computacional do algoritmo de colônia artificial de abelhas [5] (*Artificial Bee Colony — ABC*). Apesar de já existirem variações melhoradas [12, 7, 2, 8], essa sessão tem por objetivo apresentar o modelo original do ABC proposto por Karaboga para solução de problemas otimização numérica.

Karaboga observou as características encontradas no enxame natural que são necessárias para construção de um algoritmo de inteligência por enxame. As principais características retiradas do modelo natural para o computacional foram:

- Auto-organização: as abelhas possuem mecanismos de *feedback* positivos e negativos
- Divisão de trabalho: as abelhas colaboram para realização das tarefas da colméia;

- Fonte de alimento: representa as soluções encontradas pelo algoritmo;
- Especialização das abelhas: existem classes de agentes reativos responsáveis por tarefas específicas;
- Dança da Abelha: método de comunicação entre agente recruta e operário;
- Exploração constante: agente observador que explora o espaço de busca constantemente;

No ABC, as soluções candidatas representam fontes de alimento. Inicialmente, SN fontes de alimento são selecionadas aleatoriamente no espaço de busca. Cada fonte de alimento x_i é representada por um vetor de D dimensões, onde cada componente do vetor representa uma variável do problema de otimização. No ABC, a qualidade de uma fonte de alimento é determinada usando uma função de aptidão que corresponde a uma transformação matemática da função objetivo. A função de aptidão utilizada para o caso de um problema de minimização é definida de acordo com a equação

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & \text{se } f_i \leq 0 \\ 1 + |f_i| & \text{se } f_i > 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

onde f_i é o valor da função objetivo do vetor x_i e fit_i é a função de aptidão correspondente.

O algoritmo ABC matém uma colônia de abelhas artificiais que são responsáveis por guiar o processo de busca. Assim como na natureza, as abelhas são divididas em três classes: operária, observadoras e recrutas. O número de abelhas de cada tipo são parâmetros do algoritmo. No ABC original, foi convencionado através de experimentos, que o número de abelhas artificiais deve ser igual ao número de fontes de alimento e metade das abelhas da colônia consiste de abelhas operárias, enquanto que a segunda metade consiste de abelhas recrutas.

Para cada fonte de alimento existe apenas uma abelha operária associada. O processo, por parte da abelha operária, de exploração de uma determinada fonte consiste em encontrar uma solução adjacente que seja melhor que a solução guardada em sua memória. A nova solução v_i é determinada a partir da solução anterior x_i usando a equação

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{x_kj}) \quad (1.2)$$

onde $k \in [1, 2, 3, \dots, SN]$, $j \in [1, 2, 3, \dots, D]$ são índices escolhidos randomicamente com $k \neq i$ e ϕ_{ij} é um número randômico entre $[-1, 1]$.

Após determinar a solução v_{ij} a abelha operária utiliza o seguinte critério para se mover: se a qualidade da solução v_i for melhor que a qualidade da solução x_i , a abelha operária esquece x_i e se desloca para a nova solução v_i , caso contrário ela permanece na mesma solução em que estava.

Logo após as abelhas operárias se moverem, é iniciada a fase de movimento das abelhas recrutas. As abelhas recrutas são abelhas que estão esperando na colméia para serem informadas pelas abelhas operárias sobre as fontes de alimento descobertas. Esta é a maneira que o algoritmo ABC utiliza para compartilhar informação entre os indivíduos. Uma abelha recruta escolhe uma fonte de alimento probabilisticamente. A probabilidade de uma fonte de alimento ser escolhida por uma abelha recruta é dada pela equação

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{NS} fit_i} \quad (1.3)$$

Uma vez determinadas as probabilidades, utiliza-se o método de seleção por roleta para determinar a fonte de alimento escolhida por uma abelha recruta. Após todas as abelhas recrutas escolherem suas fontes de alimento, elas se movimentam do mesmo modo que as abelhas trabalhadoras. Desta forma, o principal objetivo das abelhas recrutas é refinar a busca em regiões promissoras. Apesar de apenas a seleção probabilística ser usada na versão original do algoritmo, outras estratégias foram testadas com o ABC como seleção por rank, torneio ou seleção disruptiva [1].

Caso uma fonte de alimento não melhore após σ iterações do algoritmo (mais um parâmetro), a abelha operária abandona esta fonte de alimento e se torna uma abelha observadora. No ABC original, é permitido apenas uma abelha operária se tornar uma observadora por iteração. Uma abelha observadora realiza uma busca aleatória no espaço de busca a procura de uma nova fonte de alimento. O movimento de uma abelha observadora é dado pela equação

$$x_{ij} = x_{min}^j + \alpha(x_{max}^j - x_{min}^j) \quad (1.4)$$

onde x_{min}^j é o limite inferior da componente j do vetor x_i , enquanto x_{max}^j é o limite superior da componente j e α é um número real escolhido aleatoriamente entre 0 e 1.

Por fim, seguindo as equações descritas acima, as abelhas se movimentam ao longo das iterações até uma condição de parada ser satisfeita. O pseudo-código resumindo o algoritmo é apresentado abaixo.

Algoritmo 1.1: Algoritmo de Otimização por Colônia Artificial de Abelhas

Inicializa o algoritmo;

Gere as soluções iniciais (posições das fontes de alimento) no espaço de busca randomicamente e as avalie;

repita

Para cada solução x_i , determine uma nova posição v_i usando e atualize x_i para v_i , caso v_i seja melhor que x_i . Caso a nova posição v_i seja pior conserve a posição x_i ;

calcule o valor da probabilidade atrelada a cada fonte;

Use o método de seleção por roleta para colocar as recrutas sobre as fontes de alimento e melhorar as soluções correspondentes;

Verifique se encerrou o processo de exploração de fontes;

Memoriza a melhor fonte de alimento encontrada;

Envia os observadores para procurarem novas fontes;

até Até alcançar critério de parada ;

Retorna a melhor fonte encontrada como solução;

É importante observar como que o algoritmo explora o ambiente constantemente e a cada nova solução realiza um refinamento através de uma busca local. Após a busca local, a abelha operária retorna a explorar o ambiente evitando assim ótimos locais. Como critério de parada podemos levar em consideração a taxa de recrutamento ou a quantidade de iterações sem apresentar melhoras na solução.

Parâmetro	Descrição
σ	Parâmetro que define um critério de parada de exploração de uma determinada fonte
SN	Quantidade de abelhas observadoras no início do algoritmo
N	Número inicial de abelhas na colméia
ϕ_{ij}	Fator de escala da atualização de cada abelha recruta e operária
x_{max}^j e x_{min}^j	Limite superior e inferior de uma determinada dimensão na equação de atualização de abelhas observadoras

Table 1.1: Lista de Parâmetros de Controle do Algoritmo ABC

Uma das grandes vantagens no uso do ABC é a pouca quantidade de parâmetros de controle, o que torna o algoritmo menos dependente das especificidades do problema e da necessidade de atuação de especialista em sua configuração. Na tabela 1.1 encontramos uma lista de todos os parâmetros de controle do ABC.

1.3 Aplicação

Nessa sessão será apresentado um exemplo ilustrativo de uso do ABC para solução do problema das oito rainhas. Tentaremos mostrar em detalhes como modelamos a solução de um determinado problema utilizando a técnica acima descrita.

O problema das oito rainhas consiste em achar, em um tabuleiro de xadrez 8×8 , posições para as oito rainhas de forma tal que nenhuma das esteja sofrendo ameaça. A solução para o problema é exibida na figura 1.4

No jogo de xadrez, uma rainha pode se movimentar para todas as direções e em todos os sentidos, porém em um único sentido e direção por jogada. Os possíveis movimentos de uma rainha em uma determinada posição no tabuleiro pode ser visto na figura 1.3.

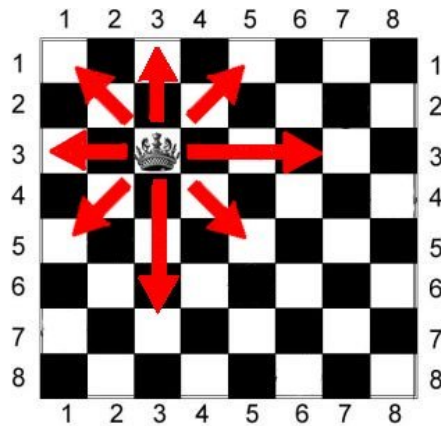


Figure 1.3: Possibilidades de deslocamento de uma rainha

O primeiro passo para solução do problema é a análise do espaço de busca. Vemos que o tabuleiro de xadrez possui o formato 8×8 , o que significa 64 possibilidades para

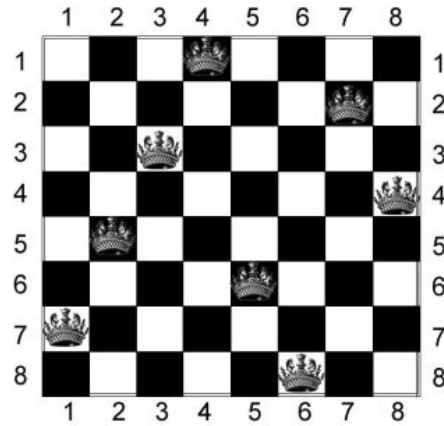


Figure 1.4: Representação gráfica de solução para o problema das oito rainhas

cada rainha. Como são oito rainhas, conseguimos a quantidade de combinações de posições no tabuleiro é dada por

$$C_s^n = \frac{n!}{s!(n-s)!}. \quad (1.5)$$

onde n é igual ao tamanho do conjunto de símbolos e i é o tamanho do vetor combinação. Para o problema das oito rainhas n é igual a 64 e i é igual a 8, chegamos ao número de 4.426.165.368 de combinações de posicionamento das oito rainhas no tabuleiro. Pode-se observar que o tamanho do espaço de busca faz com que uma abordagem baseada em bruta seja inviabilizada.

A posição de uma rainha no tabuleiro pode ser representada por um par de inteiros limitados entre 1 e 8. Portanto a rainha da figura 1.3 se encontra na posição (3,3). Então, a representação de uma solução para o problema será dada pela combinação de oito pares de inteiros diferentes e com suas partes limitadas entre 1 e 8. Se fizermos as contas isso resulta em um espaço de busca de exatamente 2.506.375.872.000 possibilidades.

Agora que já temos uma noção do espaço de busca e de como a solução será representada no algoritmo vamos refletir a respeito da nossa função objetivo. A nossa função de objetivo receberá o vetor com 16 dimensões que representa as posições das 8 rainhas no tabuleiro do jogo e retornará a quantidade de rainhas ameaçadas. O objetivo do algoritmo é minimizar essa função objetivo de forma a achar uma solução que possua o mínimo de rainhas ameaçadas. Vale notar que, assim como outras metaheurísticas, não possuímos garantia de achar a resposta ótima para o problema.

Condensando as informações acima temos:

- Espaço de busca: Combinação de posicionamento das 8 rainhas dentro do tabuleiro com 64 casas;
- Representação de solução: vetor contendo 16 dimensões e cada dimensão representa um número inteiro limitado entre 8 e 1;
- Função objetivo: recebe vetor solução e retorna quantidade de rainhas ameaçadas;

TO BE CONTINUED ...

1.4 Análise Comparativa

Bibliography

- [1] Li Bao and Chao Zeng Jian. Comparison and analysis of the selection mechanism in the artificial bee colony algorithm. *Hybrid Intelligent Systems*, 2009.
- [2] Bahriye Basturk and Dervis Karaboga. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization. *Jornal of Global Optimization*, pages 459–471, 2007.
- [3] Ming Li Duan and Yi Cheng Ba. rtificial bee colony algorithm for scheduling a single batch processing machine with non-identical job sizes. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*, 2009.
- [4] R. L. Jeanne. The evolution of the organization of work in social insects. *Monit. Zool. Ital.*, 20:267–287, 1986.
- [5] Dervis Karaboga. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. Technical report, Erciyes University, 2005.
- [6] Dervis Karaboga and Bahriye Basturk. An artificial bee colony (abc) algorithm for numeric function optimization. *Swarm Intelligence Symposium*, 2006.
- [7] Dervis Karaboga and Bahriye Basturk. Artificial bee colony (abc) optimization algorithm for solving constrained optimization problems. *Advances in Soft Computing: Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing*, 2007.
- [8] Dervis Karaboga and Bahriye Basturk. On the performance of artificial bee colony (abc) algorithm. *Applied Soft Computing*, pages 687–697, January 2008.
- [9] Dervis Karaboga and C. Ozturk. Neural networks training by artificial bee colony algorithm on pattern classification. *Neural Network World*, 2009.
- [10] N. Karaboga. A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital iir filtersn. *Journal of the Franklin Institute*, 2009.
- [11] D. Jeya Mala and V. Mohan. Artificial bee colony based software test suite optimization approa. *International Journal of Software Engineering*, 2009.
- [12] Harikrishna Narasimhan. Parallel artificial bee colony (pabc) algorithm. *World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing*, 2009.
- [13] V. Tereshko and A. Loengarov. Collective decision-making in honey bee foraging dynamics. *Computing and Information System Journal*, October 1995.