

UMA IDÉIA BASEADA EM ENXAME DE ABELHAS PARA OTIMIZAÇÃO NUMÉRICA

(RELATÓRIO TÉCNICO-TR06, OUTUBRO, 2005)

Dervis KARABOGA

karaboga@erciyes.edu.tr

Universidade Erciyes, Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Informática

Kayseri / Türkiye

I. INTRODUÇÃO

A inteligência de enxame tornou-se um interesse de pesquisa para muitos cientistas pesquisadores de campos relacionados nos últimos anos. Bonabeau definiu a inteligência de enxame como “qualquer tentativa de projetar algoritmos ou dispositivos de solução de problemas distribuídos inspirados no comportamento coletivo de colônias de insetos sociais e outras sociedades animais” [1]. Bonabeau et al. concentraram seu ponto de vista apenas nos insetos sociais, como cupins, abelhas, vespas, bem como em outras espécies diferentes de formigas. No entanto, o termo enxame é usado de uma maneira geral para se referir a qualquer coleção restrita de agentes ou indivíduos que interagem. O exemplo clássico de um enxame é o enxame de abelhas ao redor de sua colméia; no entanto, a metáfora pode ser facilmente estendida a outros sistemas com uma arquitetura semelhante. Uma colônia de formigas pode ser considerada um enxame cujos agentes individuais são formigas. Da mesma forma, um bando de pássaros é um bando de pássaros. Um sistema imunológico [2] é um enxame de células e moléculas, assim como uma multidão é um enxame de pessoas [3]. O algoritmo de Otimização do Enxame de Partículas (PSO) modela o comportamento social do bando de pássaros ou do cardume [4].



Dois conceitos fundamentais, auto-organização e divisão do trabalho, são propriedades necessárias e suficientes para obter um comportamento inteligente de enxame, como sistemas de resolução de problemas distribuídos que se auto-organizam e se adaptam ao ambiente dado:

a) A auto-organização pode ser definida como um conjunto de mecanismos dinâmicos, que resultam em estruturas no nível global de um sistema por meio de interações entre seus componentes de baixo nível. Esses mecanismos estabelecem regras básicas para as interações entre os componentes do sistema. As regras garantem que as interações sejam executadas com base em informações puramente locais, sem qualquer relação com o padrão global. Bonabeau et al. caracterizaram quatro propriedades básicas nas quais a auto-organização se baseia: Feedback positivo, feedback negativo, flutuações e múltiplas interações [1]:

eu) O feedback positivo é uma “regra prática” de comportamento simples que promove a criação de estruturas convenientes. Recrutamento e reforço, como colocação de trilhas e acompanhamento em algumas espécies de formigas ou danças em abelhas, podem ser mostrados como exemplos de feedback positivo.

ii) O feedback negativo contrabalança o feedback positivo e ajuda a estabilizar o padrão coletivo. Para evitar a saturação que pode ocorrer em termos de forrageadoras disponíveis, exaustão da fonte de alimento, aglomeração ou competição nas fontes de alimento, um mecanismo de feedback negativo é necessário.

iii) Flutuações como caminhadas aleatórias, erros, troca aleatória de tarefas entre os indivíduos do enxame são vitais para a criatividade e inovação. A aleatoriedade é freqüentemente crucial para estruturas emergentes, pois permite a descoberta de novas soluções.

4) Em geral, a auto-organização requer uma densidade mínima de indivíduos mutuamente tolerantes, permitindo-lhes aproveitar os resultados de suas próprias atividades e de outras.

b) Dentro de um enxame, existem diferentes tarefas, que são realizadas simultaneamente por indivíduos especializados. Esse tipo de fenômeno é chamado de divisão do trabalho. Acredita-se que o desempenho de tarefas simultâneas por indivíduos especializados cooperantes seja mais eficiente do que o desempenho de tarefas sequenciais por indivíduos não especializados [2,5-7]. A divisão de trabalho também permite que o enxame responda às condições alteradas no espaço de busca. Dois conceitos fundamentais para o desempenho coletivo de um enxame apresentados acima, a auto-organização e a divisão do trabalho são propriedades necessárias e suficientes para obter o comportamento inteligente do enxame, como sistemas distribuídos de resolução de problemas que se auto-organizam e se adaptam ao ambiente dado.

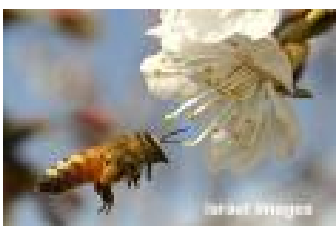
II. COMPORTAMENTO DO ENXUMAMENTO DE ABELHAS

O modelo mínimo de seleção de forragem que leva ao surgimento da inteligência coletiva de enxames de abelhas melíferas consiste em três componentes essenciais: fontes de alimento, forrageadoras empregadas e forrageadoras desempregadas e o modelo define dois modos principais de comportamento: o recrutamento para uma fonte de néctar e o abandono de uma fonte.



i) Fontes Alimentares: O valor de uma fonte alimentar depende de muitos fatores, como sua proximidade com o ninho, sua riqueza ou concentração de energia e a facilidade de extração dessa energia. Por uma questão de simplicidade, a “lucratividade” de uma fonte alimentar pode ser representada com uma única quantidade [8].

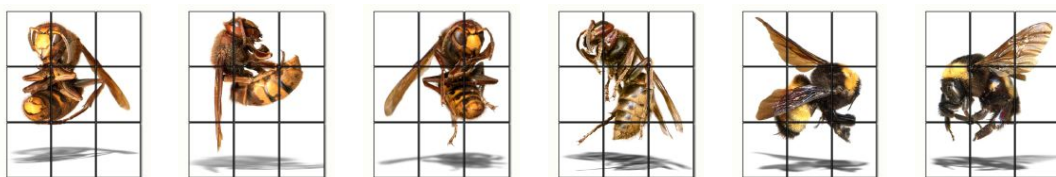
ii) Forrageadoras empregadas: Eles são associados a uma fonte alimentar específica que estão explorando ou na qual estão “empregados”. Eles carregam consigo informações sobre essa fonte em particular, sua distância e direção do ninho, a lucratividade da fonte e compartilham essas informações com uma certa probabilidade.



iii) Coletoras desempregadas: Eles estão continuamente à procura de uma fonte de alimento para explorar. Existem dois tipos de forrageadoras desempregadas: batedores, procurando novas fontes de alimento no ambiente ao redor do ninho e observadores esperando no ninho e

estabelecer uma fonte de alimento por meio da informação compartilhada por forrageadoras empregadas. O número médio de batedores em condições é de cerca de 5-10% [8].

A troca de informações entre as abelhas é a ocorrência mais importante na formação do conhecimento coletivo. Ao examinar toda a colmeia, é possível distinguir entre algumas partes que normalmente existem em todas as colmeias. A parte mais importante da colmeia no que diz respeito à troca de informações é a área de dança. A comunicação entre as abelhas relacionada à qualidade das fontes de alimento ocorre na área de dança. Essa dança é chamada de dança balançante.



Como as informações sobre todas as fontes ricas atuais estão disponíveis para um espectador na pista de dança, provavelmente ela pode assistir a várias danças e decidir trabalhar na fonte mais lucrativa. Há uma probabilidade maior de os espectadores escolherem fontes mais lucrativas, uma vez que mais informações são divulgadas sobre as fontes mais lucrativas. As forrageadoras empregadas compartilham suas informações com uma probabilidade proporcional à lucratividade da fonte de alimento, e o compartilhamento dessas informações por meio da dança do balanço tem uma duração mais longa. Assim, o recrutamento é proporcional à lucratividade da fonte alimentar [9].

Para entender melhor as características básicas do comportamento das forrageadoras, vamos examinar a Figura 1. Suponha que existam duas fontes de alimento descobertas: A e B. No início, uma forrageadora potencial começará como forrageadora desempregada. Essa abelha não terá conhecimento sobre as fontes de alimento ao redor do ninho. Existem duas opções possíveis para tal abelha:

eu) Pode ser um batedor e começar a procurar em volta do ninho espontaneamente por um alimento devido a alguma motivação interna ou possível pista externa (S na Figura 1).

ii) Pode ser um recruta após assistir as danças do balanço e começar a procurar uma fonte de alimento (R na Figura 1).

Após localizar a fonte de alimento, a abelha utiliza sua própria capacidade de memorizar o local e imediatamente começa a explorá-lo. Conseqüentemente, a abelha se tornará uma “caçadora empregada”. O

A abelha forrageadora pega uma carga de néctar da fonte e retorna à colmeia e descarrega o néctar em um armazém de alimentos. Após descarregar a comida, a abelha tem as seguintes três opções:

- eu)** Torna-se um seguidor descomprometido após abandonar a fonte alimentar (UF).
- ii)** Ele dança e, em seguida, recruta companheiros de ninho antes de retornar à mesma fonte de alimento (EF1)
- iii)** Ele continua a forragear na fonte de alimento sem recrutar outras abelhas (EF2).

É importante notar que nem todas as abelhas começam a forragear simultaneamente. Os experimentos confirmaram que novas abelhas começam a forragear a uma taxa proporcional à diferença entre o número total eventual de abelhas e o número de forrageamento atual.

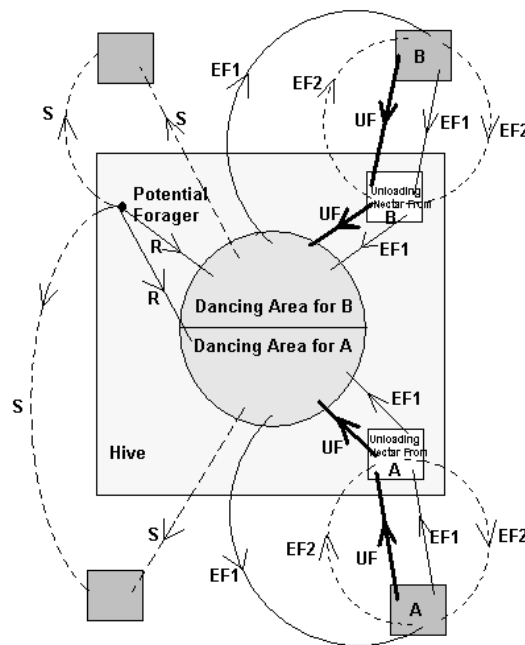


Figura 1. O comportamento das abelhas em busca de néctar

No caso das abelhas, as propriedades básicas nas quais a auto-organização depende são as seguintes:

- eu)** **Feedback positivo:** À medida que a quantidade de néctar das fontes de alimento aumenta, o número de espectadores que as visita também aumenta.
- ii)** **Avaliação negativa:** O processo de exploração de fontes de alimentos pobres é interrompido pelas abelhas.
- iii)** **Flutuações:** Os batedores realizam um processo de busca aleatória para descobrir novas fontes de alimento.
- 4)** **Múltiplas interações:** As abelhas compartilham suas informações sobre fontes de alimento com seus companheiros de ninho na área de dança.

III. PROPOSTA SUGERIDA

Neste trabalho, um comportamento particular inteligente de um enxame de abelhas melíferas, o comportamento de forrageamento, é considerado e um novo algoritmo de colônia de abelhas artificial (ABC) simulando este comportamento de abelhas reais é descrito para resolver problemas de otimização multidimensional e multimodal. No modelo, a colônia de abelhas artificiais é composta por três grupos de abelhas: abelhas empregadas, curiosas e batedoras. A primeira metade da colônia é formada pelas abelhas artificiais empregadas e a segunda metade pelos curiosos. Para cada fonte de alimento, existe apenas uma abelha empregada. Em outras palavras, o número de abelhas empregadas é igual ao número de fontes de alimento ao redor da colmeia. A abelha empregada, cuja fonte de alimento foi exaurida pelas abelhas, torna-se escuteira. As principais etapas do algoritmo são fornecidas a seguir:

Envie os batedores para as fontes iniciais de alimento REPETIR

Envie as abelhas empregadas para as fontes de alimento e determine suas quantidades de néctar Calcule o valor de probabilidade das fontes com as quais são preferidas pelas abelhas espectadoras

Envie as abelhas observadoras sobre as fontes de alimento e determine suas quantidades de néctar Pare o processo de exploração das fontes exauridas pelas abelhas

Envie os batedores para a área de pesquisa para descobrir novas fontes de comida, memorize aleatoriamente a melhor fonte de comida encontrada até agora

ATÉ (requisitos são atendidos)

Cada ciclo da busca consiste em três etapas: mover as abelhas empregadas e observadoras até as fontes de alimento e calcular suas quantidades de néctar; e determinar as abelhas batedoras e direcioná-las para possíveis fontes de alimento. A posição de uma fonte de alimento representa uma possível solução para o problema a ser otimizado. A quantidade de néctar de uma fonte alimentar corresponde à qualidade da solução representada por aquela fonte alimentar. Os espectadores são colocados nas fontes de alimento usando um processo de seleção baseado em probabilidade. À medida que a quantidade de néctar de uma fonte de alimento aumenta, o valor da probabilidade com a qual a fonte de alimento é preferida pelos espectadores também aumenta. Cada colônia de abelhas tem batedores que são os exploradores da colônia [10]. Os exploradores não têm orientação para procurar comida. Eles estão principalmente preocupados em encontrar

qualquer tipo de fonte de alimento. Como resultado desse comportamento, os batedores são caracterizados por baixos custos de busca e baixa qualidade da fonte alimentar. Ocasionalmente, os batedores podem descobrir acidentalmente fontes de comida ricas e totalmente desconhecidas. No caso das abelhas artificiais, os batedores artificiais poderiam ter como tarefa a descoberta rápida do conjunto de soluções viáveis. Neste trabalho, uma das abelhas empregadas é selecionada e classificada como abelha escuteira. A seleção é controlada por um parâmetro de controle denominado "limite". Se uma solução que representa uma fonte de alimento não é melhorada por um número predeterminado de tentativas, então essa fonte de alimento é abandonada por sua abelha empregada e a abelha empregada é convertida em uma batedora. O número de tentativas para liberar uma fonte de alimento é igual ao valor do "limite", que é um importante parâmetro de controle do ABC. Em um processo de pesquisa robusto, os processos de exploração e aproveitamento devem ser realizados em conjunto. No algoritmo ABC, enquanto observadores e abelhas empregadas realizam o processo de exploração no espaço de busca, os batedores controlam o processo de exploração.

No caso de abelhas melíferas reais, a taxa de recrutamento representa uma "medida" de quão rapidamente o enxame de abelhas localiza e explora a fonte de alimento recém-descoberta. O processo de recrutamento artificial também pode representar a "medição" da velocidade com que as soluções viáveis ou as soluções ótimas dos difíceis problemas de otimização podem ser descobertas. A sobrevivência e o progresso do enxame real de abelhas dependiam da rápida descoberta e da utilização eficiente dos melhores recursos alimentares. Da mesma forma, a solução ideal de problemas de engenharia difíceis está ligada à descoberta relativamente rápida de "boas soluções", especialmente para os problemas que precisam ser resolvidos em tempo real.

4. RESULTADOS SIMULADOS

Nos estudos de simulação, o Algoritmo Artificial Bee Colony (ABC) foi aplicado para encontrar o mínimo global das três funções de teste bem conhecidas. Uma das funções é a função de esfera, que é uma função contínua, convexa e unimodal. x está no intervalo $[-100, 100]$. O valor mínimo global para esta função é 0 e a solução ideal é $r_{x_{optar}} = (x_1, x_2, \dots, x_5) = (0, 0, \dots, 0)$. A segunda função é uma otimização clássica bem conhecida problema: vale de Rosenbrock. O ótimo global está dentro de um vale plano longo, estreito e parabólico. Portanto, é muito difícil convergir o ótimo global. As variáveis da função são fortemente dependentes e os gradientes geralmente não apontam para o ótimo. x está no intervalo $[-2,048, 2,048]$, o valor mínimo global é 0; e a

a solução ideal é $x_{optar}^r = (x_1, x_2) = (1, 1)$. O ótimo global da função é o único

ótima e a função é unimodal. A terceira função é a função Rastrigin, que se baseia na função Sphere com a adição da modulação do cosseno para produzir muitos mínimos locais. x^r

está no intervalo $[-600, 600]$ e o valor mínimo é 0. A solução ótima para isso

função é $x_{optar}^r = (x_1, x_2, \dots, x_{10}) = (0, 0, \dots, 0)$

Tabela 1: Funções de benchmark testadas pelo Algoritmo ABC

Funções	Gamas	Valor mínimo
$f_1(x^r) = \sum_{eu=1}^5 x_{2eu}^2$	$-100 \leq x \leq 100$	$f_1^r(0) = 0$
$f_2(x^r) = 100(x_2 - x_1^2 + (x_1 - 1)^2)$	$-2.048 \leq x \leq 2.048$	$f_2^r(1) = 0$
$f_3(x^r) = \sum_{i=1}^{10} (x_{eu}^2 - 10 \cos(2\pi x_i + 10))$	$-600 \leq x_{eu} \leq 600$	$f_3^r(0) = 0$

No algoritmo ABC, o número máximo de ciclos foi considerado como 2.000. As porcentagens de abelhas observadoras e de abelhas empregadas foram 50% da colônia e o número de abelhas batedoras foi selecionado para ser um. O aumento do número de batedores estimula o processo de exploração, enquanto o aumento de curiosos em uma fonte de alimento estimula o processo de exploração. Os parâmetros adotados para o algoritmo ABC são fornecidos na Tabela 2.

Mesa 2: Parâmetros de controle adotados para o algoritmo ABC

Parâmetros de controle do Algoritmo ABC	
enxame	20
limite	Número de abelhas observadoras *
número de espectadores	Dim. 50% do enxame
número de abelhas empregadas	50% do enxame 1
número de batedores	

Cada um dos experimentos foi repetido 30 vezes com diferentes sementes aleatórias e os valores médios de função das melhores soluções foram registrados. A média e os desvios padrão dos valores da função obtidos pelo algoritmo ABC para as mesmas condições são fornecidos na Tabela 3.

Tabela 3 Os resultados obtidos pelo algoritmo ABC.

Funções	Mau	Std
$f_1(x)$ (Esfera 5D)	4.45E-17	1.13E-17
$f_2(x)$ (2D Rosenbrock)	0,002234	0,002645
$f_3(x)$ (10D Rastrigin)	4.68E-17	2.64E-17

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, um novo algoritmo de otimização baseado no comportamento inteligente de enxames de abelhas foi descrito. O novo algoritmo de enxame é muito simples e flexível quando comparado aos algoritmos baseados em enxame existentes. Também é muito robusto, pelo menos para os problemas de teste considerados neste trabalho. A partir dos resultados da simulação, conclui-se que o algoritmo proposto pode ser utilizado para resolver problemas de otimização numérica unimodal e multimodal.

Neste trabalho, o algoritmo foi testado em um conjunto muito limitado de problemas de teste. O estudo de simulação deve ser realizado em um conjunto maior de funções de teste e o desempenho do algoritmo deve ser examinado em detalhes.

VI. REFERÊNCIAS

1. E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, "Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems", Nova York, NY: Oxford University Press, 1999.
2. LN De Castro, FJ Von Zuben, "Artificial Immune Systems. Parte I. Teoria Básica e Aplicações", Relatório Técnico nº Rt Dca 01/99, Feec / Unicamp, Brasil, 1999.
3. J. Vesterstrøm, J. Riget, Particle Swarms Extensions for melhorada local, multimodal e pesquisa dinâmica em otimização numérica, MSc.Thesis, maio de 2002
4. J. Kennedy, RC Eberhart, "Particle swarm optimization", In Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks", Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

- 5 V. Tereshko, "Modelo de reação-difusão do comportamento de forrageamento de uma colônia de abelhas, M. Schoenauer, et al, Eds., Parallel Problem Solving from Nature VI ", Lecture Notes in Computer Science, vol. 1917, Springer-Verlag: Berlin, p. 807-816, 2000.
- 6 RL Jeanne, "A Evolução da Organização do Trabalho em Insetos Sociais" Monit. Zool. Ital. 20, 267-287, 1986.
- 7 G. Oster, EO Wilson, "Castes and Ecology in the Social Insects", Princeton, NJ: Princeton University Press, (1978).
- 8 TD Seeley, The Wisdom of the Hive (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1995).
- 9 V. Tereshko, A. Loengarov, "Collective Decision-Making in Honey Bee Foraging Dynamics", Computing and Information Systems Journal, ISSN 1352-9404, vol. 9, não 3, outubro de 2005.
10. TD Seeley, Visscher PK, "Avaliando os benefícios da cooperação no forrageamento das abelhas: custos de pesquisa, qualidade da forragem e capacidade competitiva", Behav. Ecol. Sociobiol., 22: 229-237, 1988.