

# Algorytmy pszczelej optymalizacji

dr inz. Jacek Czerniak



# Charakterystyka ogólna

- Algorytmy roju pszczół to zbiór algorytmów zainspirowany zachowaniem pszczół miodnych, obserwowanym już w połowie XIX przez niemieckiego zoologa Martina Lindauera, który w roku 1950 opublikował swoją pracę, w której zauważył, że pszczoły od zewnętrznej strony roju wykonują 'taniec' jednocześnie przenosząc do ula stosunkowo niewielkie ilości pożywienia. Dzięki dalszym obserwacjom Lindauer doszedł do wniosku, że tylko niewielki odsetek pszczół bierze udział w podejmowaniu decyzji na temat zmiany gniazda. Większość pszczół nie bierze udziału w poszukiwaniach oczekując na podjęcie decyzji przez pszczoły 'tańczące', które stopniowo zmniejszają ilość gniazd. Kiedy wybrane zostanie ostatecznie jedno gniazdo wszystkie pszczoły podrywają się do lotu w kierunku wybranego gniazda.

# Zachowanie pszczół w trakcie podejmowania decyzji

1. Organizacja umożliwiająca współdzielenie wiedzy przez całą grupę. Dzięki dużej ilości obiektów biorących udział w podejmowaniu decyzji i prawidłowej dystrybucji wiedzy między nimi podjęcie prawidłowej i jednomyślnej decyzji jest dużo łatwiejsze.
2. Rywalizacja, dzięki której każdy obiekt w dowolnej chwili czasowej stara się doskonalić. Im więcej dobrych obiektów, tym podjęcie decyzji jest łatwiejsze i szybsze.
3. Równowaga, którą definiujemy jako podejmowanie decyzji na podstawie opinii wielu obiektów z jednoczesnym zachowaniem zasad demokracji. Dzięki temu indywidualnie błędnie podjęte decyzje nie wpływają na decyzję ostateczną.

# Model MBO (Marriage in Honey-Bees Optimization)



- Algorytm optymalizacji poprzez małżeństwo pszczół (z ang. Marriage in Honey-Bees Optimization, MBO) jest jednym z pierwszych algorytmów z rodziny swarm intelligence, opartych o rój pszczół. Metoda ta została opublikowana przez Husseina A. Abbassa w 2001 roku. Główną inspiracją tego rozwiązania jest proces godowy pewnego rodzaju pszczół.
- Abbass, H., MBO Marriage in Honey Bees Optimization A Haplometrosis Polygynous Swarming Approach, University of New South Wales, Australia,

# Struktura kolonii pszczół MBO

- **królowe**, (ang. queens) zarówno biologicznie jak i algorytmicznie odpowiedzialne, za wyszukiwanie partnerów i opiekowanie się jajami,
- **trutnie**, (ang. drones) osobniki będące partnerami rozrodczymi królowych, królowa zawsze z pewnym prawdopodobieństwem, zależącym od przystosowania, będzie losowała swojego partnera i tworzyła z nim jaja,
- **robotnice**, (ang. workers) pszczoły odpowiedzialne za opiekę oraz udoskonalanie następnego pokolenia,
- **potomstwo** (ang. broods) efekt krzyżowania królowych i trutniów oraz mutacji.

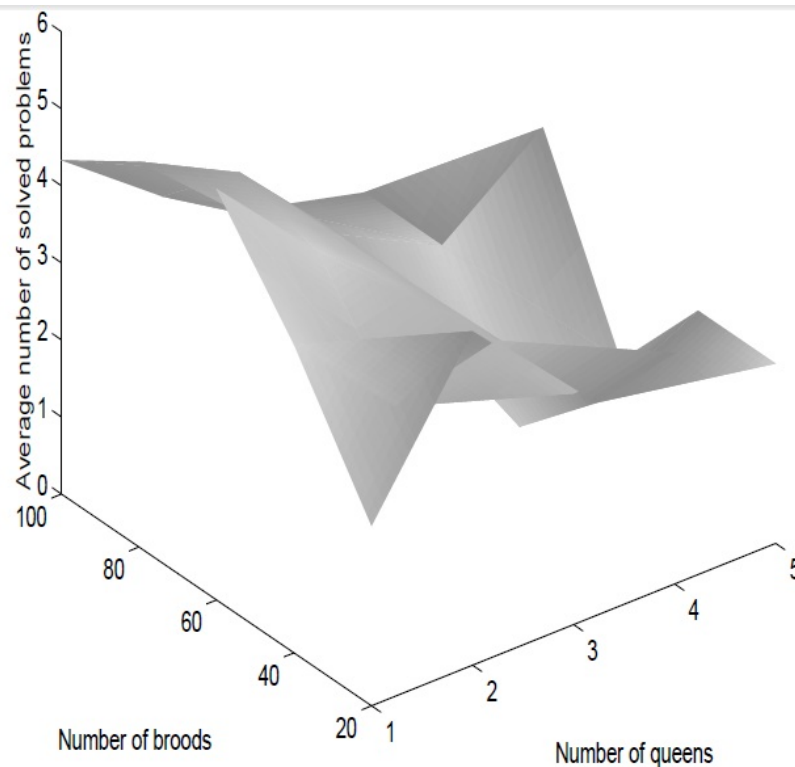
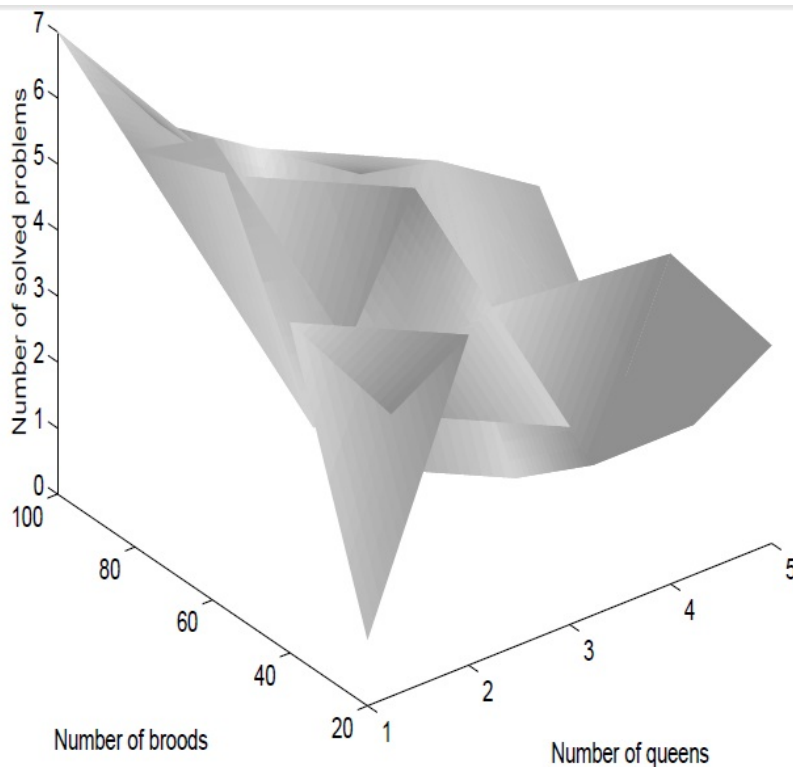
# Działanie algorytmu MBO

- Na początku algorytmu następuje inicjalizacja pszczół pracujących poprzez nadawanie im wartości przystosowania, czyli np. dla wyszukiwania maksimum funkcji, na początku losowane są dla nich wartości, w których sprawdza się wartość funkcji i w zależności od zwróconej wartości pracownicy otrzymują wartość funkcji przystosowania. Następnym krokiem jest wyszukiwanie pośród pracowników tych, którzy są najlepiej dostosowani i oznaczenie ich jako królowych. W tym momencie następuje rozpoczęcie działania iteracyjnego, trwającego do momentu, gdy pszczoły odbędą założoną ilość lotów godowych.

- Pierwszą operacją jest przypisanie wcześniej wybranym królowym wartości energii, pozycji oraz prędkości. Dzięki tym wartościami będą one wybierały różnych partnerów i istnieje mniejsze prawdopodobieństwo powtórzenia się wynikowego potomstwa. Następnie wszystkie królowe w zależności od wcześniej przypisanych parametrów probabilistycznie wybierają swoich partnerów.
- gdzie:
- $Q$  – królowa
- $D$  – truteń
- *różnica* - wartość bezwzględna różnicy przystosowania
- *prędkość* - prędkość królowej

$$prob(Q, D) = e^{-\frac{\text{różnica}}{\text{prędkość}}}$$

# Ilość znalezionych rozwiązań



Ilość znalezionych rozwiązań w zależności od ilości królowych i trutniów



# Model BCO (Bee Colony Optimization)



- Zaproponowany przez Dusana Teodorowića oraz Mauro Dell'Orco w 2005 roku model optymalizacji rojem pszczół. Algorytm ten jest niejako kontynuacją rozpoczętych przez Teodorovića wraz z LuciĆem badań, dzięki którym powstał tak zwany Bee System. W wypadku tego rozwiązania inspiracje biologiczne pochodzą ze sposobu w jaki pszczoły zamieszkujące pojedyncze gniazdo poszukują nektaru oraz zbierają go. Podstawowymi zasadami działania algorytmu jest wysyłanie pojedynczych pszczół w losowo wybranych kierunkach, a także porównywanie ich wiedzy po powrocie do ula.

# Działanie

- Na początku działania definiujemy ilość pszczół biorących udział w poszukiwaniach, ilość iteracji, po której algorytm ma zakończyć działanie. W trakcie każdego cyklu algorytmu znajdowane jest tak zwane rozwiązanie częściowe negocjowane później przez pszczoły między sobą. W trakcie negocjacji, każda z pszczół może pozostać niezdeklarowana, porzucić swoje rozwiązanie i podążyć za innym osobnikiem, rozwijać dalej swoje rozwiązania bez rekrutowania pozostałych lub wykonać tak zwany taniec werbunkowy i przybliżyć swoje rozwiązanie z pomocą innych

# Pseudokod działania algorytmu BCO

- Dla  $i$  w przedziale od 1 do  $n$  (gdzie  $n$ , to założona ilość stanów)
- Dla  $j$  w przedziale od 1 do  $m$  (gdzie  $m$ , to założona ilość iteracji)
- 1. Wylot wszystkich pszczoł z gniazda i wybranie przez nie (gdzie  $n$ , to ilość pszczoł) rozwiązań ze zbioru rozwiązań częściowych.
- 2. Powrót wszystkich pszczoł do ula.
- 3. Wymiana informacji na temat zdobytych rozwiązań.
- 4. Podjęcie przez każdą z pszczoł decyzji na temat kolejnego działania:
  - - rozpocząć taniec i zwerbować większą ilość pszczoł do poszukiwania najlepszego rozwiązania w pobliżu ostatnio przez siebie odkrytego,
  - - szukać rozwiązania w pobliżu ostatnio przez siebie wybranego bez rekrutacji dodatkowych osobników,
  - - porzucić poprzedni wynik i przyłączyć się do którejś z tańczących pszczoł,
- Jeżeli najlepsze rozwiązanie z tej tury jest lepsze od rozwiązania, należy je zapamiętać

# Atrakcyjność rozwiązania

- Obliczanie atrakcyjności rozwiązania odnalezionego przez każdą z pszczoł jest jednym z najważniejszych parametrów tego algorytmu. Od tego atrybutu zależy, czy który wynik zostanie dodany do zbioru rozwiązań częściowych. Prawdopodobieństwo zachowania wyniku dane jest wzorem:

gdzie:

$f_i$  - atrakcyjność  $i$ -tego rozwiązania,

$\sum_j f_j$  - suma wyników podanych przez wszystkie pszczoły

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_j f_j}$$

# Model ABC (Artificial Bee Colony)



- Sztuczna kolonia pszczół (ang. Artificial bee colony, ABC), to model zaproponowany w 2005 roku przez tureckiego naukowca Dervisa Karaboge. Jest on oparty, jak i pozostałe opisywane tutaj algorytmy, na zachowaniu stadnym pszczół miodnych. Od innych algorytmów odróżnia go, wykorzystanie **większej** ilości rodzajów pszczół w roju.

Yang, Ch., Chen, J., Tu, X., Algorithm of Marriage in Honey Bees Optimization Based on the Nelder-Mead Method, Beijing Institute of Technology, Chiny

# Etapy ABC

Składa się z czterech etapów powtarzanych iteracyjnie do momentu wykonania określonej przez użytkownika liczby powtórzeń:

- faza działania pszczół furażerek,
- faza działania obserwatorek,
- faza działania skautów,
- zapamiętanie najlepszego do tej pory rozwiązania.

# Rodzaje obiektów biorących udział w przeszukiwaniu

- **Furażerki** – (ang. Employed Bees) pszczoły przeszukujące punkty w pobliżu już zapamiętanych,
- **Obserwatorki** – (and. Onlooker Bees) obiekty odpowiedzialne za przeszukiwanie okolic punktów uznanych za najatrakcyjniejsze,
- **Skauci** – (and. Scout Bees) nazywane również harcerzami, ten rodzaj pszczół eksploruje losowe punkty w żaden sposób nie powiązane z wcześniej odkrytymi.

# Faza furażerek

Po zakończeniu fazy inicjalizacji, swoją pracę rozpoczynają furażerki. Są one wysyłane w miejsca w pobliżu znanych już źródeł pożywienia i wyznaczają ilość znajdującego się tam nektaru. Na podstawie ich doświadczeń będą działały obserwatoriki. Furażerki do losowania potencjalnego źródła pożywienia wykorzystują wzór:

$$\vec{v}_i = x_{mi} + \varphi_{mi} (x_{mi} + x_{ki}) \quad (10)$$

gdzie:

$\vec{v}_i$  - wektor potencjalnych źródeł pożywienia,

$x_k$  - losowo wybrane źródło pożywienia,

$\varphi_{mi}$  - losowa liczba z zakresu  $[-a, a]$



# Faza obserwatorek

Kolejnym etapem działania algorytmu jest faza działania pszczół obserwatorek. Są one wysyłane w pobliże najlepiej sklasyfikowanych źródeł pożywienia i w tych właśnie punktach sprawdzają ilość dostępnego nektaru. Prawdopodobieństwo wyboru źródła  $\vec{x}_m$  dane jest wzorem:

$$p_m = \frac{fit_m(\vec{x}_m)}{\sum_{m=1}^{SN} fit_m(\vec{x}_m)} \quad (11)$$

gdzie:

$fit_m(\vec{x}_m)$  - wartość funkcji dopasowania dla danego źródła.

# Faza skautów

- Ostatnim etapem działania tego algorytmu jest rozpoczęcie eksploracji przez harcerzy. Ten rodzaj pszczół wybiera losowe punkty z przedziału poszukiwań po czym sprawdza zawartą w nich ilość pożywienia. Jeżeli jest ona większa od dotychczas zanotowanej, wartości zostają zamienione. Działanie tego rodzaju pszczół pozwala na eksplorowanie przestrzeni niedostępnej dla pozostałych rodzajów pszczół, co pozwala uniknąć pominięcia jakiegoś ekstremum.

# Wyniki eksperymentów

- Według badań algorytm autorstwa Karabogi wykazuje satysfakcjonujące wyniki zarówno dla funkcji liniowych, jak i kwadratowych czy nieliniowych. Badania były prowadzone przy użyciu kolonii o liczebności 40 osobników, a limit iteracji wynosił 6000.
- Przy badaniu funkcji liniowej i kwadratowej otrzymywano za każdym razem ten sam wynik, natomiast dla funkcji sześcienniej i nieliniowej otrzymywane wyniki wahały się w bardzo niewielkim przedziale. Na podstawie tych badań można śmiało stwierdzić, że ABC świetnie nadaje się do optymalizowania funkcji.
-

# Wyniki testów algorytmu ABC

Rodzaj funkcji	Najgorsze	Najlepsze	Średnio
liniowa	-15	-15	-15
kwadratowa	-30665,539	-30665,539	-30665,539
sześcienne	-6961,805	-6961,814	-6961,813
nieliniowa	1,000	0,760	0,968

# Dziękuję za uwagę

dr inż. Jacek Czerniak  
[jczerniak@ukw.edu.pl](mailto:jczerniak@ukw.edu.pl)

