

# Algorytmy mrówkowe

w środowiskach dynamicznych

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

1/51

## Plan

- » Algorytm mrówkowy
- » Warianty
- » CVRP
- » Demo
- » Środowisko dynamiczne
- » Pomysł modyfikacji
- » Testowanie

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

2/51

# Algorytm mrówkowy

# Algorytmy rojowe

- » Zbiorowe zachowanie grupy osobników
- » Pojedynczy osobnik:
  - › Bezbronny
  - › Bezmyślny
- » Grupa osobników:
  - › Zdecentralizowana
  - › Samoorganizująca się
  - › „Inteligentna”

## Algorytmy rojowe

- » Algorytm mrówkowy
- » Inne:
  - › Particle Swarm Optimization
  - › Stochastic Diffusion Search
  - › Gravitational Search Algorithm
  - › Intelligent Water Drops
  - › Charged System Search

## Algorytm mrówkowy

- » Ant System (AS)
  - › Marco Dorigo, 1991
  - › 1992 – praca doktorska
- » Inspirowany naturą
  - › Mrówki szukają pożywienia
- » Feromony – ślad zapachowy
  - › Wyparowywanie feromonów



## Algorytm mrówkowy – badania

- » 1989 – Goss, Aron, Deneubourg, Pasteels
- » Pojedyncza mrówka:
  - › Głucha
  - › Prawie ślepa
  - › Bardzo niska inteligencja
- » Klucz do sukcesu – komunikacja
  - › Feromony

## Algorytm mrówkowy – badania



## Algorytm mrówkowy – badania



Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

9/51

## Algorytm mrówkowy – badania



Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

10/51

## Mrówki żywe vs. wirtualne

### » Podobieństwa:

- › Grupa współpracujących osobników (agentów)
- › Cel: znalezienie najkrótszej drogi
- › Budowanie rozwiązania krok po kroku
- › Losowość i prawdopodobieństwo
- › Rozkładanie i wyparowywanie feromonów



## Mrówki żywe vs. wirtualne

### » Różnice (w świecie wirtualnym):

- › Czas jest dyskretny
- › Mrówki posiadają pamięć
- › Mrówki posiadają „wzrok”
  - › widzą sąsiednie wierzchołki
- › Sposób rozkładania feromonów
  - › globalny, lokalny
- › Ilość rozkładanych feromonów zależy od jakości rozwiązania





## Warianty

## Oryginalny AS

Resetuj feromony

For  $i=0$  to IlośćIteracji

```
{  
  Stwórz/resetuj mrówki
```

Dla każdej mrówki:

```
  {  
    Znajdź rozwiązanie  
    Jeśli jest lepsze od najlepszego, to zapamiętaj  
  }
```

Wyparuj część feromonów

```
  Dla każdej mrówki:  
    Rozłóż feromony proporcjonalnie do znalezionej rozwiązania
```

```
}
```

Zwróć najlepsze rozwiązanie

## Oryginalny AS

Znajdź rozwiązanie

```
{
  {
    Dopóki nie znaleziono rozwiązania
    {
      Wyznacz listę kandydatów
      Wybierz kandydata metodą ruletki, na podstawie wzorku:
      
$$p_{ij} = \frac{(f_{ij})^\alpha (h_{ij})^\beta}{\sum_{k \in N_i} (f_{ik})^\alpha (h_{ik})^\beta}$$

      Przejdź do wybranego kandydata
    }
  }
}
```

## Oryginalny AS

» Parametry algorytmu:

- › Ilość iteracji
- › Ilość mrówek w iteracji
- › Początkowa wartość feromonu na krawędziach
- › Współczynnik wyparowywania
- › Priorytet feromonów
- › Priorytet heurystyki



## Co podlega modyfikacji

- » Mrówki rozkładające feromony:
  - › Wszystkie
  - › X najlepszych
  - › Najlepsza
- » Moment rozkładania feromonów:
  - › Lokalnie (po każdym przejściu na nowy wierzchołek)
  - › Pseudo-lokalnie (zaraz po znalezieniu rozwiązania)
  - › Globalnie (jak wszystkie mrówki znajdą rozwiązanie)

## Co podlega modyfikacji

- » Ilość rozkładanego feromonu:
  - › Stała
  - › Proporcjonalna do jakości rozwiązania
- » Sposób wyboru następnego wierzchołka:
  - › Ruletka
  - › Pseudo-ruletka:
    - › Losujemy  $q$
    - › Jeśli  $q \leq q_0$ , to wybieramy najlepszego startującego w ruletce
    - › Jeśli  $q > q_0$ , to przeprowadzamy ruletkę po staremu

## Elitist AS

- » Dorigo, 1992
- » Mocne wzmacnianie najlepszego rozwiązania
- » Po położeniu feromonów przez wszystkie mrówki
- » Zwiększenie feromonów na krawędziach należących do najlepszego rozwiązania:
  - ›  $e \cdot Q_{best}$
  - ›  $e$  – ilość elitarnych mrówek

## Rank AS

- » Bullnheimer, Hartl and Strauss, 1997
- »  $\sigma$  mrówek zostawia feromony proporcjonalnie do swojej rangi  $\mu$ :
  - ›  $(\sigma - \mu) \cdot Q$
- » Najlepsze rozwiązanie też jest wzmacniane:
  - ›  $\sigma \cdot Q_{best}$

## Min-Max AS

- » Stützle & Hoos, 1997
- » Ograniczony zakres feromonów
  - ›  $f \in [f_{\min}, f_{\max}]$
- » Tylko najlepsza mrówka w danej iteracji zostawia feromony
- » Początkowa wartość feromonów =  $f_{\max}$

## Inne warianty

- » Ant-Density AS
- » Ant-Quantity AS
- » Ant Colony System (ACS)

# CVRP

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

23/51

# CVRP

- » Capacitated Vehicle Routing Problem
- » Rozwinięcie TSP



[http://pl.wikipedia.org/wiki/Problem\\_marszrutyzacji](http://pl.wikipedia.org/wiki/Problem_marszrutyzacji)

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

24/51

## CVRP

- » Klienci z zapotrzebowaniem
- » 1 magazyn
- » Ciężarówki z o graniczną pojemnością
- » Dostarczyć towar wszystkim klientom
- » Zminimalizować koszt całej trasy
- » <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>



## Demo

# Środowisko dynamiczne

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

27/51

## Środowisko dynamiczne

- » Może się zmieniać w czasie
- » Graf:
  - › Dodawanie/usuwanie wierzchołków
  - › Zmiana zapotrzebowań wierzchołków
  - › Dodawanie/usuwanie krawędzi
  - › Zmiana wag krawędzi
- » Zdarzenie zmiany w grafie
  - › Wywoływane zawsze gdy nastąpiła jakakolwiek zmiana

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

28/51



## Algorytm dynamiczny

- » Dynamiczna zmiana parametrów, przykłady:
  - › Większa liczba mrówek
  - › Zwiększenie parowania feromonów
  - › Większy nacisk na feromony/heurystykę
  - › Etc...
  
- » Dynamiczna równoległość

## Dodawanie / usuwanie wierzchołków

- » Zmieniony sposób wyboru sąsiadów
  
- » Wyznaczanie aktualnej listy kandydatów za każdym przejściem

## Zmiana zapotrzebowań

- » Nie można korzystać ze statycznej tablicy zapotrzebowań, inicjalizowanej na początku algorytmu
- » Trzeba odczytywać zawsze aktualną wartość

## Dodawanie/usuwanie krawędzi

- » CVRP z definicji zakłada graf pełny

Dodawanie/usuwanie krawędzi

```
graph TD; A[Dodawanie/usuwanie krawędzi] --> B[Graf nie jest pełny]; B --> C[Konieczna modyfikacja algorytmu];
```

Graf nie jest pełny

Konieczna modyfikacja algorytmu

## Modyfikacja algorytmu

- » Pierwszeństwo wyboru:
  - › Najpierw jeszcze nieodwiedzeni
  - › Dopiero potem już odwiedzeni
- » System kar:
  - › Przeprowadzamy wybór po staremu
  - › Kara za wybranie już odwiedzzonego
- » Połączenie obu?
- » Inne propozycje?

## Zmiana wag krawędzi



## Pomysł modyfikacji

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

35/51

## Pomysł modyfikacji

- » Aktualnie najlepsza droga może nagle stać się bardzo nieatrakcyjna
- » A drogi złe mogą stać się bardzo atrakcyjne
- » Ilość feromonów uniemożliwia szukanie nowych dróg
- » Potrzebny jest mechanizm „wyrównywania szans”

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

36/51

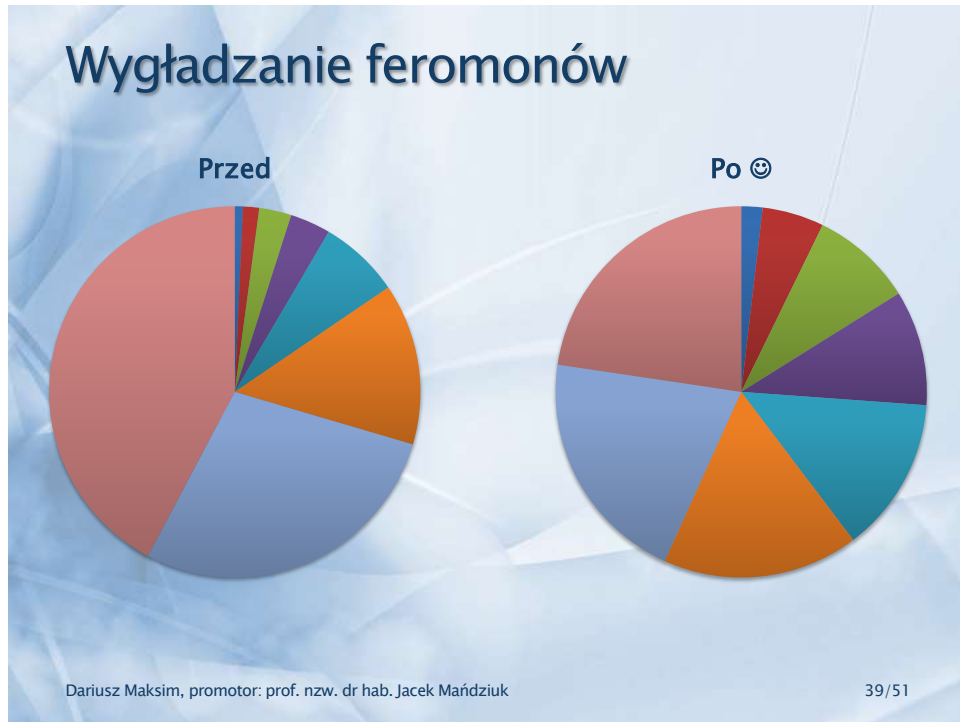
## Wygładzanie feromonów

- » Zmniejszenie różnic między krawędziami
- » Zachowanie porządku
- » Cienkie krawędzie – mała zmiana
- » Grube krawędzie – duża zmiana
- » Funkcja w miarę wolno rosnąca

## Wygładzanie feromonów

$$f_{ij} = f_0 \cdot \left(1 + \log_p \frac{f_{ij}}{f_0}\right)$$

- »  $f_{ij}$  – ilość feromonu na wygładzanej krawędzi
- »  $f_0$  – minimalna ilość feromonu
- »  $p$  – podstawa logarytmu
  - › Im większa, tym większy efekt wygładzenia



- ## Wygładzanie feromonów
- » Różnice między krawędziami są zmniejszone
  - » Porządek jest zachowany
    - › W dalszym ciągu najgrubsza krawędź ma największe prawdopodobieństwo wyboru
  - » Prawdopodobieństwa wyboru krawędzi są zbliżone
    - › Większa szansa wyboru objazdów
- Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk
- 40/51



## Wygładzanie globalne vs. lokalne

- » Wygładzanie globalne nie zawsze musi być dobre
- » Dla dużego grafu:
  - › Spora zdobyta wiedza
  - › Wszystkie krawędzie są wygładzane
  - › Tracimy bezpowrotnie dużo cennych informacji
- » Potrzebny mechanizm wygładzania tylko w tej okolicy, gdzie wystąpił „korek”

## Wygładzanie globalne vs. lokalne

- » Dodatkowy parametr algorytmu:
  - › Zasięg wygładzania (SmoothRange)
- » Maksymalna odległość od korka
- » Wygładzane są tylko te krawędzie, których odległość od korka jest mniejsza od SmoothRange

## Wygładzanie globalne vs. lokalne

- » SmoothRange = maksymalna odległość między parą wierzchołków
- » Nowy parametr:
  - › Współczynnik wygładzania  $s \in [0,1]$
  - ›  $s \cdot \text{SmoothRange}$
  - ›  $s=0$  – brak wygładzania
  - ›  $s=1$  – wygładzanie globalne

## Inne pomysły

- » Różne funkcje wygładzające:

$$f_{ij} = f_0 \cdot F\left(\frac{f_{ij}}{f_0}\right)$$

- › Liniowa
- › Pierwiastek
- › Sigmoidalna
- › Etc...

- » Inne wykorzystanie wygładzania:

- › Zapobieganie stagnacji

## Inne pomysły

» Lokalne poprawianie rozwiązań:

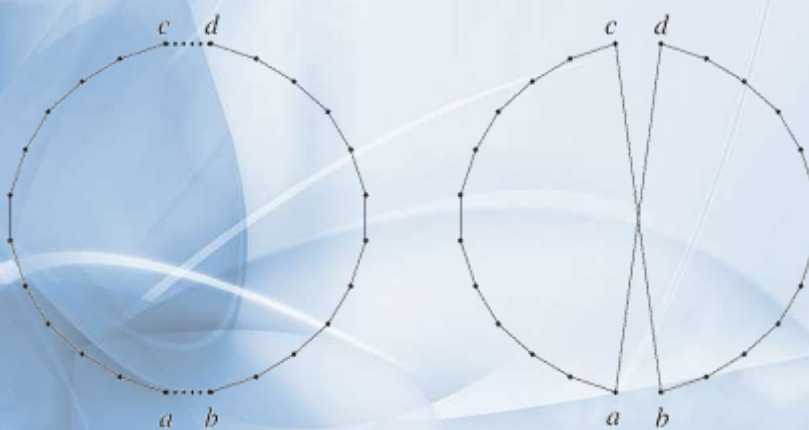
- > 2-opt
- > 3-opt



Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

45/51

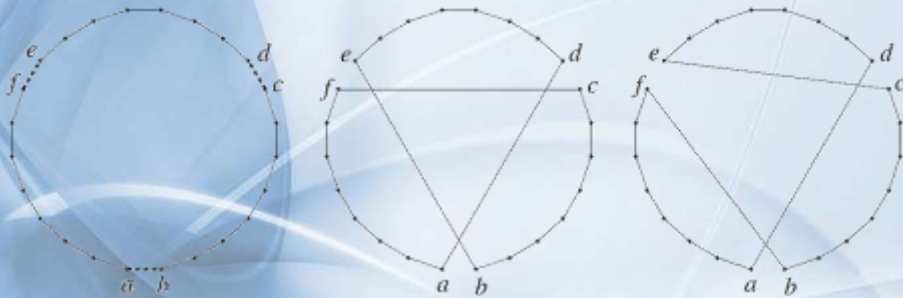
## 2-opt



Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

46/51

## 3-opt



Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

47/51

## Testowanie

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

48/51

## Testowanie

- » Jak testować dynamiczne problemy?
- » Jak mierzyć efektywność poszczególnych wariantów?
  
- » Ogólna szybkość zbiegania
- » Jak bardzo pogorszyło się najlepsze rozwiązanie po wystąpieniu zdarzenia zmiany w grafie
- » Inne metody?

## Docelowo...

- » Scenariusze występowania korków
- » Możliwość tworzenia własnych scenariuszy
- » Preprogramowane scenariusze
  - › Potrzebne do testów
  
- » Drugi problem optymalizacyjny:
  - › Pomysł?



**Dziękuję.**

Będę wdzięczny za wszelkie uwagi!

Dariusz Maksim, promotor: prof. nzw. dr hab. Jacek Mańdziuk

51/51