

# Algorytm grawitacyjnych poszukiwań (Gravitational Search Algorithm - GSA)

- Nowy algorytm optymalizacji oparty za prawach grawitacji
- Algorytm wykorzystujący prawa Newtona:

*“Każda cząstka we wszechświecie przyciąga inną cząstkę z siłą, która jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi”*

# Tło algorytmu GSA

- Grawitacja wywołuje przyspieszenie mas
- Każda cząstka we wszechświecie przyciąga każdą inną
- Grawitacja – wszędzie i nieunikniona
- Inne podstawowe oddziaływania w naturze:
  - elektromagnetyczne
  - jądrowe słabe
  - jądrowe silne

# Tło algorytmu GSA

- Zachowanie sił grawitacji można nazwać “oddziaływaniem na odległość”
- Grawitacja oddziałuje pomiędzy wybranymi cząstkami bez żadnych pośrednich mechanizmów i opóźnień
- W prawie powszechnej grawitacji Newtona, każda cząstka przyciąga każdą inną cząstkę z ‘siłą grawitacji’

# Tło algorytmu GSA

- Siła grawitacji pomiędzy dwoma masami

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

gdzie

$F$  - siła grawitacji

$G$  - stała grawitacyjna

$m_1, m_2$  – masy rozważanych cząstek

$r$  - odległość pomiędzy dwoma cząstkami

# Tło algorytmu GSA

- II prawo Newtona

$$a = \frac{F}{m}$$

- Istnieje siła przyciąga wśród wszystkich cząstek we wszechświecie, gdzie efekt oddziaływania większych i bliższych cząstek jest mocniejszy
- Zwiększenie odległości pomiędzy dwoma cząstkami oznacza zmniejszenie siły grawitacji między nimi

# Tło algorytmu GSA

- Ze względu na efekt zmniejszania się grawitacji rzeczywista wartość stałej grawitacji  $G$  zależy od faktycznego wieku wszechświata

$$G(t) = G(t_0) \cdot \left( \frac{t_0}{t} \right)^\beta, \quad \beta < 1$$

gdzie

$G(t)$  - stała grawitacji w chwili czasu  $t$

$G(t_0)$  - stała grawitacji w pierwszym

kosmicznym momencie kwantowym czasu

# Tło algorytmu GSA

- W fizyce teoretycznej można wyróżnić trzy rodzaje mas:
  - Aktywna masa grawitacyjna
  - Bierna masa grawitacyjna
  - Masa bezwładna

# Tło algorytmu GSA

- ***Aktywna masa grawitacyjna***  $m_a$  jest miarą siły pola grawitacyjnego ze względu na konkretny obiekt
- Pole grawitacyjne obiektu z małą aktywną masą grawitacyjną jest słabsze niż dla obiektu z większą aktywną masą grawitacyjną



# Tło algorytmu GSA

- ***Bierna masa grawitacyjna***  $m_p$  jest miarą siły interakcji obiektu z polem grawitacyjnym
- W tym samym polu grawitacyjnym, obiekt o mniejszej biernej masie grawitacyjnej doświadcza mniejszej siły niż obiekt o większej biernej masie grawitacyjnej

# Tło algorytmu GSA

- ***Masa bezwładna  $m_i$***  jest miarą przeciwstawiana się obiektu zmianom swojego stanu ruchu w obecności siły
- Zmiany stanu ruchu dla obiektów z dużą masą bezwładną zachodzą wolniej niż dla obiektów o o małej bezwładności masy (szybkie zmiany)

# Tło algorytmu GSA

- Zmodyfikowane równania na siłę grawitacji

$$F_{ij} = G \frac{m_{aj} m_{pi}}{r_{ij}^2} \quad a_i = \frac{F_{ij}}{m_{ij}}$$

gdzie

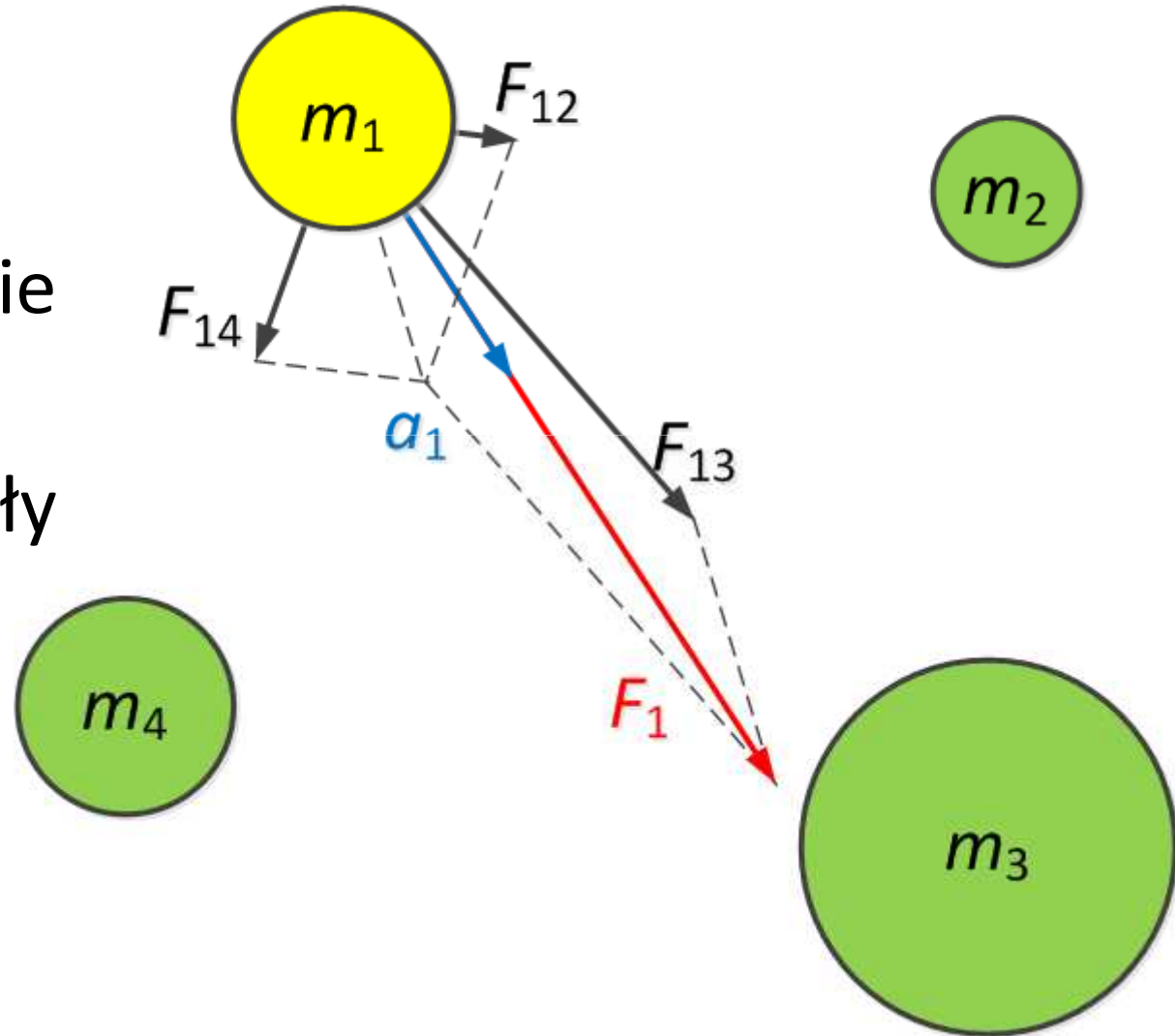
$m_{aj}$  - aktywna masa grawitacyjna cząstki  $i$

$m_{pi}$  - bierna masa grawitacyjna cząstki  $j$

$m_{ij}$  - masa bezwładności cząstki  $i$

# Tło algorytmu GSA

- Każda masa posiada przyspieszenie w kierunku wynikowej siły będącej wynikiem oddziaływań innych mas



# Tło algorytmu GSA

- Masa bezwładna, bierna masa grawitacyjna oraz aktywna masa grawitacyjna są koncepcyjnie różne
- Brak eksperymentów, które by jednoznacznie wykazały różnice pomiędzy rozważanymi typami mas

# Tło algorytmu GSA

- Ogólna teoria względności opiera się na założeniu, że inercyjna i bierna masa grawitacyjna są równoważne (zasada słabej równoważności)
- Standardowo ogólna teoria względności zakłada również równoważność masy bezwładnej i aktywnej masy grawitacyjnej (zasada silnej równoważności)

# Podstawy GSA

- W GSA, agentami są cząstki (obiekty), których wydajność mierzona jest ich masą
- Wszyscy agenci (cząstki mas) przyciągają się wzajemnie siłą grawitacji
- Siła ta powoduje globalny ruch wszystkich cząstek (agentów) w kierunku cząstek o cięższych masach

# Podstawy GSA

- Cząstki mas (agenci) współpracują za pomocą bezpośredniej formy komunikacji - siła grawitacji
- Cząstki o cięższych masach:
  - odpowiadają dobrym rozwiązaniom
  - poruszają się wolniej niż lżejsze
  - gwarantują etap eksploatacji algorytmu



# Podstawy GSA

- W GSA, każda cząstka (agent) posiada:
  - pozycję
  - masę bezwładną
  - aktywną masę grawitacyjną
  - bierną masę grawitacyjną
- Pozycja agenta odpowiada rozwiązaniu problemu optymalizacji
- Grawitacyjna i bezwładna masa są określone na podstawie funkcji przystosowania

# Podstawy GSA

- Każda masa reprezentuje rozwiązanie
- Algorytm poszukuje rozwiązania optymalnego dobierając odpowiednio grawitacyjną i bezwładnościową masę
- W trakcie poszukiwań można oczekiwać, że masy będą przyciągane przez cząstki o cięższych masach
- Cząstka o najcięższej masie reprezentuje optymalne rozwiązanie w przestrzeni poszukiwań

# Podstawy GSA

- Algorytm GSA może być uważany za izolowany system mas
- Mały sztuczny świat mas (agentów) przestrzegający prawa grawitacji oraz dynamiki Newtona
- Agenci przestrzegają dwie zasady dotyczące:
  - Prawa grawitacji
  - Prawa dynamiki

# Podstawy GSA

## 1. Prawo grawitacji

Każda cząstka przyciąga wszystkie inne cząstki zaś siła grawitacyjnego oddziaływania między dwoma cząstkami jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi

- $r$  zamiast  $r^2$
- lepsze rezultaty dla  $r$  z przeprowadzonych eksperymentów

# Podstawy GSA

## 2. Prawa dynamiki

Prędkość dowolnej cząstki jest równa sumie poprzedniej prędkości i jej aktualnej zmiany

Zmiana prędkości i przyspieszenia dowolnej cząstki jest równa sile oddziaływania w rozważanym systemie podzielona przez masę bezwładności

# Podstawy GSA

- Rozważmy system  $N$  agentów (mas)
- Pozycja  $i$ -tego agenta

$$\mathbf{x}_i = [x_i^1 \quad x_i^2 \quad \dots \quad x_i^n], \quad i = 1, 2, \dots, N$$

gdzie

$x_i^k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) - pozycja  $i$ -tego agenta  
w  $k$ -tym wymiarze

# Podstawy GSA

- Siła oddziaływująca ma masę  $i$  przez masę  $j$  dla chwili czasu  $t$

$$F_{ij}^k(t) = G(t) \frac{m_{p_i}(t) \cdot m_{a_j}(t)}{r_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^k(t) - x_i^k(t))$$

$m_{a_j}$  - aktywna masa grawitacyjna agenta  $j$

$m_{p_i}$  - bierna masa grawitacyjna agenta  $i$

$G$  - stała grawitacyjna

$\varepsilon$  - pewna stała (zapobieganie osobliwości)

$r_{ij}$  - odległość pomiędzy dwoma agentami  $i$  &  $j$

# Podstawy GSA

- Całkowita siła oddziaływująca na agenta  $i$  w  $k$ -tym wymiarze jest losową ważoną sumą  $k$ -tych komponentów siły wywieranej na innych agentów

$$F_{ij}^k(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \rho_j F_{ij}^k(t)$$

gdzie

$\rho_j$  - liczba losowa z zakresu  $[0,1]$



# Podstawy GSA

- Przyspieszenie agenta  $i$  w chwili czasu  $t$  w  $k$ -tym kierunku

$$a_i^k(t) = \frac{F_i^k(t)}{m_{ij}(t)}$$

gdzie

$m_{ij}$  - masa bezwładności agenta  $i$

# Podstawy GSA

- Prędkość agenta jest wyznaczana jako suma aktualnej prędkości oraz jego przyspieszenia
- Pozycja agenta i jego prędkość

$$x_i^k(t+1) = x_i^k(t) + v_i^k(t+1)$$

$$v_i^k(t+1) = \alpha_i \cdot v_i^k(t) + a_i^k(t)$$

gdzie

$\alpha_i$  - liczba losowa z przedziału  $[0,1]$

# Podstawy GSA

- Stała grawitacyjna  $G$  inicjalizowana na początku algorytmu zmienia się w kolejnych krokach algorytmu w celu sterownia dokładnością wyszukiwania
- $G$  jest funkcją początkowej wartości  $G(0)$  i czasu  $t$

$$G(t) = G(G_0, t)$$

# Podstawy GSA

- Masa grawitacyjna i bezwładna są obliczone na podstawie funkcji przystosowania
- Agent o dużej masie oznacza efektywniejsze rozwiązanie
- Lepsi agenci mają większe oddziaływanie na innych i poruszają się wolniej
- Zakładając równość masy grawitacyjnej i bezwładnej, wartości mas są obliczane na podstawie pewnego odzorowania funkcji celu

# Podstawy GSA

- Modyfikacja grawitacyjnej i bezwładnej masy

$$M_i(t) = \frac{f_i(t) - f_{worst}(t)}{f_{best}(t) - f_{worst}(t)}$$

$$m_i(t) = \frac{M_i(t)}{\sum_{j=1}^N M_j(t)}$$

$$m_{a_j} = m_{p_i} = m_{i_j} = m_i$$

# Podstawy GSA

- Dobrym kompromisem pomiędzy eksploracją i eksploatacją jest zmniejszenie liczby agentów z upływem czasu
- Propozycja – tylko zbiór agentów z dużą masą stosują swoją siłę w stosunku do innych
- Zastosowanie takiej polityki powinno być rozsądne - może to zmniejszyć siłę poszukiwania i zwiększyć możliwości eksploatacji

# Podstawy GSA

- Do uniknięcia zatrzymania poszukiwań w lokalnym optimum należy zastosować eksplorację w początkowych iteracjach GSA
- W kolejnych iteracjach GSA eksploracja powinna zanikać zaś eksploatacja wzmacniać
- Poprawienie wydajności GSA przez sterowanie eksploatacji
- Tylko  $K_{best}$  agentów przyciągnie inne masy

# Podstawy GSA

- $K_{best}$  jest funkcją czasu z wartością początkową  $K_0$  i zmniejsza się z czasem
- W początkowych iteracjach wszystkie cząstki wykorzystują siłę i wraz z upływem czasu
- $K_{best}$  zmniejsza się liniowo i w końcowych iteracjach zanika do zera



# Podstawy GSA

- Siła wypadkowa

$$F_{ij}^k(t) = \sum_{j \in K_{best}, j \neq i}^N \rho_j F_{ij}^k(t)$$

gdzie

$K_{best}$  - zbiór  $K$  agentów z najlepszymi parametrami

$\rho_j$  - a random number in the interval  $[0,1]$

# Algorytm GSA

## Procedura GSA

**begin**

Wylosuj populację początkową of  $N$  particles (agent)

**while** ( $t < \text{MaxGeneration}$ ) or (stop criterion)

Oceń (wyznacz, funkcję  $G$ )

Zmodyfikuj  $G$ , *poprzez dobre i złe rozwiązania*

Wyznacz masy  $M$  i  $a$  dla każdego cyklu

Zmodyfikuj pozycje i prędkość cząstki

**end**

Wyznacz najlepsze rozwiązanie

**end**

# Uwagi do GSA

- Każdy agent w GSA może obserwować działania innych, siła grawitacji jest narzędziem przekazywania informacji
- Ze względu na siłę, która działa na agenta z jego otoczenia, może on obserwować przestrzeń wokół siebie
- Ciężka masa ma duży promień atrakcyjności, a tym samym wielkiej intensywności przyciągania

# Uwagi do GSA

- Agenci z wyższą wydajnością (o większym przystosowaniu):
  - mają większą masę
  - pozostali agenci kierują się w ich stronę
- Agenci o dużej masie bezwładności poruszają się wolniej, a więc poszukiwanie miejsca bardziej lokalnie
  - (adaptacyjne szybkość uczenia się)

# Uwagi do GSA

- Stała grawitacyjna reguluje dokładność wyszukiwania, dzięki zmniejszaniu się z czasem (podobnie jak temperatura w symulowanego wyżarzania)
- GSA – nie-pamięciowy algorytm (poszukuje efektywnie jak algorytmy z pamięcią)
- Masa grawitacyjna i bezwładności są takie same (w pewnych problemach optymalizacji stosuje się różne ich wartości)

# Uwagi do GSA

- Większa masa bezwładności zapewnia wolniejszy ruch agentów w przestrzeni poszukiwań, a więc poszukiwanie bardziej precyzyjne
- Z drugiej strony, większe masy grawitacyjne powodują większą atrakcję agentów
- Pozwala to na uzyskanie odpowiedniej zbieżności GSA

# Algorytm inteligencji kropel wody (ang. Intelligent **W**ater **D**rops)

- IWD algorytm naśladuje procesy zachodzące w naturze pomiędzy:
  - kroplami wody w rzece a
  - glebą z dna rzeki

# Algorytm IWD

- IWD algorytm (Shah-Hosseini, 2007) został zastosowany z powodzeniem do:
  - problemu komiwojażera (TSP)
  - wielowymiarowego problemu plecakowego
  - problemu układanki z n-królowych
  - problemu planowania trasy robota



# Zachowanie roju kropeł wody

- Płynące krople wody obserwuje się głównie w rzekach, które stanowią ogromne ilości (roje) kropeł wody
- Koryta (drogi), naturalnej rzeki zostały stworzone przez ogromne masy wody (roje kropeł wody)
- Dla roju kropeł wody, rzeka jest częścią środowiska, które podlega ciągle zmianom

# Zachowanie roju kropeł wody

- Otoczenie ma istotny wpływ na ścieżki, według których podążają roje kropeł wody
- Dla środowisk z twardym podłożem (np. skały) roje krople wody napotykają większy opór w porównaniu do podłoża miękkich
- W rzeczywistości, naturalna rzeka jest wynikiem rywalizacji między rojem kropeł wody a środowiskiem opierającym się ich ruchowi

# Zachowanie roju kropeł wody

- Na podstawie obserwacji przyrody, większość ścieżek rzek jest pełna meandrów
- Siła grawitacji jest źródłem przemieszczania się ogromnych rojów kropli wody
- Krople wody powinny podążać ścieżką wybierając jej najkrótszą drogę od źródła do miejsca przeznaczenia będącego w wyidealizowanym przypadku środkiem Ziemi

# Zachowanie roju kropeł wody

- Siła grawitacji wywołuje przyspieszenie kropeł wody takie, że ich prędkość rośnie ze zbliżaniem się do środka Ziemi
- Z powodu różnego rodzaju przeszkód i ograniczeń rzeczywista ścieżka kropeł wody jest pełna meandrów zaś miejsce docelowe to zwykle jezioro, morze lub większa rzeka a nie środek Ziemi

# Zachowanie roju kropeł wody

- Zbudowana ścieżka wydaje się być optymalna pod względem odległości od źródła do miejsca przeznaczenia przy określonych ograniczeniach definiowanych przez środowisko
- Jedną z cech kropeł wody płynących w rzece jest ich prędkość
- Zakłada się, że każda kropla wody rzeki może przenosić również pewną ilość gleby

# Zachowanie roju kropeł wody

- Kropla wody jest w stanie przenieść pewną ilość ziemi z jednego miejsca do innego
- Przenoszona ziemia zazwyczaj z szybkich ścieżek (koryt) rzeki do wolnych
- Szybkie ścieżki (koryta) rzeki są głębsze i mogą przyciągnąć większe ilości wody
- Przenoszona ziemia jest gromadzona przez krople wody w wolniejszych ścieżkach (korytach) rzeki

# Zachowanie roju kropeł wody

- Założmy, naturalny spadek wody płynącej z jednego punktu rzeki do następnego
- Zjawiska obserwowane podczas przepływu:
  - prędkość kropeł wody zwiększa się
  - ilość transportowanej ziemi zwiększa się
  - pomiędzy punktami przepływu zmniejsza się ilość ziemi w rzece

# Zachowanie roju kropeł wody

- W rzeczywistości, ilość ziemi z koryta rzeki jest usuwana przez krople wody
- Ilość usuniętej gleby dodaje się do gleby już transportowanej przez krople wody
- Prędkość kropeł wody zwiększa się podczas przemieszczania
- Ta prędkość odgrywa ważną rolę w usuwaniu ziemi z koryta rzeki



# Zachowanie roju kropeł wody

- Zakładane własności przepływających kropeł wody:
  1. Duży spadek prędkości wody gromadzi więcej gleby niż wolniejsze krople wody :
    - Kropla wody z większą prędkością usuwa więcej gleby z koryta rzeki niż kroplę wody z mniejszą prędkością  
(usuwanie gleby związane z prędkością kropli wody)

# Zachowanie roju kropeł wody

2. Prędkość kropeł wody wzrasta bardziej na ścieżce o niskiej ilości gleby niż w korytach o dużej ilości:

- Prędkość kropli wody zmienia się tak, że na ścieżce z niewielką ilością gleby, prędkość kropli wody wzrasta w porównaniu ze ścieżką ze znaczną ilością ziemi
- Ścieżki z małą ilością gleby pozwalają płynącym kroplom zebrać więcej gleby i uzyskać większą prędkość podczas gdy ścieżki z dużą ilością gleby stawiają większy opór powodując mniejsze prędkości oraz przenoszą mniej ziemi

# Zachowanie roju kropeł wody

3. Kropla wody preferują ścieżki z mniejszą ilością gleby niż gdy jest jej więcej:
  - Kropla wody woli łatwiejszą drogę do trudniejszej, gdy ma do wyboru kilka ścieżek istniejących na drodze od źródła do miejsca przeznaczenia
  - Łatwość lub trudność ścieżki jest reprezentowana ilością gleby na niej
  - Ścieżka z dużą ilością gleby jest uznawana za trudną ścieżkę, z kolei z mniejszą ilością gleby jest za łatwą

# Podstawy IWD

- Inteligentna kropla wody IWD posiada dwie istotne własności:
  - $S_{IWD}$  - ilość niesionej przez nią ziemi
  - $V_{IWD}$  - wartość prędkość kropli wody
- Dla każdej IWD, ilość ziemi i prędkość mogą ulegać zmianie w zależności od środowiska

# Podstawy IWD

- Środowisko charakteryzuje problem, który ma być rozwiązany
- Rzeka kropel wody szuka optymalnej ścieżki dla rozważanego problemu optymalizacji
- Dla każdej IWD zakłada się przepływ od źródła do miejsca przeznaczenia
- W środowisku, istnieje wiele ścieżek z danego źródła do wybranego miejsca przeznaczenia
- Położenie miejsca docelowego może być nieznane

# Podstawy IWD

- Jeśli położenie żądanego miejsca docelowego jest znane, rozwiązanie problemu uzyskuje się poprzez znalezienie najlepszego (często najkrótszej) drogi od źródła do miejsca przeznaczenia
- W przypadku braku takiej wiedzy - rozwiązanie uzyskuje się poprzez znalezienie optymalnego miejsce pod względem kosztów lub innych kryteriów opisujących dany problem

# Podstawy IWD

- IWD porusza się w dyskretnych o skończonej długości krokach w danym środowisku
- Z bieżącego położenia  $i$  do następnego  $j$  prędkość kropli  $V_{IWD}$  zwiększa się o wartość  $\Delta V_{IWD}$ , która jest nieliniowo proporcjonalna do odwrotności odległości  $s(i, j)$  pomiędzy punktami  $i$  oraz  $j$

# Podstawy IWD

- Prędkość cząstki IWD, dla aktualnego położenia  $i$  do nowej lokalizacji  $j$ , jest zwiększana o wartość

$$\mathbf{v}_{IWD}(t+1) = \mathbf{v}_{IWD}(t) + \frac{a_v}{b_v + c_v \cdot s^{2\alpha}(i,j)}$$

gdzie

$s(i, j)$  - ilość gleby pomiędzy dwoma węzłami

$a_v, b_v, c_v, \alpha$  - wybrane przez projektanta  
dodatknie wartości parameterów



# Podstawy IWD

- Osad cząstek IWD  $s_{IWD}$  jest zwiększany poprzez usuwanie osadu ze ścieżek łączących dwa węzły

$$s_{IWD}(t+1) = s_{IWD}(t) + \frac{a_s}{b_s + c_s \cdot t^{2\theta}(i, j, \mathbf{v}_{IWD})}$$

gdzie

$t(i, j, \mathbf{v}_{IWD})$  - czas potrzebny na przemieszczenie z węzła  $i$  do  $j$  z prędkością  $\mathbf{v}_{IWD}$

$a_s, b_s, c_s, \theta$  - wybrane przez projektanta  
dodatknie wartości parameterów

# Podstawy IWD

- Czas potrzebny na przemieszczenie dla IWD z położenia  $i$  do  $j$  jest obliczany wg praw fizyki dla ruchu liniowego

$$t(i, j, \mathbf{v}_{IWD}) = \frac{h(i, j)}{\mathbf{v}_{IWD}}$$

where

$h(i, j)$  - lokalna funkcja heurystyczna  
(zdefiniowana dla danego problemu  
do pomiaru niepożądanego przejścia z  
pierwotnego położenia do następnego

# Podstawy IWD

- Niektóre osady są usuwane z odwiedzanych ścieżek pomiędzy lokalizacjami  $i$  oraz  $j$

$$s(i, j) = \rho_0 \cdot s(i, j) - \rho_n \frac{a_s}{b_s + c_s t^{2\theta}(i, j, \mathbf{v}_{IWD})}$$

gdzie

$\rho_0, \rho_n$  - dodatnie liczby z zakresu  $[0,1]$ .

Dla wersji klasycznej IWD

zadanie TSP  $\rho_0 = 1 - \rho_n$

# Podstawy IWD

- Innym mechanizmem, który opisuje zachowanie IWD to preferowanie ścieżek o małej ilości osadów w porównaniu ze ścieżkami o dużej ilości osadów
- Losowy równomierny rozkład stosowany jest do wyboru dostępnej ścieżki -  
prawdopodobieństwo IWD przejścia z miejsca  $i$  do  $j$  jest odwrotnie proporcjonalne do ilości osadów na dostępnych ścieżkach

# Podstawy IWD

- Mniejsza ilość osadów na ścieżce pomiędzy położeniem  $i$  a  $j$  – większa szansa, że ścieżka zostanie wybrana przez IWD agenta
- Prawdopodobieństwo wybrania położenia  $j$

$$p_{IWD}(i, j) = \frac{f(s(i, j))}{\sum_{k \in N_{IWD}} f(s(i, k))}$$

gdzie

$$f(s(i, j)) = \frac{1}{\varepsilon + g(s(i, j))}$$

# Podstawy IWD

- Stały parametr  $\varepsilon$  jest małą liczbą dodatnią, aby zapobiec możliwym dzieleniom przez zero w funkcji  $f(\cdot)$
- Zbiór  $N_{IWD}$  oznacza listę węzłów jakie nie można odwiedzić (zachować należy ograniczenia problemu)

# Podstawy IWD

- Funkcja  $g(s(i, j))$  jest stosowana do zmiany ilości osadów na  $s(i, j)$  ścieżce łączącej położenia  $i$  oraz  $j$

$$g(s(i, j)) = \begin{cases} s(i, j), & \text{if } \min_{l \notin N_{IWD}} \{s(i, l)\} \geq 0 \\ s(i, j) - \min_{l \notin N_{IWD}} \{s(i, l)\} & \text{else} \end{cases}$$

# Algorytm IWD

- IWD algorytm wykorzystuje rój cząstek IWD do znalezienia optymalnego rozwiązania dla danego problemu
- Problemy są reprezentowane przez graf  $(N, E)$  o zbiorze  $N$  węzłów oraz zbiorze  $E$  krawędzi
- Graf jest środowiskiem dla cząstek IWD, które poruszają się po krawędziach grafu



# Algorytm IWD

- Każda cząstka IWD rozpoczyna budowę rozwiązania stopniowo przez podróżowanie między węzłami w grafie wzdłuż krawędzi aż do wyznaczenia ostatecznego rozwiązania  $T_{IWD}$
- Każde rozwiązanie  $T_{IWD}$  jest reprezentowane przez zbiór odwiedzonych krawędzi grafu
- Pojedyncza iteracja algorytmu IWD jest zakończona, jeżeli wszystkie cząstki skompletują swoje rozwiązania

# Algorytm IWD

- Najlepsze rozwiązanie  $T_{IB}$  w aktualnej iteracji jest rozwiązaniem o największej wartości funkcji przystosowania
- $T_{IB}$  jest stosowane do modyfikacji dotychczasowego najlepszego znalezionego rozwiązania  $T_{TB}$  od momentu uruchomienia algorytmu IWD

# Algorytm IWD

- Najlepsze rozwiązanie  $T_{IB}$  w aktualnej iteracji

$$T_{IB} = \arg \max_{\text{for all IWDs}} J(T_{IWD})$$

- Najlepsze znalezione rozwiązanie  $T_{TB}$

$$T_{TB} = \begin{cases} T_{TB}, & \text{if } J(T_{TB}) \geq J(T_{IB}) \\ T_{IB}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

gdzie

$J$  – funkcja celu

# Algorytm IWD

- Ilość osadów na krawędziach dla najlepszego rozwiązania  $T_{IB}$  w danej iteracji jest redukowane na podstawie jakości rozwiązania

$$s(i, j) = (1 + \rho_{IWD}) \cdot s(i, j) - \frac{\rho_{IWD}}{(N_{IB} - 1)} \cdot s_{IWD}^{IB}, \quad \forall (i, j) \in T_{IB}$$

gdzie

$s_{IWD}^{IB}$  - osad dla najlepszej cząstki IWD

$N_{IB}$  - liczba węzłów rozwiązania  $T_{IB}$

$\rho_{IWD}$  - parametr globalnej modyfikacji osadu[0,1]

# Algorytm IWD

- Algorytm rozpoczyna kolejne iteracje z nowymi IWD ale z tą samą wartością ilości gleby na ścieżkach i cały proces jest powtarzany
- IWD algorytm zatrzymuje się, gdy osiągnie maksymalną liczbę iteracji lub najlepsze rozwiązanie  $T_{TB}$  osiągnie oczekiwaną jakość wymaganą dla danego problemu

# Algorytm IWD

- Algorytm IWD posiada dwa rodzaje parametrów:
  - statyczne
  - dynamiczne
- Statyczne parametry są tymi parametrami, które pozostają stałe w czasie trwania algorytmu IWD
- Dynamiczne parametry są tymi parametrami, które są dynamiczne i są inicjowane po każdej iteracji algorytmu IWD

# Algorytm IWD

## Procedura IWDA

**begin**

Ustaw statyczne i dynamiczne parametry IWDA

Rozmieść losowo IWDs w węzłach grafu jako pierwsze z odwiedzanych

Zmodyfikuj listę węzłów grafu o już odwiedzane

**while** ( $t < \text{MaxLiczbaPokoleń}$ ) or (kryterium stopu)

Dla każdego agenta IWD przebywającego w węźle  $i$ , wybierz następny  $j$ , - rozwiązanie dopuszczalne – wg prawdopodobieństwa  $p_{IWD}(j)$

Dla każdego agenta IWD przesuwanego się z węzła  $i$  do  $j$ , zmodyfikuj prędkość oraz oblicz osad transportowany na gałęzi  $s(i, j)$

Zmodyfikuj ilość osadu  $s(i, j)$  na ścieżce pomiędzy węzłami  $i$  oraz  $j$  niesionych przez agenta

Zmodyfikuj ilość osadu niesionego przez IWD

Znajdź rozwiązanie najlepsze w danej iteracji

Zmodyfikuj osad na ścieżce dla najlepszego rozwiązania w aktualnej iteracji

Zmodyfikuj osad na ścieżce dla najlepszego dotychczaszonego rozwiązania

**end**

**end**

# Algorytm IWD

- Porównanie IWDA i ACO:
  - Każda mrówka z ACO pozostawia feromon na odwiedzonej ścieżce
  - Cząstki IWD zmieniają ilość osadu na ścieżkach
  - W ACO algorytmie mrówka nie może usunąć feromonu z krawędzi
  - W algorytmie IWD cząstki mogą usuwać i dodawać osad na ścieżce



# Algorytm IWD

- W IWDA, zmiany osadu na krawędzi grafu nie są stałe i zależą od prędkości oraz ilości transportowanego osadu na danej ścieżce
- W algorytmie ACO każda mrówka pozostawia na ścieżce stałą wartość feromonu
- Cząstki IWD mogą wzmacniać różne prędkości przez cały czas iteracji algorytmu
- W algorytmie ACO prędkości mrówek nie są istotne

# Literatura

1. Shah-Hosseini, Hamed (2009). "The intelligent water drops algorithm: a nature-inspired swarm-based optimization algorithm". *International Journal of Bio-Inspired Computation* **1** (1/2): 71–79
2. Rashedi, E.; Nezamabadi-pour, H.; Saryazdi, S. (2009). "GSA: a gravitational search algorithm". *Information Science* 179 (13): 2232–2248
3. Nobahari, H.; Nikusokhan, M.. "Non-dominated Sorting Gravitational Search Algorithm". *International Conference on Swarm Intelligence*
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm\\_intelligence](http://en.wikipedia.org/wiki/Swarm_intelligence)