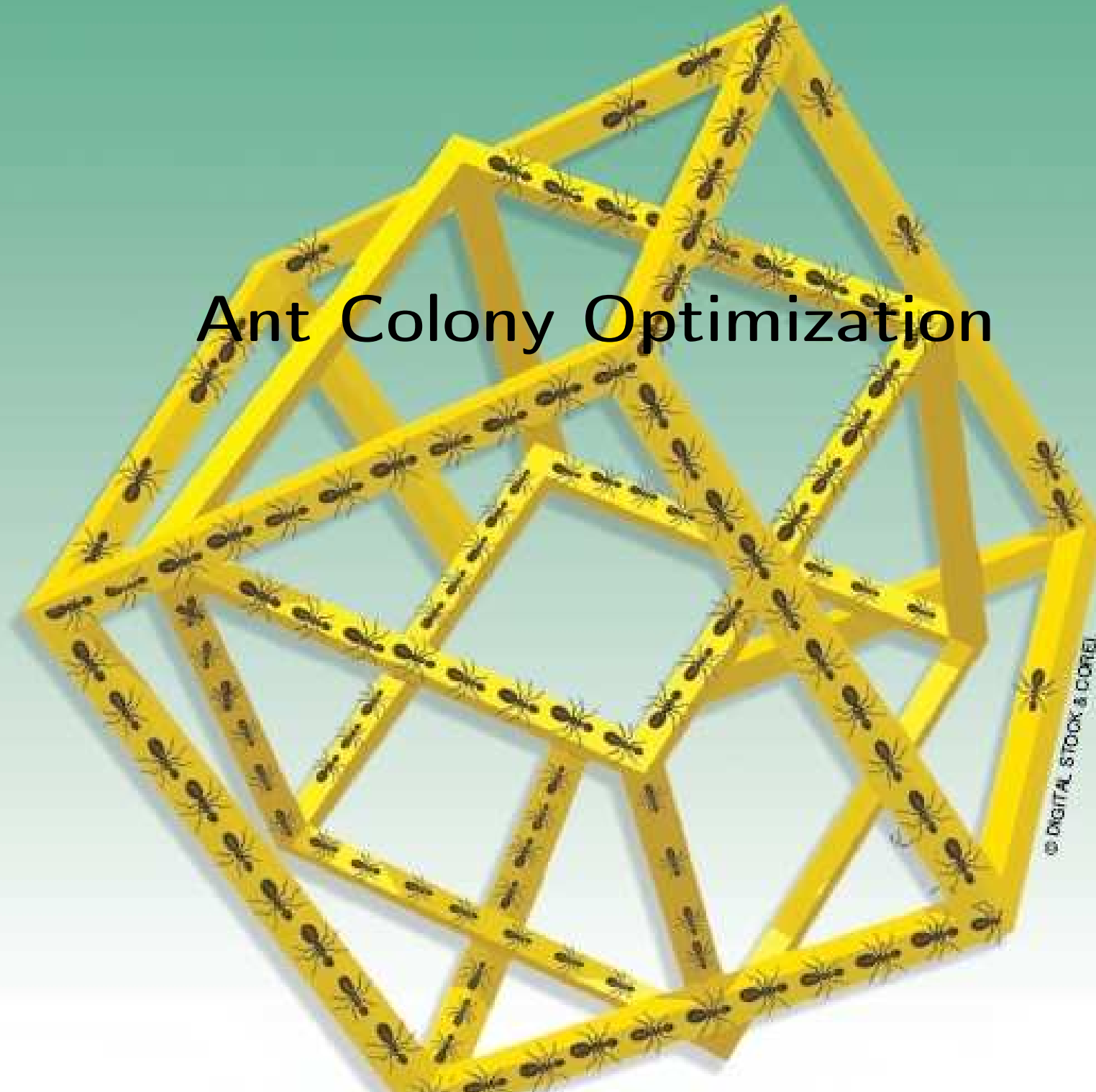


Ant Colony Optimization



© DIGITAL STOCK & DESIGN



Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

Co a proč a jak



Vznik

I am lost! Where is the line?!

—*A Bug's Life*, Walt Disney, 1998

ACO je metaheuristika

Shrnuje poznatky ze studia společenstev různých druhů mravenců

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



Vznik

I am lost! Where is the line?!

—*A Bug's Life*, Walt Disney, 1998

ACO je metaheuristika

Shrnuje poznatky ze studia společenstev různých druhů mravenců

Mnoho \mathcal{NP} -těžkých problémů, hledání optimálního řešení příliš náročné

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO



Vznik

I am lost! Where is the line?!

—*A Bug's Life*, Walt Disney, 1998

ACO je metaheuristika

Shrnuje poznatky ze studia společenstev různých druhů mravenců

Mnoho \mathcal{NP} -těžkých problémů, hledání optimálního řešení příliš náročné

Aproximační metody dávají řešení blízké optimálnímu

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO



Vznik

I am lost! Where is the line?!

—*A Bug's Life*, Walt Disney, 1998

ACO je metaheuristika

Shrnuje poznatky ze studia společenstev různých druhů mravenců

Mnoho \mathcal{NP} -těžkých problémů, hledání optimálního řešení příliš náročné

Aproximační metody dávají řešení blízké optimálnímu

ACO algoritmy simulují chování mravenců v přírodě

Používá množství malých výpočetních agentů, spolupracujících při hledání co nejlepšího řešení

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravenců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO



Chování mravců

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO

Hledání potravy mnoha druhů mravenců je založeno na nepřímé komunikaci zprostředkované prostředím

Feromony - mravenci mají tendenci sledovat stopu

Zpětná vazba nebo vyprchávání



Double Bridge Experiment

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge
Experiment

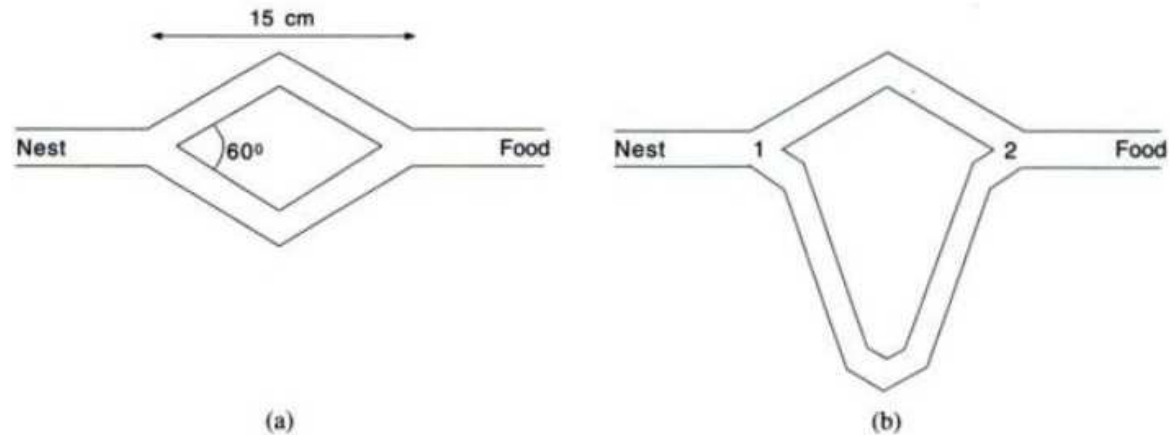
Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



Obrázek 1: a) - stejné délky, b) - různé délky

Mravenci se po čase pohybují pouze jednou cestou

Konečná cesta příliš závislá na počátečních rozhodnutích

Zůstanou u delší cesty, pokud jim kratší cestu nabídneme až později



Řešení via ACO

Problémy hledání hodnot diskrétních proměnných, objektivní funkce

Nutné přeformulovat je na problém prohledávání grafu

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO



Řešení via ACO

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO

Problémy hledání hodnot diskrétních proměnných, objektivní funkce

Nutné přeformulovat je na problém prohledávání grafu

Kolonie umělých mravenců pak problém řeší jeho náhodnými procházením

Každá procházka - kandidátní řešení, s omezeními přípustné řešení



Řešení via ACO

Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO

Problémy hledání hodnot diskretních proměnných, objektivní funkce

Nutné přeformulovat je na problém prohledávání grafu

Kolonie umělých mravenců pak problém řeší jeho náhodnými procházením

Každá procházka - kandidátní řešení, s omezeními přípustné řešení

Kolonie umělých mravenců stálým opakováním hledání, vyhodnocování a aktualizace postupně vylepšuje svou představu globálně optimálního řešení

Řešení via ACO



Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na

TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké

problémy

Trendy v ACO

Problémy hledání hodnot diskrétních proměnných, objektivní funkce

Nutné přeformulovat je na problém prohledávání grafu

Kolonie umělých mravenců pak problém řeší jeho náhodnými procházením

Každá procházka - kandidátní řešení, s omezeními přípustné řešení

Kolonie umělých mravenců stálým opakováním hledání, vyhodnocování a aktualizace postupně vylepšuje svou představu globálně optimálního řešení

Vždy konverguje

Metaheuristika



Co a proč a jak

Vznik

Chování mravců

Double Bridge

Experiment

Řešení via ACO

Metaheuristika

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Trendy v ACO

```
procedure ACO_MetaHeuristic
  while(not_termination)
    generateSolutions()
    pheromoneUpdate()
    daemonActions()
  end while
end procedure
```

Všichni současně a asynchronně projdou graf problému

Část feromonů vyprchá a na prošlé cesty jsou přidány nové

Centrálně řízené akce, které nemohou být vykonané jedním mravencem



Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

$MAX - MIN$

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

Aplikace ACO na TSP



Traveling Salesman Problem

Problém obchodního cestujícího -

Nalezení nejkratší cesty z domovského města přes množinu stanovených měst a zpět

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



Traveling Salesman Problem

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP-těžké
problémy

Trendy v ACO

Problém obchodního cestujícího -

Nalezení nejkratší cesty z domovského města přes množinu stanovených měst a zpět

Graf - úplný, města = uzly, každá cesta a_{ij} má přiřazenu váhu

Omezení - všechna města musí být navštívena právě jednou

Feromony - množství vypovídá o vhodnosti navštívení města i po j

Heuristická informace - $\mu_{ij} = 1/d_{ij}$



Ant System

Inicializace, hodnoty mírně vyšší než očekávané položené v prvních bĕzích

Mravenci náhodně rozmístĕni po uzlech grafu

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Traveling Salesman Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -tĕžké problémy

Trendy v ACO



Ant System

Inicializace, hodnoty mírně vyšší než očekávané položené v prvních bĕzích

Mravenci náhodně rozmístĕni po uzlech grafu

$$p_{i,j}^k = \frac{[\tau_{i,j}]^\alpha [\mu_{i,j}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{i,l}]^\alpha [\mu_{i,l}]^\beta} \quad (1)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX – MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -tĕžké
problĕmy

Trendy v ACO



Ant System

Inicializace, hodnoty mírně vyšší než očekávané položené v prvních bžích

Mravenci náhodně rozmístěni po uzlech grafu

$$p_{i,j}^k = \frac{[\tau_{i,j}]^\alpha [\mu_{i,j}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{i,l}]^\alpha [\mu_{i,l}]^\beta} \quad (1)$$

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j} \quad (2)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Ellitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



Ant System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP-těžké
problémy

Trendy v ACO

Inicializace, hodnoty mírně vyšší než očekávané položené v prvních bĕzích

Mravenci náhodně rozmístĕni po uzlech grafu

$$p_{i,j}^k = \frac{[\tau_{i,j}]^\alpha [\mu_{i,j}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{i,l}]^\alpha [\mu_{i,l}]^\beta} \quad (1)$$

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j} \quad (2)$$

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \sum_{k=1}^m \Delta_{i,j}^k \quad (3)$$

$$\Delta_{i,j}^k = \begin{cases} 1/C^k, & \text{pokud hrana}(i,j) \in T^k \\ 0, & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$



Ant System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP-těžké
problémy

Trendy v ACO

Inicializace, hodnoty mírně vyšší než očekávané položené v prvních bĕzích

Mravenci náhodně rozmístĕni po uzlech grafu

$$p_{i,j}^k = \frac{[\tau_{i,j}]^\alpha [\mu_{i,j}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_i^k} [\tau_{i,l}]^\alpha [\mu_{i,l}]^\beta} \quad (1)$$

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j} \quad (2)$$

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \sum_{k=1}^m \Delta_{i,j}^k \quad (3)$$

$$\Delta_{i,j}^k = \begin{cases} 1/C^k, & \text{pokud hrana}(i,j) \in T^k \\ 0, & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$

parametry α , β , ρ mají velký význam



Ellitist Ant System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Ellitist Ant System

MAX – *MIN*

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

Dodatečné položení feromonů na hrany, jež jsou součástí nejlepší do té doby známé procházky

Výsledky experimentů ukazují, že tato změna vede k nalezení lepších řešení v kratším čase



$MAX - MIN$ Ant System

$MMAS$ mění AS ve 4 hlavních bodech

- Klade velký důraz na nejlepší nalezenou cestu. Pouze v iteraci nejlepší nebo absolutně nejlepší mravenec položí feromony

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

$MAX - MIN$
Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



MAX – *MIN* Ant System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX – *MIN*
Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

MMAS mění AS ve 4 hlavních bodech

- Klade velký důraz na nejlepší nalezenou cestu. Pouze v iteraci nejlepší nebo absolutně nejlepší mravenec položí feromony
- Horní a dolní limit na množství feromonů na jedné hraně grafu



$MAX - MIN$ Ant System

$MMAS$ mění AS ve 4 hlavních bodech

- Klade velký důraz na nejlepší nalezenou cestu. Pouze v iteraci nejlepší nebo absolutně nejlepší mravenec položí feromony
- Horní a dolní limit na množství feromonů na jedné hraně grafu
- inicializace feromonových stop na horní limit, pomalejší vyprchávání

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Traveling Salesman Problem

Ant System

Elitist Ant System

$MAX - MIN$ Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP -těžké problémy

Trendy v ACO



$MAX - MIN$ Ant System

$MMAS$ mění AS ve 4 hlavních bodech

- Klade velký důraz na nejlepší nalezenou cestu. Pouze v iteraci nejlepší nebo absolutně nejlepší mravenec položí feromony
- Horní a dolní limit na množství feromonů na jedné hraně grafu
- inicializace feromonových stop na horní limit, pomalejší vyprchávání
- Reinicializace projeví-li systém stagnaci nebo pokud nebylo nalezeno lepší řešení během daného počtu iterací

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Traveling Salesman Problem

Ant System

Elitist Ant System

$MAX - MIN$ Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP -těžké problémy

Trendy v ACO



Ant Colony System

ACS rozšiřuje AS ve 3 hlavních bodech

- Agresivnější rozhodovací pravidlo pro výběr příštího uzlu

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX – *MIN*

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO



Ant Colony System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX – *MIN*

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

ACS rozšiřuje AS ve 3 hlavních bodech

- Agresivnější rozhodovací pravidlo pro výběr příštího uzlu
- Pouze nejlepší mravenec pokládá svou feromonovou stopu a pouze jeho stopa vyprchává



Ant Colony System

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX – *MIN*

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

ACS rozšiřuje AS ve 3 hlavních bodech

- Agresivnější rozhodovací pravidlo pro výběr příštího uzlu
- Pouze nejlepší mravenec pokládá svou feromonovou stopu a pouze jeho stopa vyprchává
- Snížení množství feromonů na hraně po každém kroku

Ant Colony System



Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

$MAX - MIN$

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

ACS rozšiřuje AS ve 3 hlavních bodech

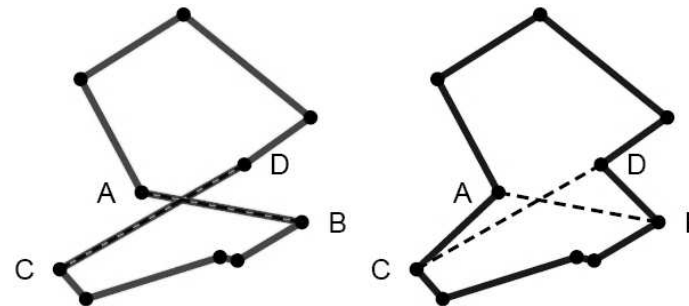
- Agresivnější rozhodovací pravidlo pro výběr příštího uzlu
- Pouze nejlepší mravenec pokládá svou feromonovou stopu a pouze jeho stopa vyprchává
- Snížení množství feromonů na hraně po každém kroku

Záporem strategie je, že vylučuje paralelní implementaci.



Local Search

Máme-li kandidátní řešení s , local search vytvoří všechna řešení s' taková, že s' vznikne z s změnou libovolných k hran libovolným možným způsobem.



Obrázek 2: 2-opt

Mravenec použije nejlepší ze všech řešení s' .

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Traveling Salesman
Problem

Ant System

Elitist Ant System

MAX - MIN

Ant System

Ant Colony System

Local Search

Jiné NP-těžké
problémy

Trendy v ACO



Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy



Sequential Ordering Problem

Hledání uspořádání prvků dané množiny.

Stejný jako TSP, některé uzly musí navíc předcházet jiným.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

**Sequential Ordering
Problem**

Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Sequential Ordering Problem

Hledání uspořádání prvků dané množiny.

Stejný jako TSP, některé uzly musí navíc předcházet jiným.

Řešení: Pokud má uzel j předcházet uzlu i , hraně (i, j) je přiřazena váha -1 , ve volbě dalšího pokračování své cesty mravenci neuvažují uzly, jejichž přidáním by porušili omezení.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Sequential Ordering Problem

Hledání uspořádání prvků dané množiny.

Stejný jako TSP, některé uzly musí navíc předcházet jiným.

Řešení: Pokud má uzel j předcházet uzlu i , hraně (i, j) je přiřazena váha -1 , ve volbě dalšího pokračování své cesty mravenci neuvažují uzly, jejichž přidáním by porušili omezení.

Celá kolonie je umístěna do počátečního uzlu.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules

- Ant-miner

Learning of
Classification Rules

- Ant-miner

Learning of
Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Sequential Ordering Problem

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO

Hledání uspořádání prvků dané množiny.

Stejný jako TSP, některé uzly musí navíc předcházet jiným.

Řešení: Pokud má uzel j předcházet uzlu i , hraně (i, j) je přiřazena váha -1 , ve volbě dalšího pokračování své cesty mravenci neuvažují uzly, jejichž přidáním by porušili omezení.

Celá kolonie je umístěna do počátečního uzlu.

Nejlepší algoritmus pro SOP (2004).



Quadratic Assignment Problem

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Quadratic Assignment Problem

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Graf, Omezení, Feromonová stopa.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Quadratic Assignment Problem

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Graf, Omezení, Feromonová stopa.

Heuristická informace $\mu_i = 1/d_i$, d_i je součet vzdáleností z místa i do ostatních míst.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Quadratic Assignment Problem

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Graf, Omezení, Feromonová stopa.

Heuristická informace $\mu_i = 1/d_i$, d_i je součet vzdáleností z místa i do ostatních míst.

Konstrukce řešení Seřazení facilit, v každém kroku mravenci vybranou hranou umístí jedno zařízení

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Quadratic Assignment Problem

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules - Ant-miner

- Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

- Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Graf, Omezení, Feromonová stopa.

Heuristická informace $\mu_i = 1/d_i$, d_i je součet vzdáleností z místa i do ostatních míst.

Konstrukce řešení Seřazení facilit, v každém kroku mravenci vybranou hranou umístí jedno zařízení

Aktualizace feromonových stop Kvalita podle

$$f = \sum_i^n \sum_j^n a_{ij} b_{\pi_i \pi_j}$$



Quadratic Assignment Problem

Problém přiřazení prvků z množiny *locations* prvkům z množiny *facilities*.

Graf, Omezení, Feromonová stopa.

Heuristická informace $\mu_i = 1/d_i$, d_i je součet vzdáleností z místa i do ostatních míst.

Konstrukce řešení Seřazení facilit, v každém kroku mravenci vybranou hranou umístí jedno zařízení

Aktualizace feromonových stop Kvalita podle

$$f = \sum_i^n \sum_j^n a_{ij} b_{\pi_i \pi_j}$$

Jeden z nejlepších algoritmů.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Úloha vyvozování pravidel z množiny faktů.

IF <term1,term2,...> THEN

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem
Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem
Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner
Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

AntNet
AntNet
AntNet
AntNet

Trendy v ACO

Úloha vyvozování pravidel z množiny faktů.

IF <term1,term2,...> THEN

Příklad :

(Brno, 30.11, 2003, rainy)

(Brno, 30.11, 2004, rainy)

(Brno, 30.11, 2005, sunny)

(Brno, 30.11, 2006, rainy)



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem
Quadratic
Assignment
Problem

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

Learning of
Classification Rules
- Ant-miner
Learning of
Classification Rules
- Ant-miner

AntNet
AntNet
AntNet
AntNet

Trendy v ACO

Úloha vyvozování pravidel z množiny faktů.

IF<term1,term2,...>THEN

Příklad :

(Brno, 30.11, 2003, rainy)

(Brno, 30.11, 2004, rainy)

(Brno, 30.11, 2005, sunny)

(Brno, 30.11, 2006, rainy)

IF<Brno,30.11>THEN<rainy>



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Podobný AS, ale používá pouze jednoho mravence.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Podobný AS, ale používá pouze jednoho mravence.

Graf Uzel pro každý možný term a jeden startovní.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Sequential Ordering
Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Podobný AS, ale používá pouze jednoho mravence.

Graf Uzel pro každý možný term a jeden startovní.

Omezení Pravidle obsahuje atribut nejvýše jednou a každé pravidlo obsahuje minimální počet atributů.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Podobný AS, ale používá pouze jednoho mravence.

Graf Uzel pro každý možný term a jeden startovní.

Omezení Pravidle obsahuje atribut nejvýše jednou a každé pravidlo obsahuje minimální počet atributů.

Feromonová stopa, Heuristická informace μ_{ij} podle rovnic 5, 6

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Podobný AS, ale používá pouze jednoho mravence.

Graf Uzel pro každý možný term a jeden startovní.

Omezení Pravidle obsahuje atribut nejvýše jednou a každé pravidlo obsahuje minimální počet atributů.

Feromonová stopa, Heuristická informace μ_{ij} podle rovnic 5, 6

$$h(B|a_i = v_{ij}) = - \sum_{b=1}^l P(b|a_i = v_{ij}) \cdot \log_2 P(B|a_i = v_{ij}) \quad (5)$$

$$\mu_{ij} = \frac{\log_2 l - h(B|a_i = v_{ij})}{\sum_{j=1}^{f_i} \log_2 l - h(B|a_i = v_{ij})} \quad (6)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Konstrukce řešení Mravenec začíná s prázdným pravidlem a postupně přidává termy podle rozhodovacího pravidla stejného jako v AS s pravděpodobností popsanou rovnicí 7.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Konstrukce řešení Mravenec začíná s prázdným pravidlem a postupně přidává termy podle rozhodovacího pravidla stejného jako v AS s pravděpodobností popsanou rovnicí 7.

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^n (x_i \sum_{j=1}^{f_i} (\tau_{ij}\mu_{ij}))} \quad (7)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Konstrukce řešení Mravenec začíná s prázdným pravidlem a postupně přidává termy podle rozhodovacího pravidla stejného jako v AS s pravděpodobností popsanou rovnicí 7.

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^n (x_i \sum_{j=1}^{f_i} (\tau_{ij}\mu_{ij}))} \quad (7)$$

Čištění pravidla Speklativní odstraňování termů a vyhodnocování kvality pravidla bez nich, podle funkce 8, hledání termu jehož odstraněním se kvalita zvýší nejvíce, proces se opakuje

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Konstrukce řešení Mravenec začíná s prázdným pravidlem a postupně přidává termy podle rozhodovacího pravidla stejného jako v AS s pravděpodobností popsanou rovnicí 7.

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^n (x_i \sum_{j=1}^{f_i} (\tau_{ij}\mu_{ij}))} \quad (7)$$

Čištění pravidla Speklativní odstraňování termů a vyhodnocování kvality pravidla bez nich, podle funkce 8, hledání termu jehož odstraněním se kvalita zvýší nejvíce, proces se opakuje

$$f(rule) = \frac{TP}{TP + FN} \cdot \frac{TN}{FP + TN} \quad (8)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Learning of Classification Rules - Ant-miner

Konstrukce řešení Mravenec začíná s prázdným pravidlem a postupně přidává termy podle rozhodovacího pravidla stejného jako v AS s pravděpodobností popsanou rovnicí 7.

$$p_{ij} = \frac{\tau_{ij}\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^n (x_i \sum_{j=1}^{f_i} (\tau_{ij}\mu_{ij}))} \quad (7)$$

Čištění pravidla Speklativní odstraňování termů a vyhodnocování kvality pravidla bez nich, podle funkce 8, hledání termu jehož odstraněním se kvalita zvýší nejvíce, proces se opakuje

$$f(rule) = \frac{TP}{TP + FN} \cdot \frac{TN}{FP + TN} \quad (8)$$

Aktualizace feromonových stop Množství podle f (8)

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

Srovnatelný s OSPF, SPF, BF, Daemon, *dopřední* mravenci s náhodně zvoleným cílem, podle současného datového provozu, nechá mravence najít si cestu.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

Srovnatelný s OSPF, SPF, BF, Daemon, *dopřední* mravenci s náhodně zvoleným cílem, podle současného datového provozu, nechá mravence najít si cestu.

$$p_{sd} = \frac{f_{sd}}{\sum_{i=1}^n f_{si}}, \quad f_{sd} \text{ je datový tok v bitech z } s \text{ do } d \quad (9)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

Srovnatelný s OSPF, SPF, BF, Daemon, *dopřední* mravenci s náhodně zvoleným cílem, podle současného datového provozu, nechá mravence najít si cestu.

$$p_{sd} = \frac{f_{sd}}{\sum_{i=1}^n f_{si}}, \quad f_{sd} \text{ je datový tok v bitech z } s \text{ do } d \quad (9)$$

Každý uzel linkám vlastní feromony π_{ijd} , rozlišuje nejen mezi tím, které lince k sousednímu uzlu feromony patří, ale i jaké cesty, určené cílovým uzlem, je linka součástí, udržuje lokální model sítě $(\nu_{id}, \sigma_{id}, \mathcal{W}_{id})$.

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

ν_{id} průměr délek trvání několika posledních cest, σ_{id} kolísání, W_{id} nejlepší cesta, k dispozici pouze délka trvání cesty

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

Learning of Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

ν_{id} průměr délek trvání několika posledních cest, σ_{id} kolísání, \mathcal{W}_{id} nejlepší cesta, k dispozici pouze délka trvání cesty

$$\nu_{id} \leftarrow \nu_{id} + \varsigma(o_{i \rightarrow d} - \nu_{id}), \quad (10)$$

váha k -té doby po j aktualizacích je potom $\varsigma(1 - \varsigma)^{j-k}$,

$$\sigma_{id}^2 \leftarrow \sigma_{id}^2 + \varsigma((o_{i \rightarrow d} - \nu_{id})^2 - \sigma_{id}^2) \quad (11)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

2 prioritní skupiny paketů: *a)* datové pakety a dopřední mravenci, *b)* zpětní mravenci

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

2 prioritní skupiny paketů: *a)* datové pakety a dopřední mravenci, *b)* zpětní mravenci

Co nejkratší cestu z vytvářejícího uzlu do cílového. Stejně jako data. Užívají feromonovou stopu, heuristickou informaci a svoji paměť.

Heuristická informace počítána rovnicí 12

$$\mu_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{l=1}^{|\mathcal{N}_i|} q_{il}}, \quad q_{ij} \quad (12)$$

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO



AntNet

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic

Assignment

Problem

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

Learning of

Classification Rules

- Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO

2 prioritní skupiny paketů: *a)* datové pakety a dopřední mravenci, *b)* zpětní mravenci

Co nejkratší cestu z vytvářejícího uzlu do cílového. Stejně jako data. Užívají feromonovou stopu, heuristickou informaci a svojí paměť.

Heuristická informace počítána rovnicí 12

$$\mu_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{l=1}^{|\mathcal{N}_i|} q_{il}}, \quad q_{ij} \quad (12)$$

Informace o hustotě provozu, ukládá identifikátory uzlů a pamatuje si, jak dlouho je na cestě.



AntNet

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

AntNet

Trendy v ACO

2 prioritní skupiny paketů: *a*) datové pakety a dopřední mravenci, *b*) zpětní mravenci

Co nejkratší cestu z vytvářejícího uzlu do cílového. Stejně jako data. Užívají feromonovou stopu, heuristickou informaci a svojí paměť.

Heuristická informace počítána rovnicí 12

$$\mu_{ij} = \frac{q_{ij}}{\sum_{l=1}^{|\mathcal{N}_i|} q_{il}}, \quad q_{ij} \quad (12)$$

Informace o hustotě provozu, ukládá identifikátory uzlů a pamatuje si, jak dlouho je na cestě.

Zpáteční režim, vyšší priorita, aktualizace feromonů, lokálních modelů a oznámí identifikátorů uzlů. Zničen



AntNet

Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné NP-těžké problémy

Sequential Ordering Problem

Quadratic Assignment Problem

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

Learning of Classification Rules - Ant-miner

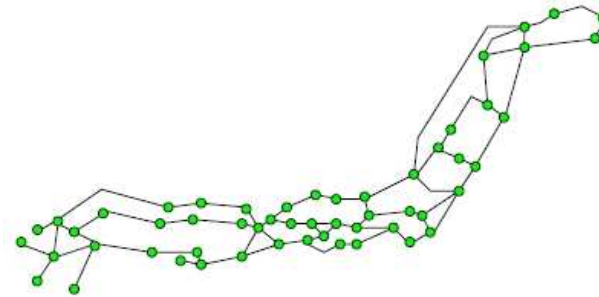
AntNet

AntNet

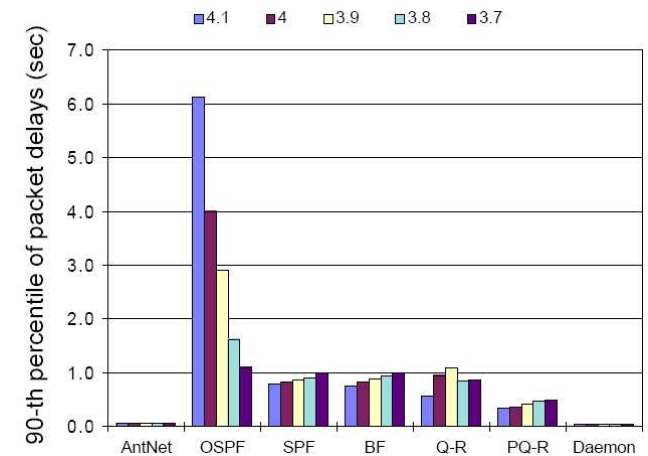
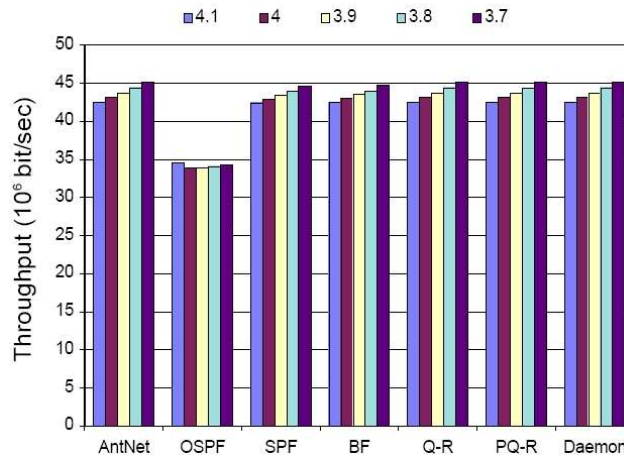
AntNet

AntNet

Trendy v ACO



Model páteřní sítě japonské společnosti NTT.



NTTnet: experimentální srovnání přenosové rychlosti a zpoždění AntNetu s ostatními směrovacími algoritmy.



Co a proč a jak

Aplikace ACO na
TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké
problémy

Trendy v ACO

Budoucnost

Trendy v ACO

Budoucnost



Co a proč a jak

Aplikace ACO na TSP

Jiné \mathcal{NP} -těžké problémy

Trendy v ACO

Budoucnost

ACO algoritmy při řešení akademických problémů stejně dobré jako ty nejlepší v současnosti dostupné.

Komerční aplikace Dyvoil, AntRoute, jiné

Budoucí výzkum by se měl zaměřit na :
paralelizaci, multiobjektivní problémy, stochastické objektivní fce

www.aco-metaheuristics.org

