

Ant colony optimization (ACO)

BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY, CLUJ NAPOCA, ROMÂNIA
FACULTY OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

March 21, 2022

Agenda

- Aspecte teoretice
- Algoritm
- Exemplu
- Proprietati
- Aplicatii

State-of-the-art

- Furnicile au un comportament social ce influenteaza in mod direct cautarea unui drum intre cuib si sursa de hrana
- Acest comportament se remarca prin:
 - o activitate/munca colectiva aproape perfect coordonata indiferent de dimensiunea populatiei (cateva sau milioane de furnici)
 - diviziunea muncii
 - interactiune sociala complexa
- Coloni si Dorigo (1991) propun un algoritm inspirat din acest comportament pentru rezolvarea problemelor de optimizari ca si alternativa a algoritmilor genetici (AG)

State-of-the-art

- ACO face parte din familia de algoritmi ce implica o cautare **cooperativa**, ghidata de calitatea **relativa** a indivizilor.
- ACO presupune de asemenea si cautare **constructiva** - se porneste de la o solutie initiala, si se adauga elemente in solutie la fiecare iteratie.

Elemente speciale

- ACO are nevoie de transformarea problemei de optimizare intr-o problema de identificare a drumului optim intr-un graf.
- **De ce ?**
 - Furnicile vor construi solutia plimbandu-se prin graf si depunand pe muchii
- **Cum ?**
 - Colonii de furnici care cauta solutia optima prin intermediul cooperarii
 - Diferente cu **AG**: avem populatii de cromozomi care sunt in competitie.
 - **cooperare** vs **competitie**

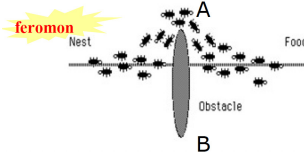
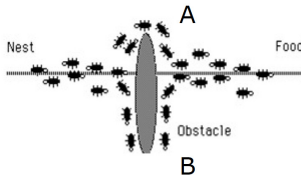
Elemente speciale

- **Ce face o furnica ?**
 - Se deplaseaza in spatiul de cautare, lasand in urma sa o cantitate de feromon
 - Retine drumul parcurs (memorie proprie)
 - Alege drumul pe care sa-l urmeze in functie de:
 - feromonul existent pe drum
 - euristica asociata acelu drum
 - Foloseste feromonul ca si mecanism de comunicare si cooperare astfel incat:
 - acesta are o intensitate corelata cu calitatea solutiei
 - se evapora odata cu trecerea timpului

Furnici naturale

Ne putem imagina cum:

- O colonie de furnici pleaca in cautarea hranei
- In drumul lor apare in obstacol ce implica aparitia a doua rute, **A** respectiv **B**.
- Conform imaginii de mai jos ruta A este mai scurta, astfel ca furnicile de pe acel drum il vor parcurge de mai multe ori (ture), deci vor lasa mai multe feromon.
- Concentratia de feromon de pe ruta A va creste mai accelerat decat pe ruta B, astfel ca dupa cateva parcurgeri furnicile de pe ruta B vor alege ruta A
- Dupa un anumit numar de parcurgeri datorita concentratiei de feromon care creste pe ruta A si descreste pe ruta B, toate furnicile vor folosi ruta A.



Furnici artificiale

Asemanarile furnicilor artificiale cu cele reale:

- navigheaza de la o sursa catre o destinatie
- descopera drumul cel mai scurt pe baza concentratiei de feromon, tinand cont ca:
 - poate executa miscari aleatoare
 - depoziteaza feromon pe drumul parcurs
 - poate detecta drumul urmat de o anumita furnica (sefa), incliand sa-l urmeze
 - persistand feromon pe un drum, automat creste probabilitatea ca acel drum sa fie urmat si de alte furnici

Furnici artificiale

Imbunatatiri ale furnicilor artificiale fata de cele reale:

- au memorie (retin actiunile efectuate sub forma unui istoric)
- nu sunt complet oarbe, pentru ca pot aprecia calitatea spatiului vecin
- depun feromon si in functie de calitatea solutiei identificate

Feromon

In reprezentarea artificiala feromonul are rolul unei memorii **colective dinamice distribuita** intre furnici, unde sunt inmagazinate cele mai recente experiente de cautare a solutiei de catre furnici.

Putem spune ca furnicile **pot comunica indirect si se pot influenta reciproc prin acest mecanism** in vederea obtinerii solutiei dorite.

Descriere generala

- ① Initializare (cu valori random)
- ② Cat timp nu s-a parcurs numarul necesar de pasi pentru identificarea solutiei, fiecare furnica:
 - executa o mutare
 - modifica local urma de feromon corespunzator ultimului element adaugat in solutie
- ③ Se modifica urma de feromon de pe drumurile parcurse, fie de toate furnicile, fie de cea mai buna furnica
- ④ Se returneaza solutia gasita de cea mai buna furnica

Versiuni ACO

Exista 3 versiuni principale in functie de:

- Regulile de deplasare a furnicilor
- Momentul la care furnicile depun feromon (**pe parcursul constructiei solutiei** vs **la sfarsitul crearii unei solutii**)
- Cine depune feromonul: **toate furnicile** vs **cea mai buna furnica**

Versiuni ACO

① AS - Ant system

- **Toate** furnicile depun feromon **dupa** construirea unei solutii **complete** (modificare globala colectiva)

② MMAS - MaxMin Ant System

- doar **cea mai buna** furnica depune feromon **dupa** construirea unei solutii **complete** (modificare globala a liderului)
- feromonul este **limitat** la un interval dat

③ ACO - Ant Colony System

- **toate** furnicile depun feromon **la fiecare pas** in constructia solutiei (modificare locala colectiva)
- doar **cea mai buna** furnica depune feromon dupa construirea unei solutii complete (modificarea globala a liderului)

Problema comisului voiajor

Sa se gaseasca un drum care sa treaca prin n orase, astfel incat costul sa fie minim si fiecare oras sa fie vizitat o singura data.

Structura de date: graf unde nodurile reprezinta orasele, iar drumurile dintre orase sunt encodeate ca si muchii intre nodurile corespondente.

Initializare

- $t := 0$ (timpul)
- fiecare muchie (i, j) este initializata cu:

$$\gamma_{ij}^{(t)} = c$$

(intensitatea urmei de feromon pe muchia (i, j) la momentul t)

$$\Delta\gamma_{ij} = 0$$

(cantitatea de feromon lasata pe muchia (i, j) de catre toate furnicile)

- pornim cu m furnici plasate aleaturi pe cele n noduri ($m \leq n$)
- fiecare furnica isi modifica memoria (lista de noduri vizitate), adaugand in lista nodul din care pleaca in cautare.

Parcurgere

Pentru un numar de pasi **n**, fiecare furnica **k** din colonie:

- isi marestea solutia partiala cu un element (executa o mutare), alegand un oras (*i*) fiind positionata pe orasul *i* astfel:

$$j = \begin{cases} \operatorname{argmax}_{l \in \text{permis}_k} \{[\gamma_{il}]^\alpha [\eta_{il}]^\beta\}, & q \leq q_0 \\ J, & \text{altfel} \end{cases}$$

- unde:
 - q - numar aleator uniform distribuit in $[0, 1]$ s
 - q_0 - parametru, $0 \leq q_0 \leq 1$ ($q_0 = 0$ pentru AS/MMAS, altfel pentru ACO)
 - J este un oras selectat cu probabilitatea:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\gamma_{ij}^{(t)}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{s \in \text{permis}_k(t)} [\gamma_{is}^{(t)}]^\alpha [\eta_{is}]^\beta}, & j \in \text{permis} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases}$$

Parcurs

Pentru un numar de pasi **n**, fiecare furnica **k** din colonie:

- **J** este un oras selectat cu probabilitatea:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\gamma_{ij}^{(t)}]^\alpha [\eta_{ij}^{(t)}]^\beta}{\sum_{s \in \text{permis}_k(t)} [\gamma_{ij}^{(t)}]^\alpha [\eta_{ij}^{(t)}]^\beta}, j - \text{permis} \\ 0, \text{altfel} \end{cases}$$

- unde:

- $p_{ij}^k(t)$ - probabilitatea de tranzitie a furnicii **k** situatia in orasul **i** spre orasul **j**
- $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ - vizilitatea din orasul **i** spre orasul **j** (distanța)
- permis_k - orasele pe care le mai poate vizita a **k** furnica la momentul **t**
- α - controleaza importanta urmei/feromonului (cate furnici au mai trecut prin muchia respectiva)
- β - controleaza importanta vizibilitatii (cat de aproape se afla urmatorul oras)

Persistarea feromonului

Dupa ce o furnica k isi marestre solutia partiala cu un element (executa o mutare), se modifica local urma de feromon lasata de fiecare furnica pe ultimul element adaugat in solutie.

$$\gamma_{ij}^{(t+1)} = (1 - \varphi)\gamma_{ij}^{(t)} + \varphi * \gamma_0$$

unde:

- φ - coeficient de degradare a feromonului cu valori intre $[0, 1]$.
 $\varphi = 0 \rightarrow$ AS/MMAS, altfel ACO
- γ_0 - valoarea initiala a feromonului
- (i, j) - ultima muchie parcursa de furnica

Persistarea feromonului

Feromonul se modifica:

- pe drumurile parcurse de toate furnicile (**AS**)
- pe cel mai bun drum (**ACO**)
- pe cel mai bun drum pacurs de cea mai buna furnica (**MMAS**)

Persistarea feromonului - AS

(**AS**) - pe drumurile parcurse de toate furnicile, pentru fiecare muchie:

- se calculeaza cantitatea unitara de feromon lasat de a k furnica pe muchia ij :

$$\Delta\gamma_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{daca a } k \text{ furnica a folosit muchia } (i, j) \\ 0, & \text{altfel} \end{cases}$$

- unde
 - Q - cantitatea de feromon lasata de o furnica
 - L_k - lungimea (costului) turul efectuat de a k -a furnica
- cantitatea totala de feromon de pe muchia (ij) se calculeaza:

$$\Delta\gamma_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\gamma_{ij}^k$$

- intensitatea urmei de feromoni se calculeaza ca suma intre evaporarea feromonilor vechi si feromonul nou lasat:

$$\gamma_{ij}^{(t+n)} = (1 - \varphi) * \gamma_{ij}^{(t)} + \Delta\gamma_{ij}$$

Persistarea feromonului - AS

(**ACO-MMAS**) - cel mai bun drum:

- se calculeaza cantitatea unitara de feromon lasat de cea mai buna furnica pe muchia ij :

$$\Delta\gamma_{ij} = \frac{1}{L_{best}}$$

- unde
 - L_{best} - lungimea (costul) celui mai bun drum:
 - din iteratia curenta
 - din toate iteratiile executate pana atunci
- cantitatea totala de feromon de pe muchia (ij) se calculeaza:

$$\Delta\gamma_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\gamma_{ij}^k$$

- intensitatea urmei de feromoni:

$$\gamma_{ij}^{(t+n)} = [(1 - \varphi) * \gamma_{ij}^{(t)} + \varphi * \Delta\gamma_{ij}^{best}] \gamma_{min}^{\gamma_{max}}$$

- unde φ ($0 < \varphi < 1$) - coeficientul de evaporare a urmei de feromon intre 2 cururi complete
- γ_{min} si γ_{max} - limitele feromonului, $\gamma_{min} \rightarrow -\infty$, $\gamma_{max} \rightarrow \infty$ pentru ACO, altfel MMAS

Proprietati

- Algoritm iterativ, stocastic
- Algoritm care construiește progresiv soluția pe baza informațiilor euristice și a urmei de feromoni

Avantaje

- soluție compatibilă cu modificări dinamice în timp real a datelor de intrare
- Euristică greedy ajustează la găsirea unei soluții acceptabile încă din primele stadii ale căutării
- calculul distribuit evită convergența prematură, prin interacțiunea colectivă a indivizilor

Dezavantaje

- Converge încet față de alte căutări euristice
- Eficiența scăzută pentru exemple cu mai mult de 75 de orașe în problema comisului-voiajor
- Inexistența unui mecanism central de ghidare către soluțiile bune

Aplicatii

- Probleme de identificare al unui drum optim in grafe
- Probleme de optimizari in retele
- Probleme de transport

Referinte

Informatiile prezentate au fost colectate din diferite surse, cea mai importanta dintre ele fiind:

- Prof. Dr. Diosan Laura - [Inteligenta artificiala 2021-2022](#)