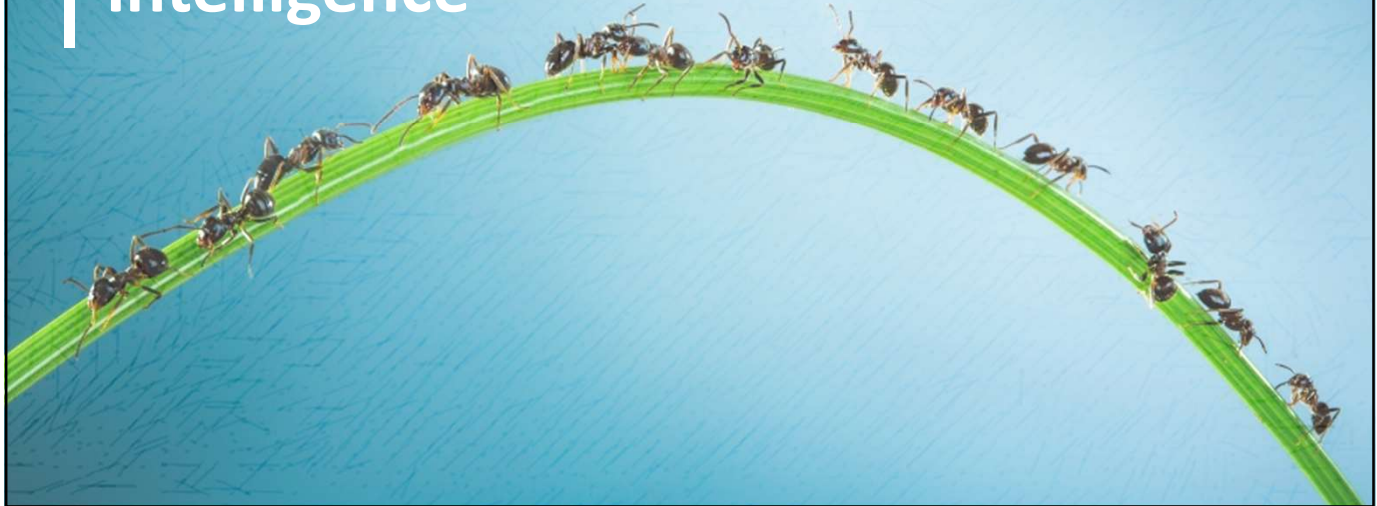


Swarm Intelligence

Kecerdasan Komputasional

Dr. Indah Agustien S.,S.Kom., M.Kom.
Universitas Trunojoyo Madura



1

Swarm Intelligence Content

1 **Swarm Intelligence**

2 **Particle Swarm Optimization**

3 **Ant Colony Optimization**

2

Ant Colony Optimization

Koloni semut yang bekerjasama untuk mencari sumber makanan

Menghasilkan rute terpendek antara sarang dengan sumber makanan

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

3

Ant Colony Optimization

Pencarian Sumber Makanan :

1

Semut bergerak secara acak dari sarang semut menuju sumber makanan

2

Ketika semut menemukan makanan, dan membawa makanan kembali ke dalam sarang, mereka akan meletakkan **pheromone** di rute yang mereka tempuh

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

4

Ant Colony Optimization

3

Semut lain akan berjalan sesuai dengan konsentrasi pheromone yang tertinggal, semakin besar konsentrasi semakin menarik semut untuk menempuh rute tersebut

4

Pheromone mengalami penguapan

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

5

Ant Colony Optimization

5

Semakin dekat rute, maka pheromone tidak akan cepat menguap, sebaliknya semakin jauh rute maka pheromone akan semakin cepat menguap

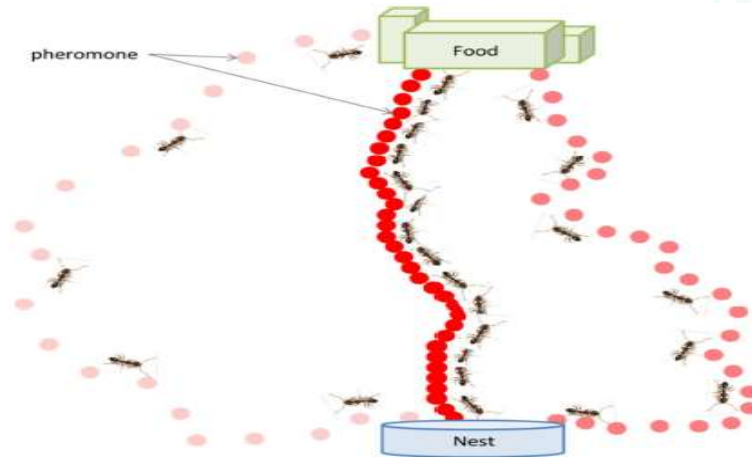
6

Oleh karena itu akan semakin banyak semut yang menempuh rute terpendek (yang memiliki konsentrasi pheromone terbesar), sehingga semakin banyak lagi pheromone yang akan ditinggalkan di rute terpendek tersebut

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

6

Ant Colony Optimization



Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

7

Algoritma Ant Colony Optimization

Tahapan utama Algoritma ACO :

Pembentukan Kandidat Solusi

Update Konsentrasi Pheromone

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

8

Pembentukan Kandidat Solusi

Semut akan memilih rute berdasarkan probabilitas masing-masing rute, yang dipengaruhi oleh pheromone rute

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha \eta_{iu}^\beta}$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

9

Pembentukan Kandidat Solusi

- $p_{ij}^k(t)$: probabilitas path ij , dari semut ke- k di iterasi ke- t
- τ_{ij}^α : informasi posterior keefektifan suatu path ij , atau disebut juga intensitas pheromone pada path ij .
- η_{ij}^β : informasi prior keefektifan suatu path ij , $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$
- α, β : derajat pheromone dan derajat informasi prior
- N_i^k : node yang mungkin ditempuh oleh semut ke- k

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

10

Update Konsentrasi Pheromone

Update Pheromone terdapat proses evaporasi (penguapan), semakin jauh maka pheromone semakin cepat menguap .

Evaporasi Phermone :

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t)$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

11

Update Konsentrasi Pheromone

Update Pheromone :

$$\tau_{ij}(t + 1) = \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{n_k} \Delta_{ij}^k(t)$$

dimana :

$$\begin{aligned} \Delta_{ij}^k(t) &= \frac{Q}{f(x^k(t))} ; (i,j) \text{ terdapat di rute } x^k(t) \\ &= 0 ; \text{selainnya} \end{aligned}$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

12

Update Konsentrasi Pheromone

Q : nilai konstant

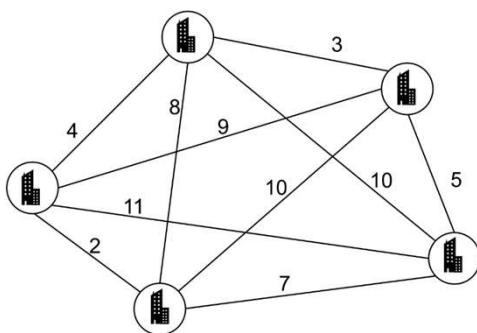
$f(x^k(t))$: fungsi fitness dari rute yang lengkap yang ditempuh oleh semut ke- k pada iterasi ke- t

$\Delta_{ij}^k(t)$: berbanding terbalik dengan nilai fitness, semakin jauh jarak rute lengkap maka semakin kecil nilai delta, sehingga konsentrasi pheromone akan semakin kecil

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

13

Travelling Salesman Problem



Jumlah semut = 2

$\alpha = 1; \beta = 1$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

14

Traveling Salesman Problem

Inisialisasi Konsentrasi Pheromone :

τ_{ij}	A	B	C	D	E
A	$\tau_{a,a} = 0$	$\tau_{a,b} = 0.01$	$\tau_{a,c} = 0.01$	$\tau_{a,d} = 0.01$	$\tau_{a,e} = 0.01$
B	$\tau_{b,a} = 0.01$	$\tau_{b,b} = 0$	$\tau_{b,c} = 0.01$	$\tau_{b,d} = 0.01$	$\tau_{b,e} = 0.01$
C	$\tau_{c,a} = 0.01$	$\tau_{c,b} = 0.01$	$\tau_{c,c} = 0$	$\tau_{c,d} = 0.01$	$\tau_{c,e} = 0.01$
D	$\tau_{d,a} = 0.01$	$\tau_{d,b} = 0.01$	$\tau_{d,c} = 0.01$	$\tau_{d,d} = 0$	$\tau_{d,e} = 0.01$
E	$\tau_{e,a} = 0.01$	$\tau_{e,b} = 0.01$	$\tau_{e,c} = 0.01$	$\tau_{e,d} = 0.01$	$\tau_{d,e} = 0$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

15

Traveling Salesman Problem

Hitung Informasi Prior, $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

η_{ij}	A	B	C	D	E
A	$\eta_{a,a} = 0$	$\eta_{a,b} = 0.25$	$\eta_{a,c} = 0.11$	$\eta_{a,d} = 0.09$	$\eta_{a,e} = 0.5$
B	$\eta_{b,a} = 0.25$	$\eta_{b,b} = 0$	$\eta_{b,c} = 0.33$	$\eta_{b,d} = 0.1$	$\eta_{b,e} = 0.125$
C	$\eta_{c,a} = 0.11$	$\eta_{c,b} = 0.33$	$\eta_{c,c} = 0$	$\eta_{c,d} = 0.2$	$\eta_{c,e} = 0.1$
D	$\eta_{d,a} = 0.09$	$\eta_{d,b} = 0.1$	$\eta_{d,c} = 0.2$	$\eta_{d,d} = 0$	$\eta_{d,e} = 0.14$
E	$\eta_{e,a} = 0.5$	$\eta_{e,b} = 0.125$	$\eta_{e,c} = 0.1$	$\eta_{e,d} = 0.14$	$\eta_{d,e} = 0$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

16

Traveling Salesman Problem

Misalkan semut ke-1 , dimulai dari kota A, sedangkan semut ke-2 dari kota B, dan semut ke-3 dari kota C, maka buat rute untuk masing-masing semut, sehingga semua kota terlewati

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

17

Traveling Salesman Problem

Semut 1, dari kota A

Hitung total probabilitas kota yang mungkin dapat dikunjungi dari kota-A

$$\begin{aligned}
 Total &= \sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha \eta_{iu}^\beta \\
 &= \tau_{a,b} \eta_{a,b} + \tau_{a,c} \eta_{a,c} + \tau_{a,d} \eta_{a,d} + \tau_{a,e} \eta_{a,e} \\
 &= 0.01 \times 0.25 + 0.01 \times 0.11 + 0.01 \times 0.09 + 0.01 \times 0.5 = 0.00952
 \end{aligned}$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

18

Traveling Salesman Problem

Hitung probabilitas masing-masing rute yang mungkin ditempuh dari kota-A

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha \eta_{iu}^\beta}$$

$$p_{ab}^1(1) = \frac{\tau_{a,b} \eta_{a,b}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.25}{0.00952} = 0.262599$$

$$p_{ac}^1(1) = \frac{\tau_{a,c} \eta_{a,c}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.11}{0.00952} = 0.116711$$

$$p_{ad}^1(1) = \frac{\tau_{a,d} \eta_{a,d}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.09}{0.00952} = 0.095491$$

$$p_{ae}^1(1) = \frac{\tau_{a,e} \eta_{a,e}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.5}{0.00952} = 0.525199$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

19

Traveling Salesman Problem

Hitung probabilitas masing-masing rute yang mungkin ditempuh dari kota-A

$$p_{ad}^1(1) = \frac{\tau_{a,d} \eta_{a,d}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.09}{0.00952} = 0.095491$$

$$p_{ae}^1(1) = \frac{\tau_{a,e} \eta_{a,e}}{Total}$$

$$= \frac{0.01 \times 0.5}{0.00952} = 0.525199$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

20

Traveling Salesman Problem

Hitung komulatif masing-masing rute :

$$\begin{aligned}
 k_{ab} &= 0.262599 \\
 k_{ac} &= 0.262599 + 0.116711 = 0.37931 \\
 k_{ad} &= 0.37931 + 0.095491 = 0.474801 \\
 k_{ae} &= 0.474801 + 0.525199 = 1
 \end{aligned}$$

Misalkan bilangan acak yang dibangkitkan adalah 0.7, maka rute yang dipilih adalah 'E'

Traveling Salesman Problem

Cari kemungkinan kota-kota yang dapat dilalui dari kota

E

$$\begin{aligned}
 Total &= \sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^{\alpha} \eta_{iu}^{\beta} \\
 &= \tau_{e,b} \eta_{e,b} + \tau_{e,c} \eta_{e,c} + \tau_{e,d} \eta_{e,d} + \\
 &= 0.01 \times 0.125 + 0.01 \times 0.1 + 0.01 \times 0.14 = 0.003678 \\
 p_{ij}^k(t) &= \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^{\alpha} \eta_{iu}^{\beta}} \\
 p_{eb}^1(1) &= \frac{\tau_{e,b} \eta_{e,b}}{Total} \\
 &= \frac{0.01 \times 0.125}{0.003678} = 0.339806 \\
 p_{ec}^1(1) &= \frac{\tau_{e,c} \eta_{e,c}}{Total} \\
 &= \frac{0.01 \times 0.1}{0.003678} = 0.27184 \\
 p_{ed}^1(1) &= \frac{\tau_{e,d} \eta_{e,d}}{Total} \\
 &= \frac{0.01 \times 0.14}{0.003678} = 0.38835
 \end{aligned}$$

Traveling Salesman Problem

Hitung komulatif

$$\begin{aligned} k_{eb} &= 0.339806 \\ k_{ec} &= 0.339806 + 0.27184 = 0.61165 \\ k_{ed} &= 0.61165 + 0.38835 = 1 \end{aligned}$$

Misalkan bilangan acak yang dibangkitkan adalah 0.2, maka kota berikutnya adalah **B**.

Oleh karena itu rute yang sudah ditempuh semut 1, adalah **A-E-B**

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

23

Traveling Salesman Problem

Cari kota yang dapat ditempuh dari kota 'B'

$$\begin{aligned} Total &= \sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha \eta_{iu}^\beta \\ &= \tau_{b,c} \eta_{b,c} + \tau_{b,d} \eta_{b,d} + \\ &= 0.01 \times 0.33 + 0.01 \times 0.1 = 0.00433 \\ p_{ij}^k(t) &= \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha \eta_{iu}^\beta} \\ p_{bc}^1(1) &= \frac{\tau_{b,c} \eta_{b,c}}{Total} \\ &= \frac{0.01 \times 0.33}{0.00433} = 0.769231 \\ p_{bd}^1(1) &= \frac{\tau_{b,d} \eta_{b,d}}{Total} \\ &= \frac{0.01 \times 0.1}{0.00433} = 0.230769 \end{aligned}$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

24

Traveling Salesman Problem

Hitung komulatif :

$$\begin{aligned} k_{bc} &= 0.769231 \\ k_{bd} &= 0.769231 + 0.230769 = 1 \end{aligned}$$

Misalkan bilangan yang dibangkitkan adalah 0.9, maka kota yang dipilih adalah D.

Oleh karena itu rute yang dipilih adalah :

A-E-B-D

Kota terakhir yang belum dikunjungi adalah C, oleh karena itu path yang ditempuh

oleh semut-1, adalah :

A-E-B-D-C

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

25

Traveling Salesman Problem

Hitung Δ_{ij} untuk update konsentrasi pheromone

Karena Jarak AEBDC = AE+EB+BD+DC = 25

$$\text{Maka } \Delta_{AEBDC} = \frac{1}{25} = 0.04$$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

26

Traveling Salesman Problem

Cari rute untuk semut ke-2 dan semut ke-3

Misalkan rute dari semut ke-2 adalah :

B-C-D-E-A

sehingga $\Delta_{BCDEA} = \frac{1}{17} = 0.058824$

Misalkan rute dari semut ke-3 adalah :

C-B-E-A-D

sehingga $\Delta_{CBEAD} = \frac{1}{16} = 0.0625$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

27

Traveling Salesman Problem

Update konsentrasi pheromone, untuk digunakan pada iterasi berikutnya :

τ_{ij}	A	B	C	D	E
A	$\tau_{a,a} = 0$	$\tau_{a,b} = 0.005$	$\tau_{a,c} = 0.005$	$\tau_{a,d} = 0.005$	$\tau_{a,e} = 0.10751$
B	$\tau_{b,a} = 0.0675$	$\tau_{b,b} = 0$	$\tau_{b,c} = 0.0638$	$\tau_{b,d} = 0.045$	$\tau_{b,e} = 0.005$
C	$\tau_{c,a} = 0.005$	$\tau_{c,b} = 0.068$	$\tau_{c,c} = 0$	$\tau_{c,d} = 0.0638$	$\tau_{c,e} = 0.005$
D	$\tau_{d,a} = 0.005$	$\tau_{d,b} = 0.005$	$\tau_{d,c} = 0.045$	$\tau_{d,d} = 0$	$\tau_{d,e} = 0.063824$
E	$\tau_{e,a} = 0.06382$	$\tau_{e,b} = 0.045$	$\tau_{e,c} = 0.005$	$\tau_{e,d} = 0.0675$	$\tau_{e,e} = 0$

Kecerdasan Komputasional | Swarm Intelligence

28

