

Computación Bioinspirada

Dr. Edward Hinojosa Cárdenas
ehinojosa@unsa.edu.pe

Otros Sistemas de Hormigas

- Sistemas de hormigas elitistas (AS_e)
- Sistemas de hormigas basadas en rankings (AS_{rank})
- Sistemas de hormigas max-min (MMAS)
- Sistemas de colonias de hormigas (ACS)
- Sistemas de hormigas mejor-peor (BWAS)
- Sistemas de hormigas con búsqueda local.

Sistemas de hormigas elitistas (AS_e)

- Primera mejora del AS propuesta en Dorigo (1992)
- Idea básica: proporcionar un peso adicional que refuercen los arcos que pertenecen al mejor camino encontrados desde el principio de la búsqueda, $L_{\text{mejor_global}}$. → Actualización de la feromonas.
- Valor típico para $e=n$ (donde n es la cantidad de nodos).

Sistemas de hormigas elitistas (AS_e)

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k + e \cdot \Delta \tau_{rs}^{mejor_global}$$

donde $\Delta \tau_{rs}^{mejor_global} = \begin{cases} 1/C^{mejor_global} & \text{si arco } (i,j) \in L^{mejor_global} \\ 0 & \text{en el caso contrario.} \end{cases}$

AS_e - Ejemplo

- Consideremos las siguientes distancias entre ciudades. Consideremos como ciudad inicial D. Tenemos que recorrer todas las ciudades con el menor costo (recorrer la menor distancia).

Matriz Distancia:

	A	B	C	D	E
A	0.0	12.0	3.0	23.0	1.0
B	12.0	0.0	9.0	18.0	3.0
C	3.0	9.0	0.0	89.0	56.0
D	23.0	18.0	89.0	0.0	87.0
E	1.0	3.0	56.0	87.0	0.0

AS_e - Ejemplo

- Valores Iniciales:
 - $\rho = 0.1$
 - $\alpha = 1$
 - $\beta = 1$
 - $e=5$
 - $Q = 1$
 - Feromona Inicial = 10.0
 - Cantidad de Hormigas: 3
 - Cantidad de Iteraciones: 50

AS_e – Ejemplo

- Calculamos la matriz de Visibilidad:

Matriz Distancia:

	A	B	C	D	E
A	0.0	12.0	3.0	23.0	1.0
B	12.0	0.0	9.0	18.0	3.0
C	3.0	9.0	0.0	89.0	56.0
D	23.0	18.0	89.0	0.0	87.0
E	1.0	3.0	56.0	87.0	0.0

Matriz Visibilidad:

	A	B	C	D	E
A	0.0	0.083	0.333	0.043	1.0
B	0.083	0.0	0.111	0.056	0.333
C	0.333	0.111	0.0	0.011	0.018
D	0.043	0.056	0.011	0.0	0.011
E	1.0	0.333	0.018	0.011	0.0

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{where } \eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

AS_e – Ejemplo

- Definimos la feromona inicial:

Matriz Feromona:

	A	B	C	D	E
A	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0
B	10.0	0.0	10.0	10.0	10.0
C	10.0	10.0	0.0	10.0	10.0
D	10.0	10.0	10.0	0.0	10.0
E	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 1

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t \cdot n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t \cdot n = 0.55555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t \cdot n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t \cdot n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.10294352514814276

Ciudad Siguiente: A

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (3ra Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

A-B: $t = 10.0$ $n = 0.083333333333333333$ $t * n = 0.833333333333333333$

A-C: $t = 10.0$ $n = 0.333333333333333333$ $t * n = 3.333333333333333333$

A-E: $t = 10.0$ $n = 1.0$ $t * n = 10.0$

Suma: 14.1666666666666666

A-B: prob = 0.058823529411764705

A-C: prob = 0.23529411764705882

A-E: prob = 0.7058823529411765

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.801684448223654

Ciudad Siguiente: E

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (4ta y 5ta Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

E-B: $t = 10.0$ $n = 0.3333333333333333$ $t * n = 3.333333333333333$

E-C: $t = 10.0$ $n = 0.017857142857142856$ $t * n = 0.17857142857142855$

Suma: 3.5119047619047614

E-B: prob = 0.9491525423728814

E-C: prob = 0.05084745762711865

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.03841008384877953

Ciudad Siguiente: B

B-C: $t = 10.0$ $n = 0.11111111111111111$ $t * n = 1.1111111111111112$

Suma: 1.1111111111111112

B-C: prob = 1.0

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.23371500004870105

Ciudad Siguiente: C

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 2 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 2

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t*n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t*n = 0.55555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t*n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t*n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.8115731187225752

Ciudad Siguiente: B

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 3 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 3

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t*n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t*n = 0.55555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t*n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t*n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.9717197754685619

Ciudad Siguiente: E

AS_e – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 3 (4ta y 5ta Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

A-B: $t = 10.0$ $n = 0.08333333333333333$ $t*n = 0.8333333333333333$

A-C: $t = 10.0$ $n = 0.3333333333333333$ $t*n = 3.333333333333333$

Suma: 4.166666666666666

A-B: prob = 0.2

A-C: prob = 0.8

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.32427583789381087

Ciudad Siguiente: C

C-B: $t = 10.0$ $n = 0.1111111111111111$ $t*n = 1.1111111111111112$

Suma: 1.1111111111111112

C-B: prob = 1.0

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.5806272589568842

Ciudad Siguiente: B

AS_e – Ejemplo

- Definimos el costo para cada camino de cada hormiga:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k + e \cdot \Delta \tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \text{ and } \Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{rs}^{mejor_global} = \begin{cases} 1/C^{mejor_global} & \text{si arco } (i, j) \in L^{mejor_global} \\ 0 & \text{en el caso contrario.} \end{cases}$$

Hormiga 1 (D-A-E-B-C) - Costo: 36.0

Hormiga 2 (D-B-A-C-E) - Costo: 89.0

Hormiga 3 (D-E-A-C-B) - Costo: 100.0

Mejor Hormiga Global: D-A-E-B-C - Costo: 36.0

AS_e – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k + e \cdot \Delta \tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \text{ and } \Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{rs}^{mejor_global} = \begin{cases} 1/C^{mejor_global} & \text{si arco } (i, j) \in L^{mejor_global} \\ 0 & \text{en el caso contrario.} \end{cases}$$

A-B: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618

A-C: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.01 + 0.0 = 9.021235955056179

A-D: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.0 + 0.1388888888888889 = 9.166666666666668

A-E: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.01 + 0.1388888888888889 = 9.176666666666668

B-A: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618

B-C: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.01 + 0.1388888888888889 = 9.176666666666668

B-D: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618

AS_e – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k + e \cdot \Delta \tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \text{ and } \Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{rs}^{mejor_global} = \begin{cases} 1/C^{mejor_global} & \text{si arco } (i, j) \in L^{mejor_global} \\ 0 & \text{en el caso contrario.} \end{cases}$$

```
B-E: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.0 + 0.13888888888888889 = 9.166666666666668
C-A: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.01 + 0.0 = 9.021235955056179
C-B: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.01 + 0.13888888888888889 = 9.176666666666668
C-D: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 9.0
C-E: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618
D-A: Feromona = 9.0 + 0.027777777777777776 + 0.0 + 0.0 + 0.13888888888888889 = 9.166666666666668
D-B: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618
```

AS_e – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k + e \cdot \Delta \tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \text{ and } \Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i, j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta \tau_{rs}^{mejor_global} = \begin{cases} 1/C^{mejor_global} & \text{si arco } (i, j) \in L^{mejor_global} \\ 0 & \text{en el caso contrario.} \end{cases}$$

D-C: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 9.0

D-E: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.0 + 0.01 + 0.0 = 9.01

E-A: Feromona = 9.0 + 0.02777777777777776 + 0.0 + 0.01 + 0.1388888888888889 = 9.176666666666668

E-B: Feromona = 9.0 + 0.02777777777777776 + 0.0 + 0.0 + 0.1388888888888889 = 9.166666666666668

E-C: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.011235955056179775 + 0.0 + 0.0 = 9.01123595505618

E-D: Feromona = 9.0 + 0.0 + 0.0 + 0.01 + 0.0 = 9.01

AS_e – Ejemplo

- Después de 50 iteraciones:

Matriz Feromona Final:

	A	B	C	D	E
A	0.0	0.056	3.171	0.078	3.19
B	0.056	0.0	0.093	3.166	3.177
C	3.171	0.093	0.0	0.053	0.057
D	0.078	3.166	0.053	0.0	0.053
E	3.19	3.177	0.057	0.053	0.0

Iteraciones Totales: 50

Mejor Hormiga Global: D-B-E-A-C - Costo: 25.0

El sistema de hormigas basado en rankings (AS_{rank})

- AS_{rank} fue propuesto por Bullnhemiern et al. (1999).
- Idea básica: cada hormiga deposita una cantidad de feromona que disminuye con su ranking. Además, como en AS_e , la hormiga que ha recorrido el mejor camino siempre deposita la mayor cantidad de feromona en cada iteración.
- Las hormigas se clasificación en función de la longitud de los caminos que han construido y la cantidad de feromona que depositan depende de su posición en el ranking.

El sistema de hormigas basado en rankings (AS_{rank})

- En cada iteración solo las $w-1$ hormigas mejor clasificadas y la hormiga que produjo el mejor camino visitado pueden depositar feromona.
- La cantidad de feromona que depositan estas hormigas se multiplican por el peso $\max\{0, w-r\}$, si ocupan la posición r en el ranking. La hormiga que produjo el mejor camino visitado obtiene el peso máximo w .
- Valor típico para $w=6$.

El sistema de hormigas basado en rankings (AS_{rank})

- En cada iteración solo las $w-1$ hormigas mejor clasificadas y la hormiga que produjo el mejor camino visitado pueden depositar feromona.
- La cantidad de feromona que depositan estas hormigas se multiplican por el peso $\max\{0, w-r\}$, si ocupan la posición r en el ranking. La hormiga que produjo el mejor camino visitado obtiene el peso máximo w . No se considera la evaporación. En caso dos caminos tengan el mismo valor, el ranking es aleatorio.
- Valor típico para $w=6$.

El sistema de hormigas basado en rankings (AS_{rank})

$$\tau_{rs}(t) = \tau_{rs}(t-1) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta\tau_{rs}^r + w \Delta\tau_{rs}^{mejor_global}$$

donde $\Delta\tau_{rs}^r = 1/C^r$ y $\Delta\tau_{rs}^{mejor_global} = 1/C^{mejor_global}$

AS_{rank} - Ejemplo

- Consideremos las siguientes distancias entre ciudades. Consideremos como ciudad inicial D. Tenemos que recorrer todas las ciudades con el menor costo (recorrer la menor distancia).

Matriz Distancia:

	A	B	C	D	E
A	0.0	12.0	3.0	23.0	1.0
B	12.0	0.0	9.0	18.0	3.0
C	3.0	9.0	0.0	89.0	56.0
D	23.0	18.0	89.0	0.0	87.0
E	1.0	3.0	56.0	87.0	0.0

AS_{rank} - Ejemplo

- Valores Iniciales:
 - $\alpha = 1$
 - $\beta = 1$
 - $w=6$
 - Feromona Inicial = 10.0
 - Cantidad de Hormigas: 3
 - Cantidad de Iteraciones: 50

AS_{rank} – Ejemplo

- Calculamos la matriz de Visibilidad:

Matriz Distancia:

	A	B	C	D	E
A	0.0	12.0	3.0	23.0	1.0
B	12.0	0.0	9.0	18.0	3.0
C	3.0	9.0	0.0	89.0	56.0
D	23.0	18.0	89.0	0.0	87.0
E	1.0	3.0	56.0	87.0	0.0

Matriz Visibilidad:

	A	B	C	D	E
A	0.0	0.083	0.333	0.043	1.0
B	0.083	0.0	0.111	0.056	0.333
C	0.333	0.111	0.0	0.011	0.018
D	0.043	0.056	0.011	0.0	0.011
E	1.0	0.333	0.018	0.011	0.0

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{where } \eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos la feromona inicial:

Matriz Feromona:

	A	B	C	D	E
A	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0
B	10.0	0.0	10.0	10.0	10.0
C	10.0	10.0	0.0	10.0	10.0
D	10.0	10.0	10.0	0.0	10.0
E	10.0	10.0	10.0	10.0	0.0

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{where } \eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 1

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t*n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t*n = 0.55555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t*n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t*n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.1609504391199632

Ciudad Siguiente: A

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (3ra Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

A-B: $t = 10.0$ $n = 0.083333333333333333$ $t*n = 0.833333333333333333$

A-C: $t = 10.0$ $n = 0.333333333333333333$ $t*n = 3.333333333333333333$

A-E: $t = 10.0$ $n = 1.0$ $t*n = 10.0$

Suma: 14.1666666666666666

A-B: prob = 0.058823529411764705

A-C: prob = 0.23529411764705882

A-E: prob = 0.7058823529411765

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.5022634168882271

Ciudad Siguiente: E

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 1 (4ta y 5ta Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

E-B: $t = 10.0$ $n = 0.3333333333333333$ $t*n = 3.333333333333333$

E-C: $t = 10.0$ $n = 0.017857142857142856$ $t*n = 0.17857142857142855$

Suma: 3.5119047619047614

E-B: prob = 0.9491525423728814

E-C: prob = 0.05084745762711865

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.48950833789490444

Ciudad Siguiente: B

B-C: $t = 10.0$ $n = 0.1111111111111111$ $t*n = 1.1111111111111112$

Suma: 1.1111111111111112

B-C: prob = 1.0

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.5161873511371794

Ciudad Siguiente: C

Hormiga 1: D-A-E-B-C

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 2 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 2

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t*n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t*n = 0.55555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t*n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t*n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.8809076901730281

Ciudad Siguiente: C

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 3 (2da Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

Hormiga 3

Ciudad Inicial: D

D-A: $t = 10.0$ $n = 0.043478260869565216$ $t*n = 0.43478260869565216$

D-B: $t = 10.0$ $n = 0.055555555555555555$ $t*n = 0.5555555555555556$

D-C: $t = 10.0$ $n = 0.011235955056179775$ $t*n = 0.11235955056179775$

D-E: $t = 10.0$ $n = 0.011494252873563218$ $t*n = 0.11494252873563218$

Suma: 1.2176402435486378

D-A: prob = 0.3570698414406382

D-B: prob = 0.45625590850748216

D-C: prob = 0.09227647587791774

D-E: prob = 0.09439777417396182

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.8797483449625245

Ciudad Siguiente: C

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el camino para la Hormiga 3 (4ta y 5ta Ciudad):

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in \Omega} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } j \in \Omega \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

where $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$

A-B: $t = 10.0$ $n = 0.08333333333333333$ $t*n = 0.8333333333333333$

A-E: $t = 10.0$ $n = 1.0$ $t*n = 10.0$

Suma: 10.833333333333334

A-B: prob = 0.07692307692307691

A-E: prob = 0.923076923076923

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.3332192244773121

Ciudad Siguiente: E

E-B: $t = 10.0$ $n = 0.3333333333333333$ $t*n = 3.333333333333333$

Suma: 3.333333333333333

E-B: prob = 1.0

Numero aleatorio para la Probabilidad: 0.2528657967054858

Ciudad Siguiente: B

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos el costo y ranking para cada camino de cada hormiga:

$$\tau_{rs}(t) = \tau_{rs}(t-1) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta\tau_{rs}^r + w\Delta\tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\Delta\tau_{rs}^r = 1/C^r \text{ y } \Delta\tau_{rs}^{mejor_global} = 1/C^{mejor_global}$$

Hormiga 1 (D-A-E-B-C) - Costo: 36.0

Hormiga 2 (D-C-B-E-A) - Costo: 102.0

Hormiga 3 (D-C-A-E-B) - Costo: 96.0

Hormiga 1 - Rank(r) = 1

Hormiga 3 - Rank(r) = 2

Hormiga 2 - Rank(r) = 3

Mejor Hormiga Global: D-A-E-B-C - Costo: 36.0

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = \tau_{rs}(t-1) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta\tau_{rs}^r + w\Delta\tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\Delta\tau_{rs}^r = 1/C^r \text{ y } \Delta\tau_{rs}^{mejor_global} = 1/C^{mejor_global}$$

A-B: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0

A-C: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.04166666666666664 + 0.0 = 10.041666666666666

A-D: Feromona = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.0 + 0.0 + 0.16666666666666666 = 10.305555555555555

A-E: Feromona = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.16666666666666666 = 10.376633986928104

B-A: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0

B-C: Feromona = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.0 + 0.16666666666666666 = 10.334967320261438

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = \tau_{rs}(t-1) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta\tau_{rs}^r + w\Delta\tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\Delta\tau_{rs}^r = 1/C^r \text{ y } \Delta\tau_{rs}^{mejor_global} = 1/C^{mejor_global}$$

B-D: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0

B-E: Feromona = 10.0 + 0.138888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.16666666666666666 = 10.376633986928104

C-A: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.04166666666666664 + 0.0 = 10.041666666666666

C-B: Feromona = 10.0 + 0.138888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.0 + 0.16666666666666666 = 10.334967320261438

C-D: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.0 = 10.071078431372548

C-E: Feromona = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0

AS_{rank} – Ejemplo

- Definimos la feromona para cada camino:

$$\tau_{rs}(t) = \tau_{rs}(t-1) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta\tau_{rs}^r + w\Delta\tau_{rs}^{mejor_global}$$

$$\Delta\tau_{rs}^r = 1/C^r \text{ y } \Delta\tau_{rs}^{mejor_global} = 1/C^{mejor_global}$$

$$\text{D-A: Feromona} = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.0 + 0.0 + 0.1666666666666666 = 10.305555555555555$$

$$\text{D-B: Feromona} = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0$$

$$\text{D-C: Feromona} = 10.0 + 0.0 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.0 = 10.071078431372548$$

$$\text{D-E: Feromona} = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0$$

$$\text{E-A: Feromona} = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.1666666666666666 = 10.376633986928104$$

$$\text{E-B: Feromona} = 10.0 + 0.1388888888888889 + 0.029411764705882353 + 0.04166666666666664 + 0.1666666666666666 = 10.376633986928104$$

$$\text{E-C: Feromona} = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0$$

$$\text{E-D: Feromona} = 10.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 = 10.0$$

AS_{rank} – Ejemplo

- Después de 50 iteraciones:

Matriz Feromona Final:

	A	B	C	D	E
A	0.0	10.333	32.12	12.57	33.435
B	10.333	0.0	13.831	31.166	32.848
C	32.12	13.831	0.0	10.301	10.389
D	12.57	31.166	10.301	0.0	10.282
E	33.435	32.848	10.389	10.282	0.0

Iteraciones Totales: 50

Mejor Hormiga Global: D-B-E-A-C - Costo: 25.0

Laboratorio 8 (0 a 20)

- Aplicar los algoritmo AS_e y AS_{rank} para encontrar la menor distancia para recorrer todas las ciudad (utilice por los menos 4 hormigas). Considerare como ciudad inicial A. Muestre los valores obtenidos como en los ejemplos. Pruebe con diferentes valores en los parámetros.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	12	3	23	1	5	23	56	12	11
B	12	0	9	18	3	41	45	5	41	27
C	3	9	0	89	56	21	12	48	14	29
D	23	18	89	0	87	46	75	17	50	42
E	1	3	56	87	0	55	22	86	14	33
F	5	41	21	46	55	0	21	76	54	81
G	23	45	12	75	22	21	0	11	57	48
H	56	5	48	17	86	76	11	0	63	24
I	12	41	14	50	14	54	57	63	0	9
J	11	27	29	42	33	81	48	24	9	0

GRACIAS

Dr. Edward Hinojosa Cárdenas
ehinojosa@unsa.edu.pe