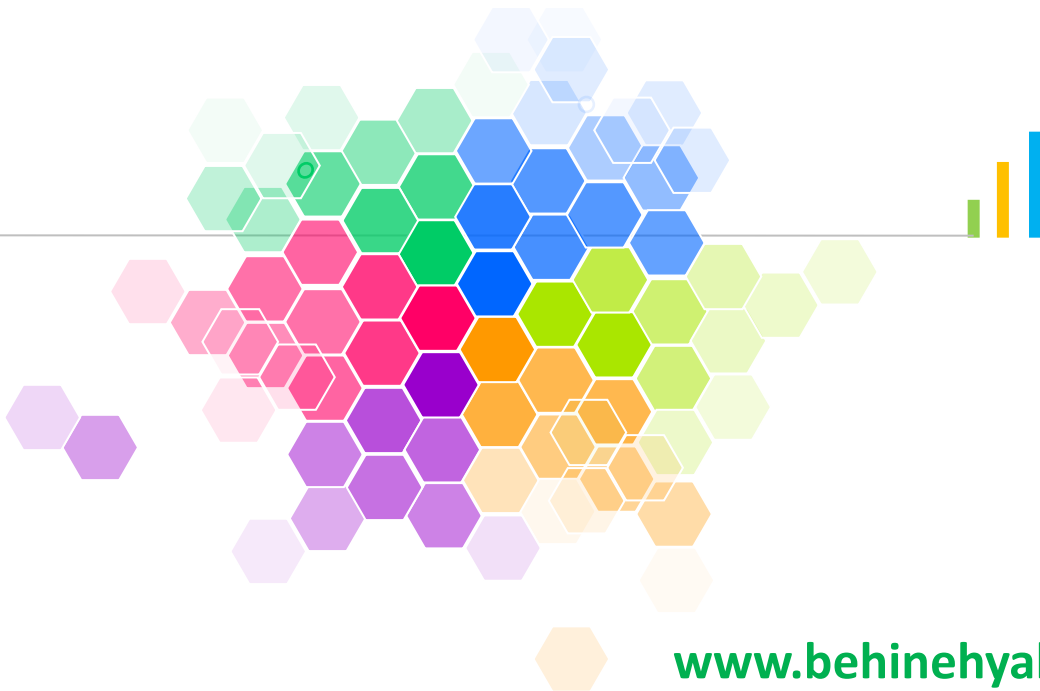


به نام خدا



درس ۱۸: الگوریتم فراابتکاری اجتماع مورچگان



فهرست مطالب



مقدمه

۱

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

۲

الگوریتم سیستم مورچه

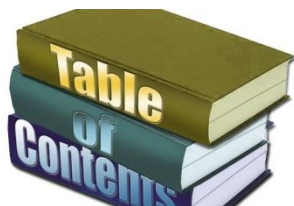
۳

سایر الگوریتم ها

۴

حل یک مثال

۵



مقدمه

مقدمه

محاسبه راه حل بهینه *Optimal solution* برای اکثر مسایل بهینه سازی که در خیلی از زمینه‌های کاربردی و عملی مشاهده می‌گردند، کار دشوار و سختی است. در عمل، معمولاً به راه حل‌های خوب که از الگوریتم‌های هیوریستیک *Heuristic* یا متاهیوریستیک (همان فراابتکاری) *Metaheuristic* بدست می‌آید، اکتفا می‌گردد.

مقدمه

روش جستجوی متاهیوریستیک را می‌توان به صورت متدولوژی‌های عمومی سطح بالایی که می‌توانند به عنوان یک استراتژی راهنما در طراحی هیوریستیک‌های اختصاصی برای حل مسایل بهینه‌سازی تخصصی به کار روند، تعریف کرد.

برخلاف روش‌های دقیق، متاهیوریستیک‌ها (فراابتکاری‌ها) برای مسایل با اندازه‌های بزرگ کاربرد دشوار دارد و راه‌حلهایی راضی‌کننده‌ای در زمان معقولی ارائه می‌نمایند. در این الگوریتم‌ها، هیچ گونه ضمانتی برای یافتن جواب بهینه سراسری یا حدودی از آن وجود ندارد.

مقدمه

فراابتکاری‌ها در خیلی از زمینه‌ها از قبیل موارد زیر کاربرد دارند:

- ✓ طراحی مهندسی، بهینه سازی توپولوژی، بهینه سازی مسایل الکترونیک، آئرو دینامیک، دینامک سیالات، مخابرات، رباتیک
- ✓ یادگیری ماشین و کاوش داده‌ها
- ✓ مدل سازی سیستم‌ها، شبیه سازی و تحقیق در شیمی، فیزیک، بیولوژی، کنترل، سیگنال، و پردازش تصویر

روش‌های مختلف الگوریتم‌های فراابتکاری یا متاهوریستیک تا به حال پیشنهاد شده است که

به صورت زیر است:

✓ جستجوی محلی تکراری *Iterated local search*

✓ بهینه سازی کلونی مورچگان *Ant colony optimization*

✓ بهینه سازی توده ذرات *particle swarm intelligent*

✓ بهینه سازی کلونی زنبوران *Bee colony*

✓ انجماد تدریجی *Simulated Annealing*

✓ الگوریتم‌های ترتیبی *cultural algorithms*

✓ الگوریتم‌های با هم تکاملی *Co-evolutionary algorithms*

✓ الگوریتم ژنتیک *Genetic algorithm*

مقدمه

در طراحی یک فراابتکاری، دو معیار متناقض شامل **کاوش** (*Exploration*) و در فضای جستجو (گوناگونی و تنوع) و **تبعیت** (*Exploitation*) از بهترین راه حل‌های پیدا شده، باید در نظر گرفته شوند.

در **کاوش** در ناحیه‌های جستجو نشده بررسی صورت می‌گیرد. در **تبعیت**، در ناحیه‌های امید بخش که تا به حال در آن ناحیه یک جواب خوب پیدا شده است بررسی بیشتر صورت می‌گیرد.

مقدمه

معیارهای طبقه بندی زیادی ممکن است برای طبقه بندی فراابتکاریها استفاده شود که در زیر به بعضی از آنها اشاره می شود:

الهام گرفته از طبیعت در مقابل عدم الهام از طبیعت

نحوه استفاده از حافظه

قطعی در مقابل احتمالی

تکراری در مقابل حریصانه

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

در ادامه الگوریتم اجتماع مورچگان که الگوریتمی است که از طبیعت الهام گرفته است و در رده الگوریتم‌های احتمالی، و حریصانه با حافظه قرار می‌گیرد صحبت می‌شود.



معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

رفتارهای پیچیده مورچه‌ها، از رفتارهای جمعی مورچه‌های تکی خیلی ساده و بی‌حیله ناشی می‌شود. یک مورچه براساس اطلاعاتی که از محیط اطراف خود به دست می‌آورد، اقدام ساده‌ای را انجام می‌دهد که پایه‌ای تصادفی دارد.

یکی از اولین رفتارهایی که توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفت، توانایی مورچه‌ها در یافتن کوتاهترین مسیر بین یک منبع غذا و لانه آن‌ها بود.

رفتار مورچه ها در جستجوی غذا

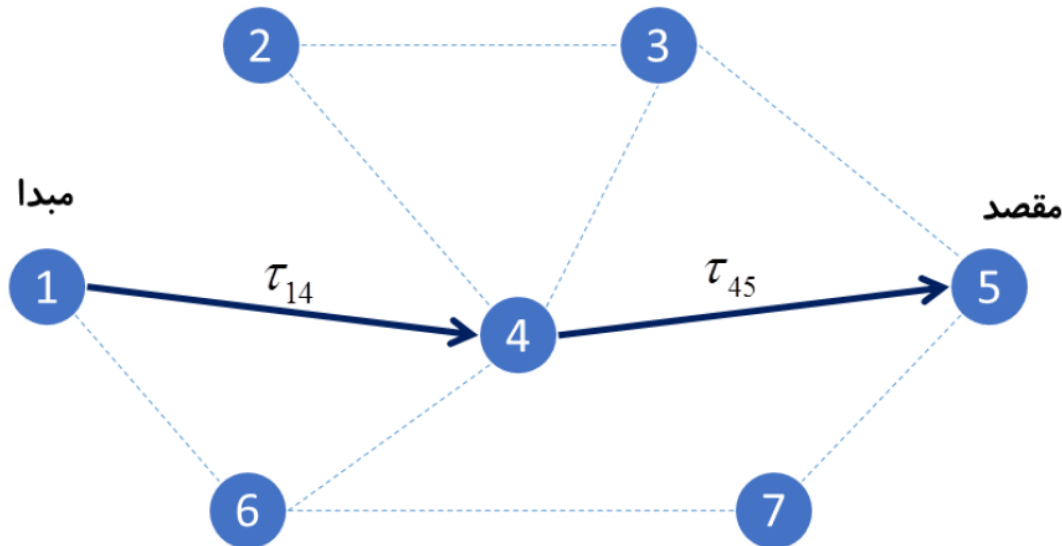
مطالعات رفتارهای بعضی از گونه‌های واقعی مورچه ها نشان داده است که یک الگوی تصادفی و شانسی در حرکت مورچه ها برای یافتن غذا وجود دارد. به محض این که یک منبع غذا در محلی در حوالی لانه مورچه ها قرار داده می‌شود، رفتار تصادفی به مرور سازماندهی بیشتری یافته و در نهایت منجر به رسیدن به یک مسیر مشابه توسط مورچه ها به این محل خواهد شد.

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

زمانی که یک مورچه یک منبع غذا را پیدا می‌کند و غذا به خانه می‌برد، در مسیر حرکت خود ماده شیمیایی به نام **فرومون** منتشر می‌نماید. بقیه مورچه‌ها که به دنبال غذا می‌گردند، در هنگام انتخاب مسیر به غلظت فرومون مسیر توجه می‌نمایند. مسیرهایی با غلظت فرومون بیشتر، احتمال بیشتری برای انتخاب دارند. هر چقدر مورچه‌های بیشتری از یک مسیر عبور نمایند، غلظت فرومون آن مسیر افزایش یافته و در نتیجه، مورچه‌های بیشتری نیز نسبت به آن مسیر علاقه مند می‌شوند.

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

مساله یافتن کوتاهترین مسیر بین دو راس در یک گراف $G = (V, E)$ است که V مجموعه راس‌های و E ماتریسی است که ارتباطات بین راس‌ها را بیان می‌کند. این گراف $n_G = |V|$ راس دارد. طول، L^k ، که توسط مورچه k ام ساخته شده است.



معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

در ابتدا به هر یال، یک مقدار تصادفی به عنوان فرومون اولیه، τ_{ij}^o ، تخصیص داده می‌شود. در ابتدای الگوریتم به علت نبود غلظت فرومون یا مقدار کم آن، مورچه‌ها به طور تصادفی مسیرها را انتخاب می‌نمایند. در هر تکرار از الگوریتم $SACO$ ، هر مورچه به صورت مرحله به مرحله یک مسیر یا راه حل را بین مبدا و مقصد می‌سازد. اگر مورچه k در راس i قرار داشته باشد، راس بعدی $j \in N_i^k$ را بر اساس یک تابع احتمال گذر به شکل زیر تعیین می‌نماید.

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}(t)}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^{\alpha}(t)} & \text{if } j \in N_i^k \\ 0 & \text{if } j \notin N_i^k \end{cases}$$

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

بعد از آن که تمامی مورچه‌ها، یک مسیر کامل بین مبدا تا مقصد را ساختند و حلقه‌های احتمالی حذف شدند، هر مورچه ردپای خود را به سمت راس مبدا دنبال می‌نماید و مقداری فرومون در هر یال (i,j) روی مسیر طی شده، مطابق با قاعده زیر منتشر می‌نماید.

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) \propto \frac{1}{L^k(t)}$$

$L^k(t)$ معرف طول مسیر ساخته شده توسط مورچه k -ام در مرحله زمانی t می‌باشد. در نتیجه،

میزان غلظت فرومون هر مسیر مطابق با قاعده زیر به هنگام می‌گردد

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

معرفی الگوریتم اجتماع مورچگان

که در رابطه فوق، n_k تعداد مورچه‌ها می‌باشد. با استفاده از رابطه $\Delta \tau_{ij}^k(t)$ مقداری فرومون روی هر یال تولید می‌گردد و این مقدار بستگی به کیفیت مسیرهایی دارد که توسط مورچه‌ها با استفاده از آن یال ساخته شده است

اگر $x^k(t)$ نشان دهنده یک راه حل در مرحله زمانی t باشد، آنگاه $f(x^k(t))$ کیفیت آن راه حل را بیان می‌کند. اگر مقدار فرومون انتشاری رابطه عکس با طول مسیر داشته باشد در آن صورت، مقدار بیشتر $f(x^k(t))$ موجب می‌گردد که مقدار کمتری فرومون $\frac{1}{f(x^k(t))}$ در آن مسیر منتشر گردد.

الگوریتم سیستم مورچه

اولین الگوریتم استاندارد بهینه سازی اجتماع مورچه، الگوریتم سیستم مورچه **Ant System**

است. p_{ij}^k به منظور در نظر گرفته اطلاعات هیوریستیکی یا پیش فرض پیشنهاد شده است.

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha(t) \eta_{iu}^\beta(t)} & \text{if } j \in N_i^k(t) \\ 0 & \text{if } j \notin N_i^k(t) \end{cases}$$

که در آن τ_{ij} اثر بخشی قیاسی یا **A Posteriori Effectiveness** یک حرکت از راس i به راس j

که همان شدت فرومون مسیر (i,j) ، می‌باشد. η_{ij} اثربخشی با دلیل قبلی **A Priori Effectiveness** آن

حرکت که توسط بعضی از هیوریستیک‌ها محاسبه می‌گردد.

الگوریتم سیستم مورچه

احتمال گذر مورد استفاده در الگوریتم سیستم مورچه توازنی را بین **غلظت فرومون**، τ_{ij} ، و **اطلاعات هیوریستیکی**، η_{ij} ، برقرار می‌نماید. این امر منجر به توازن بین **کاوش** و **تبعیت** می‌گردد. بهترین توازن بین کاوش و تبعیت از طریق انتخاب مناسب پارامترهای α و β به دست می‌آید. برای مثال، برای یک مساله حداقل سازی مسیر، تابع هیورستیک به صورت زیر قابل تعریف است:

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

الگوریتم سیستم مورچه

روش های مختلفی برای نحوه و میزان انتشار فرومون توسط یک مورچه در یک مسیر وجود

دارد:

۱- مقدار فرومون منتشر شده متناسب با معکوس کیفیت مسیر ایجاد شده توسط یک مورچه

است. در این فرمول، Q یک مقدار ثابت است.

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{f(x^k(t))}$$

الگوریتم سیستم مورچه

۲- در این حالت برای تمامی یال‌های قرار گرفته در مسیر مورچه، مقدار ثابت و برابری از فرومون منتشر می‌گردد.

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = Q$$

۳- در این حالت مقدار فرومون منتشره وابسته به طول یال قرار گرفته در مسیر مورچه می‌باشد.

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \frac{Q}{d_{ij}}$$

الگوریتم سیستم مورچه

پس از انتخاب یکی از سه روش محاسبه میزان فرومون، در این مرحله، فرومون‌ها بر روی مسیرهای عبوری مورچه‌ها به صورت زیر به هنگام می‌شود.

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

برای اجبار مورچه‌ها به **کاوش بیشتر** و جلوگیری از **همگرایی زودرس**، اجازه داده شد که مقدار شدت فرومون در یک مسیر در هر تکرار از الگوریتم، قبل از ساخت مسیر دچار **تبخیر** شود. در این حالت مقداری از شدت فرومون هر مسیر **کاهش** یا همان تبخیر پیدا می‌کند. در این حالت نحوه به هنگام شدن مقدار شدت فرومون طبق معادله زیر انجام می‌گردد.

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

الگوریتم سیستم مورچه

تنظیم شرایط اولیه

$T = \bullet$

(a) تنظیم تمامی پارامترها، τ_0 ، n_k ، Q ، ρ ، β و α

(b) تمامی مورچه‌ها ($k = 1, \dots, n_k$) را در گره‌های مختلف شبکه قرار دهید.

(c) برای هر یال (i, j) انجام دهید.

$$\tau_{ij}(t) \approx U(0, \tau_0)$$

الگوریتم سیستم مورچه

تکرار (تا شرط توقف برآورده شود)

(a) برای هر مورچه $k = 1, \dots, n_k$ انجام دهید.

$$x^k(t) = \emptyset_S$$

(b) کارهای زیر را تکرار کنید تا مسیر کامل ساخته شود

a. برای هر راس i ، راس بعدی j را براساس احتمال تعریف شده در معادله زیر

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{u \in N_i^k(t)} \tau_{iu}^\alpha(t) \eta_{iu}^\beta(t)} & \text{if } j \in N_i^k(t) \\ 0 & \text{if } j \notin N_i^k(t) \end{cases} \quad \text{تعیین کنید}$$

b. یال (i, j) را به مسیر اضافه می‌کنیم و به صورت زیر مسیر اصلاح می‌شود.

$$x^k(t) = x^k(t) \cup \{(i, j)\}$$

الگوریتم سیستم مورچه

به هنگام سازی مقدار فرمون ها

برای هر یال (i, j) کارهای زیر را انجام دهید.

(a) معادله زیر را برای تبخیر استفاده می‌کنیم.

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

(b) برای هر مورچه $k = 1, \dots, n_k$ ریختن فرومون به صورت زیر انجام شود.

a. برای هر یال که بر روی مسیر مورچه k ام است، همان $x^k(t)$ میزان فرومون زیر اضافه می‌شود.

$$\Delta \tau^k = \frac{1}{f(x^k(t))}$$

الگوریتم سیستم مورچه

b. مقادیر فرومون را با استفاده از معادله زیر به هنگام کنید.

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

c) برای هر یال مقدار فرومون در زمان $t+1$ به زمان t تغییر می‌کند ($\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t)$)

پایان تکرار.

مسیر $x^k(t)$ با کمترین $f(x^k(t))$ را به عنوان بهترین راه حل چاپ کنید.

سایر الگوریتم‌ها

سیستم مورچه رتبه‌ای

به هنگام سازی فرومون کمان‌ها در سیستم مورچه رتبه به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r) \Delta \tau_{ij}^k + w \Delta \tau_{ij}^b$$

که در آن:

$(w-r) \Delta \tau_{ij}^k$ میزان فرومونی که مورچه مرتبه r -ام بر روی کمان (i,j) می‌ریزد و

$w \Delta \tau_{ij}^b$ میزان فرومونی که بهترین مورچه بر روی کمان (i,j) از خود باقی می‌گذارد، هستند.

سایر الگوریتم‌ها

سیستم مورچه حداکثر – حداقل

در این روش، فرمون ریزی فقط توسط "بهترین مورچه در تکرار جاری" یا "بهترین مورچه در کل" انجام می‌شود.

تخمین از حد بالا و حد پایین برای فرمون هر کمان را برای مسائل کمینه سازی به صورت زیر پیشنهاد کرد:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{\rho f_{\text{best}}}$$

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}}{a}$$

سایر الگوریتم‌ها

سیستم اجتماع مورچه

سیستم اجتماع مورچه یا سیستم کلونی مورچه (*Ant Colony System*) که با *ACS* نشان داده می

شود. الگوریتم *ACS* در سه زمینه با سیستم مورچه متفاوت است.

۱ - **قاعده انتقال:** قاعده انتقال *ACS* برای ایجاد یک بالانس قوی بین قابلیت‌های کاوش و تبعیت

الگوریتم توسعه داده شد. براساس آن، مورچه k که در راس i قرار دارد، راس بعدی j را

برای حرکت از طریق قاعده زیر انتخاب می‌کند:

$$j = \begin{cases} \arg \max_{u \in N_i^k(t)} \{\tau_{iu}(t) \eta_{iu}^\beta(t)\} & \text{if } r \leq r_0 \\ j & \text{if } r > r_0 \end{cases} \quad p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}(t) \eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{u \in N_i^k} \tau_{iu}(t) \eta_{iu}^\beta(t)}$$

سایر الگوریتم‌ها

۲- انتشار فرومون توسط بهترین مورچه : برخلاف سیستم مورچه، در الگوریتم اجتماع مورچه تنها بهترین مورچه سراسری (در کل مسیر طی شده بهترین باشد و با $x^b(t)$ نشان داده می شود) اجازه انتشار فرومون مجدد را در مسیر طی شده دارد. فرومون از طریق قاعده به هنگام سازی سراسری زیر به هنگام می شود:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho_l) \tau_{ij}(t) + \rho_l \Delta \tau_{ij}(t)$$

$$\Delta \tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{1}{f(x^b(t))} & \text{if } (i, j) \in x^b(t) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

سایر الگوریتم‌ها

۳- تبخیر فرومون

تبخیر فرومون نیز متفاوت از سیستم مورچه AS است. علاوه بر قاعده به هنگام سازی اشاره شده در بالا در واقع یک قاعده بهنگام سازی جهانی است، یک قاعده بهنگام سازی محلی هم در نظر گرفته می شود که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho')\tau_{ij}(t) + \rho'\tau_0$$

که در آن ρ' یک مقدار ثابت بین صفر و یک و τ_0 یک مقدار ثابت مثبت کوچک است.

حل یک مثال

در این مثال با استفاده از الگوریتم سیستم مورچه به دنبال حل مسئله فروشنده دورگرد هستیم. مسئله فروشنده دورگرد عبارت است از یافتن بهترین مسیر بین مجموعه ای از شهر ها به نحوی که از یک نقطه یا شهر شروع کرده و دوباره به همان نقطه یا شهر برگردد. از هر شهر باید یک بار عبور کرده و از تمامی شهر ها نیز عبور نماید. مسئله فروشنده دورگرد با ۵ شهر را در نظر بگیرید.

نقاط	A	B	C	D	E
A		۴۸	۶۰	۲۹	۱۵۱
B			۷۹	۸۶	۴۰
C				۱۰۵	۸۰
D					۱۲۹

حل یک مثال

در ابتدا ۵ مورچه در نظر گرفته می شود. هر یک از این مورچه ها شماره گذاری شده و دارای

یک لیست ممنوع به همراه خود می باشند. در شکل زیر این اطلاعات به صورت زیر است.

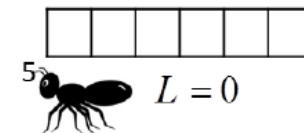
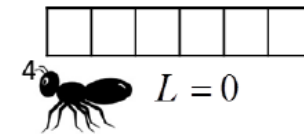
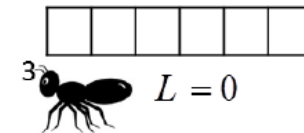
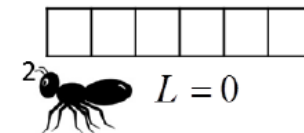
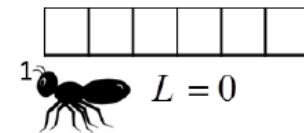
A

B

C

D

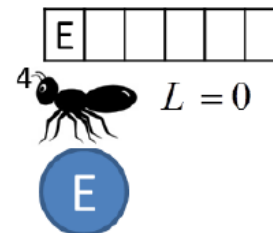
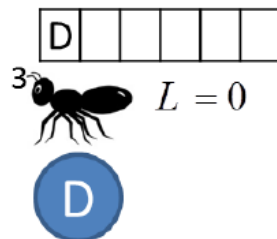
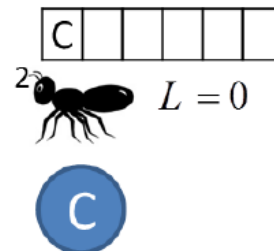
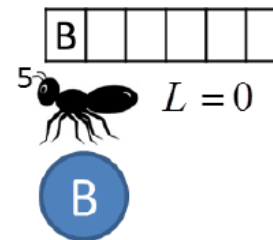
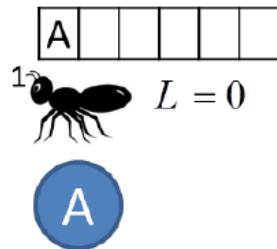
E



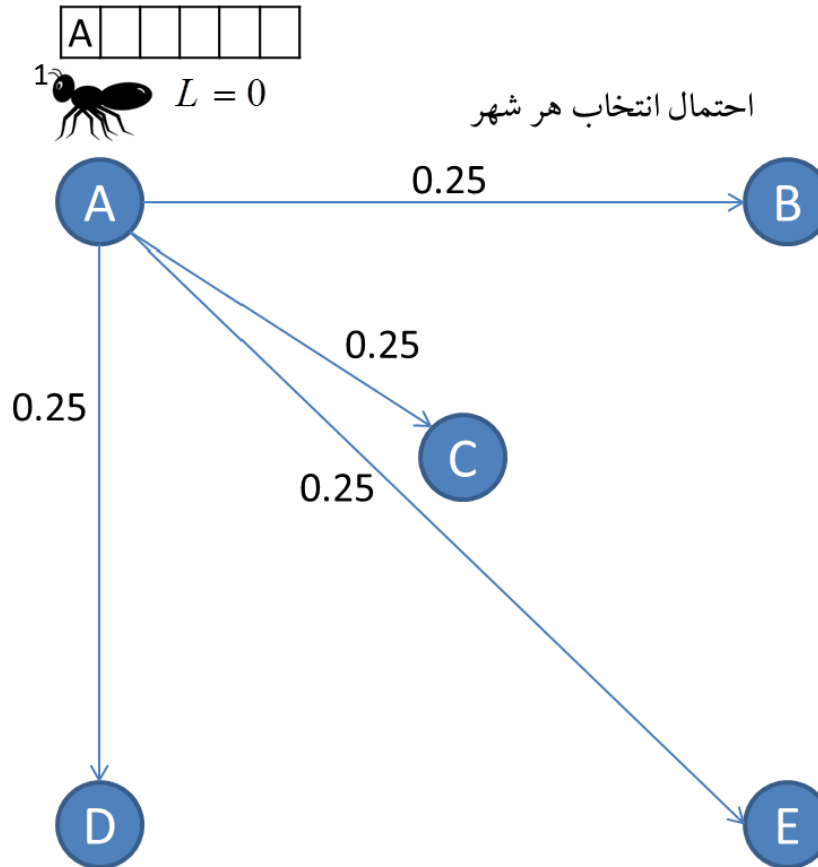
حل یک مثال

در مرحله اول، مورچه ها به تصادف روی شهرها قرار داده می شوند. در شکل زیر نحوه قرار

گیری مورچه در گره های شبکه آورده شده است.

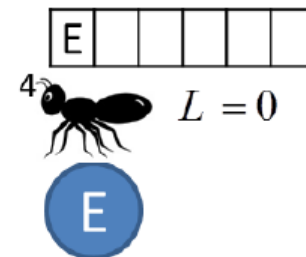
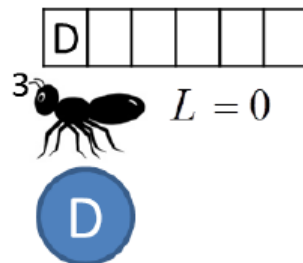
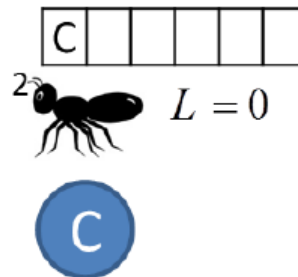
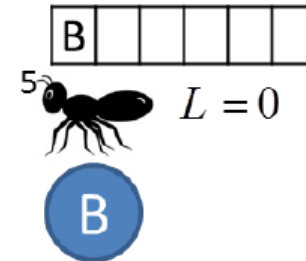
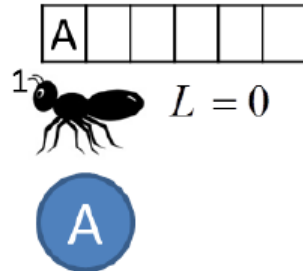


حل یک مثال



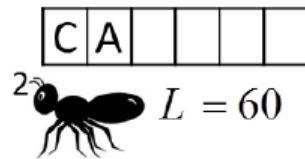
حل یک مثال

قرارگیری مورچه در شهر اول



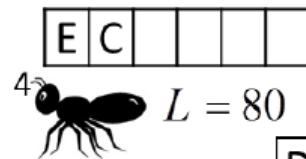
حل یک مثال

حرکت مورچه به شهر دوم

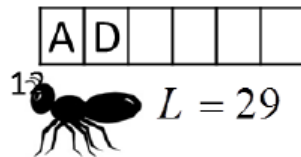
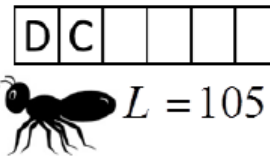


A

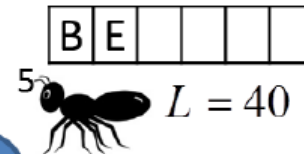
B



C



D



E

حل یک مثال

حرکت مورچه به شهر سوم

⁴ $L = 80 + 60$

E	C	A			
---	---	---	--	--	--

A

³ $L = 105 + 79$

D	C	B			
---	---	---	--	--	--

B

⁵ $L = 40 + 80$

B	E	C			
---	---	---	--	--	--

C

² $L = 60 + 29$

C	A	D			
---	---	---	--	--	--

D

¹³ $L = 29 + 129$

A	D	E			
---	---	---	--	--	--

E

حل یک مثال

حرکت مورچه به شهر چهارم

5  $L = 40 + 80 + 60$

A

2  $L = 60 + 29 + 86$

B

1  $L = 29 + 129 + 80$

C

4  $L = 80 + 60 + 29$

D

3  $L = 105 + 79 + 40$

E

حل یک مثال

حرکت مورچه به شهر پنجم

3[→]

D	C	B	E	A	
---	---	---	---	---	--

 $L = 105 + 79 + 40 + 151$
 A

4[→]

E	C	A	D	B	
---	---	---	---	---	--

 $L = 80 + 60 + 29 + 86$
 B

A	D	E	C	B	
---	---	---	---	---	--

 1[→]  $L = 29 + 129 + 80 + 79$

C

B	E	C	A	D	
---	---	---	---	---	--

 5[→]  $L = 40 + 80 + 60 + 29$
 D

C	A	D	B	E	
---	---	---	---	---	--

 2[→]  $L = 60 + 29 + 86 + 40$
 E

حل یک مثال

بازگشت مورچه به شهر مبدا

¹³  $L = 29 + 129 + 80 + 79 + 48$

A

⁵  $L = 40 + 80 + 60 + 29 + 86$

B

²  $L = 60 + 29 + 86 + 40 + 80$

C

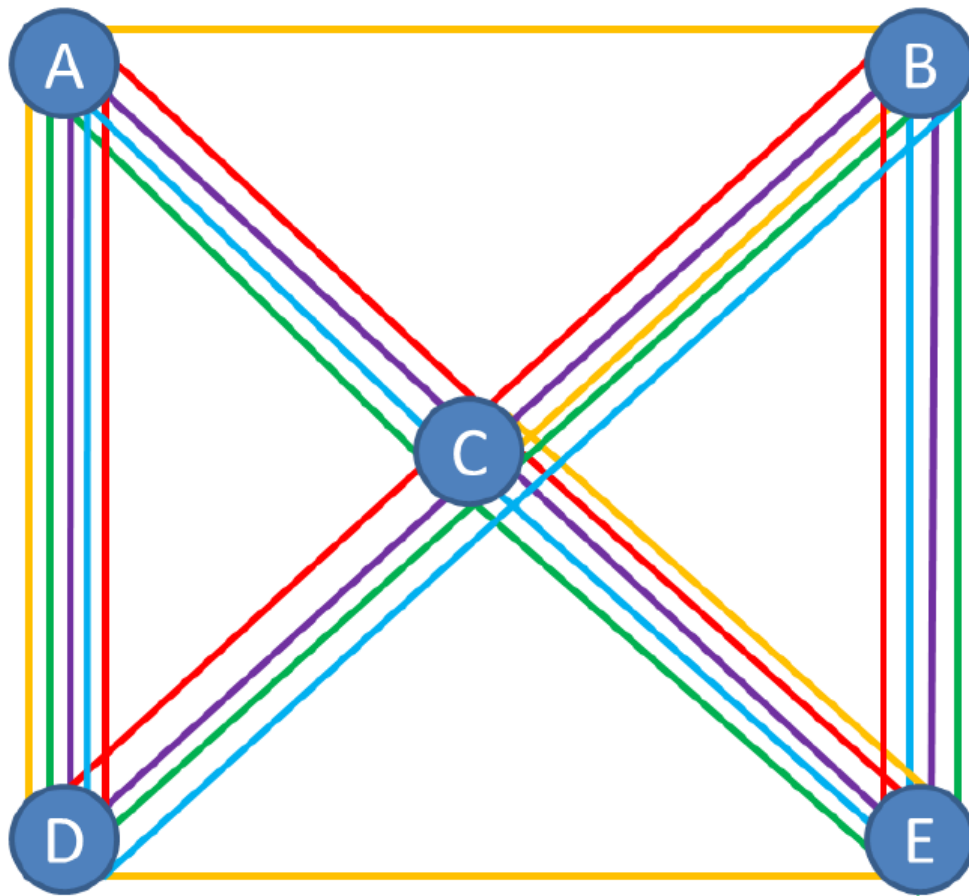
³  $L = 105 + 79 + 40 + 151 + 29$

D

⁴  $L = 80 + 60 + 29 + 86 + 40$

E

حل یک مثال



- مورچه ۱
- مورچه ۲
- مورچه ۳
- مورچه ۴
- مورچه ۵

حل یک مثال

بعد از ایجاد راه حل ها در هر تکرار، مرحله بعدی به هنگام سازی فرمومون می باشد. پس از تکرار اول، ۵ راه حل برای ۵ مورچه ساخته می شود که براساس کیفیت این راه حل ها باید فرمون ریزی بر روی کمان ها انجام شود. در صورتیکه نرخ تبخیر برابر با ۰.۵ باشد و مقدار فرمون اولیه برابر با ۰.۰۵ باشد، مقدار فرمون هر کمان پس از تبخیر برابر با ۰.۰۲۵ می شود.

$$\tau_{ij}(1) = (1 - 0.5)\tau_{ij}(1) = 0.025$$

برای محاسبه مقدار فرمون ریزی از رابطه زیر استفاده می شود

$$\Delta \tau_{ij} = \frac{Q}{d_{ij}}$$

حل یک مثال

که در رابطه فوق، Q برابر با ۳۰ در نظر گرفته می شود.

مورچه	مسیر مورچه	مقدار تابع هدف	$\Delta\tau_{ij}$
۱	ADECBA	۳۶۵	۰.۰۸۲
۲	CADBEC	۲۹۵	۰.۱۰۲
۳	DCBEAD	۴۰۴	۰.۰۷۴
۴	ECADBE	۲۹۵	۰.۱۰۲
۵	BECADB	۲۹۵	۰.۱۰۲

حل یک مثال

مقدار فرومون محاسبه شده در جدول فوق در کلیه یال های مسیر طی شده توسط هر مورچه توزیع می گردد. لذا برای محاسبه مقدار فرومون منتشر شده در هر یال، باید فرومون منتشر شده توسط کلیه مورچه ها را در نظر گرفت:

$$\Delta \tau_{AD}(1) = 0.082 + 0.102 + 0.074 + 0.102 + 0.102 = 0.462$$

$$\Delta \tau_{DE}(1) = 0.082$$

و در نتیجه مقدار فرومون آن بعد از به هنگام سازی به صورت زیر تغییر می یابد.

$$\tau_{AD}(2) = \tau_{AD}(1) + \Delta \tau_{AD}(1) = 0.025 + 0.462 = 0.487$$

$$\tau_{DE}(2) = \tau_{DE}(1) + \Delta \tau_{DE}(1) = 0.025 + 0.082 = 0.107$$

با تشکر

راه های ارتباطی با ما

www.behinehyab.com

behinehyab@gmail.com