

پردازش تکاملی

الگوریتم کلونی مورچه ها

Ant Colony Optimization (ACO)

دانشگاه صنعتی مالک اشتر

مجتمع دانشگاهی فن آوری اطلاعات و امنیت

زمستان ۱۳۹۲

فهرست مطالب

- مقدمه
- بهینه سازی مسایل به روش کلونی مورچه
- مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟
- مزیت‌های ACO
- کاربرد ACO
- مسیر یابی شبکه های کامپیوتری با استفاده از ACO
- الگوریتم ACO
- الگوریتم کلی حرکت
- نتیجه گیری

مقدمه

الگوریتم کلونی مورچه برای اولین بار در سال ۱۹۹۲ توسط دوریگو (Dorigo) و همکارانش به عنوان یک راه حل چند عامله (Multi Agent) برای مسائل مشکل بهینه سازی مثل فروشنده دوره گرد ارائه شد.

عامل هوشمند (Intelligent Agent) موجودی است که از طریق حسگرها قادر به درک پیرامون خود بوده و از طریق تاثیر گذارنده ها می تواند روی محیط تاثیر بگذارد.

آنچه بنیان فکری الگوریتم مورچگان بر آن بنا شده است را می توان بسادگی و در یک جمله بیان نمود: "مورچه ها در بین موانع و محدودیت های موجود در طبیعت همیشه از بین جایگشت های متفاوت برای رسیدن به غذا، بهینه ترین راه را انتخاب می کنند."

بهینه سازی مسایل بوسیله کلونی مورچه

همانطور که می دانیم مسئله یافتن کوتاهترین مسیر، یک مسئله بهینه سازیست که گاه حل آن بسیار دشوار است و گاه نیز بسیار زمانبر. بعنوان مثال مسئله فروشنده دوره گرد (TSP) در این مسئله فروشنده دوره گرد باید از یک شهر شروع کرده، به شهرهای دیگر برود و سپس به شهر مبدا بازگردد بطوریکه از هر شهر فقط یکبار عبور کند و کوتاهترین مسیر را نیز طی کرده باشد. اگر تعداد این شهرها n باشد در حالت کلی این مسئله از مرتبه $(n-1)!$ است که برای فقط ۲۱ شهر زمان واقعا زیادی می برد:

$$\text{روز } 10^{13} * 1/7 = 20! = 433/2 * 10^{18} * 10^{-16} \text{ ms}$$

با انجام یک الگوریتم برنامه سازی پویا برای این مسئله ، زمان از مرتبه نمایی بدست می آید که آن هم مناسب نیست. البته الگوریتم های دیگری نیز ارائه شده ولی هیچ کدام کارایی مناسبی ندارند. ACO الگوریتم کامل و مناسبی برای حل مسئله TSP است.

مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

مورچه ها هنگام راه رفتن از خود ردی از ماده شیمیایی فرومون (Pheromone) جای می گذارند البته این ماده بزودی تبخیر می شود ولی در کوتاه مدت بعنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می ماند.

یک رفتار پایه ای ساده در مورچه های وجود دارد :

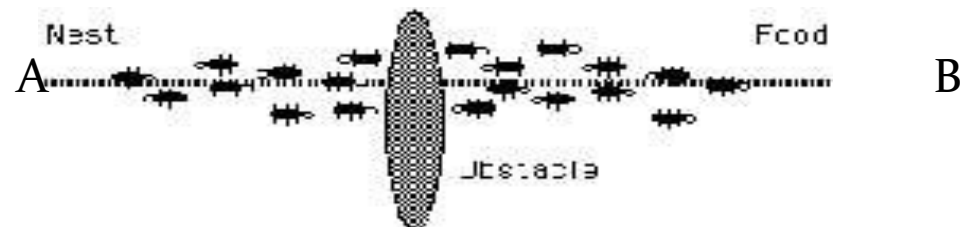
آنها هنگام انتخاب بین دو مسیر بصورت احتمالاتی (Statistical) مسیری را انتخاب می کنند که فرومون بیشتری داشته باشد یا بعبارت دیگر مورچه های بیشتری قبلا از آن عبور کرده باشند. حال می بینیم که همین تمهید ساده چگونه منجر به پیدا کردن کوتاهترین مسیر خواهد شد :

مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

همانطور که در شکل می بینیم مورچه ها روی مسیر AB در حرکت اند (در دو جهت مخالف)

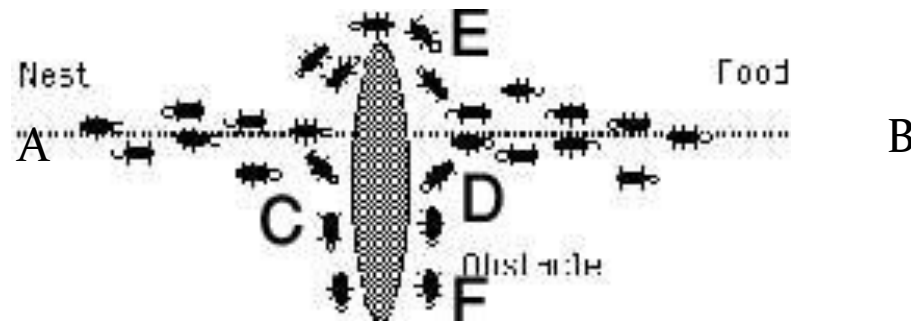


اگر در مسیر مورچه ها مانعی قرار دهیم مورچه ها دو راه برای انتخاب کردن دارند.



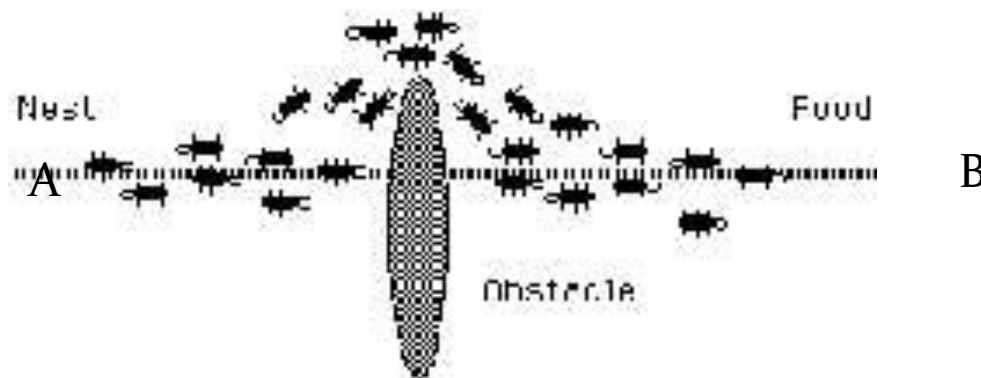
مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

اولین مورچه از A می آید و به C می رسد، در مسیر هیچ فرومونی نمی بیند بنابراین برای مسیر چپ و راست احتمال یکسان می دهد و بطور تصادفی و احتمالاتی مسیر CED را انتخاب می کند.



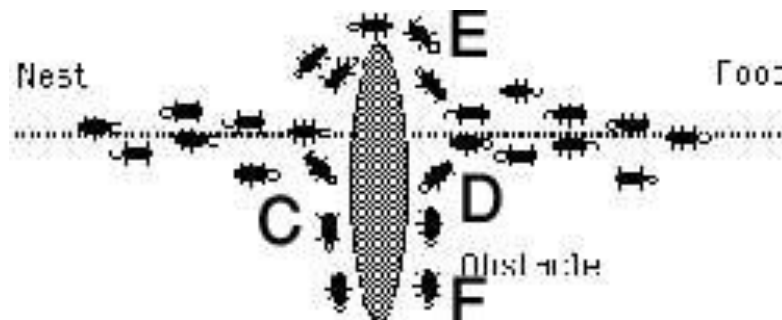
مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

مورچه ها در حال برگشت و به مرور زمان یک اثر بیشتر فرومون را روی CED حس می کنند و آنرا بطور احتمالی و تصادفی (نه حتما و قطعا) انتخاب می کنند. در نهایت مسیر CED بعنوان مسیر کوتاهتر برگزیده می شود. در حقیقت چون طول مسیر CED کوتاهتر است زمان رفت و برگشت از آن هم کمتر می شود و در نتیجه مورچه های بیشتری نسبت به مسیر دیگر آنرا طی خواهند کرد چون فرومون بیشتری در آن وجود دارد.



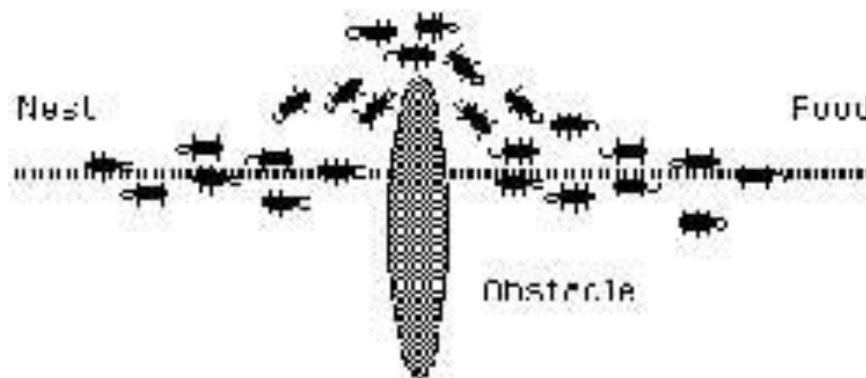
مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

نکته بسیار با اهمیت این است که هر چند احتمال انتخاب مسیر پر فرومون تر توسط مورچه ها بیشتر است ولی این کماکان احتمال است و قطعیت نیست. یعنی اگر مسیر CED پر فرومون تر از CFD باشد به هیچ عنوان نمی شود نتیجه گرفت که همه مورچه ها از مسیر CED عبور خواهند کرد بلکه تنها می توان گفت که مثلاً ۹۰٪ مورچه ها از مسیر کوتاهتر عبور خواهند کرد. اگر تصادفاً اولین مورچه مسیر (CFD مسیر دورتر) را انتخاب می کرد و ردی از فرومون بر جای می گذاشت آنگاه همه مورچه ها بدنبال او حرکت می کردند و هیچ وقت کوتاهترین مسیر یافته نمی شد. بنابراین تصادف و احتمال نقش عمده ای در ACO بر عهده دارند.



مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

نکته دیگر مسئله تبخیر شدن فرومون بر جای گذاشته شده است. بر فرض اگر مانع در مسیر AB برداشته شود و فرومون تبخیر نشود مورچه ها همان مسیر قبلی را طی خواهند کرد. ولی در حقیقت این طور نیست. تبخیر شدن فرومون و احتمال به مورچه ها امکان پیدا کردن مسیر کوتاهتر جدید را می دهند.



مزیت‌های ACO

همانطور که گفته شد «تبخیر شدن فرومون» و «احتمال-تصادف» به مورچه‌ها امکان پیدا کردن کوتاهترین مسیر را می‌دهند. این دو ویژگی باعث ایجاد انعطاف در حل هرگونه مسئله بهینه‌سازی می‌شوند. مثلاً در گراف شهرهای مسئله فروشنده دوره‌گرد، اگر یکی از یال‌ها (یا گره‌ها) حذف شود الگوریتم این توانایی را دارد تا به سرعت مسیر بهینه را با توجه به شرایط جدید پیدا کند. به این ترتیب که اگر یال (یا گره‌ای) حذف شود دیگر لازم نیست که الگوریتم از ابتدا مسئله را حل کند بلکه از جایی که مسئله حل شده تا محل حذف یال (یا گره) هنوز بهترین مسیر را داریم، از این به بعد مورچه‌ها می‌توانند پس از مدت کوتاهی مسیر بهینه (کوتاهترین) را بیابند.

کاربردهای ACO

از کاربردهای ACO می توان به بهینه کردن هر مسئله ای که نیاز به یافتن کوتاهترین مسیر دارد ، اشاره نمود :

۱. **مسیر یابی داخل شهری و بین شهری**
۲. مسیر یابی بین پست های شبکه های توزیع برق ولتاژ بالا
۳. مسیر یابی شبکه های کامپیوتری

مسیر یابی شبکه های کامپیوتری با استفاده از ACO

در ابتدا مقدمه ای از نحوه مسیر یابی در شبکه های کامپیوتری را توضیح خواهیم داد :

اطلاعات بر روی شبکه بصورت بسته های اطلاعاتی کوچکی (Packet) منتقل می شوند. هر یک از این بسته ها بر روی شبکه در طی مسیر از مبدا تا مقصد باید از گره های زیادی که مسیریاب (Router) نام دارند عبور می کنند. در داخل هر مسیریاب جدولی قرار دارد تا بهترین و کوتاهترین مسیر بعدی تا مقصد از طریق آن مشخص می شود، بنابر این بسته های اطلاعاتی حین گذر از مسیریاب ها با توجه به محتویات این جداول عبور داده می شوند.

مورچه ها چگونه می توانند کوتاه ترین مسیر را پیدا کنند؟

روشی بنام **ACR : Ant Colony Routing** پیشنهاد شده که بر اساس ایده کلونی مورچه به بهینه سازی جداول می پردازد و در واقع به هر مسیری با توجه به بهینگی آن امتیاز می دهد. استفاده از **ACR** به این منظور دارای برتری نسبت به سایر روش ها است که با طبیعت دینامیک شبکه سازگاری دارد، زیرا به عنوان مثال ممکن است مسیری پر ترافیک شود یا حتی مسیر یابی (**Router**) از کار افتاده باشد و بدلیل انعطاف پذیری که **ACO** در برابر این تغییرات دارد همواره بهترین راه حل بعدی را در دسترس قرار می دهد.

الگوریتم ACO

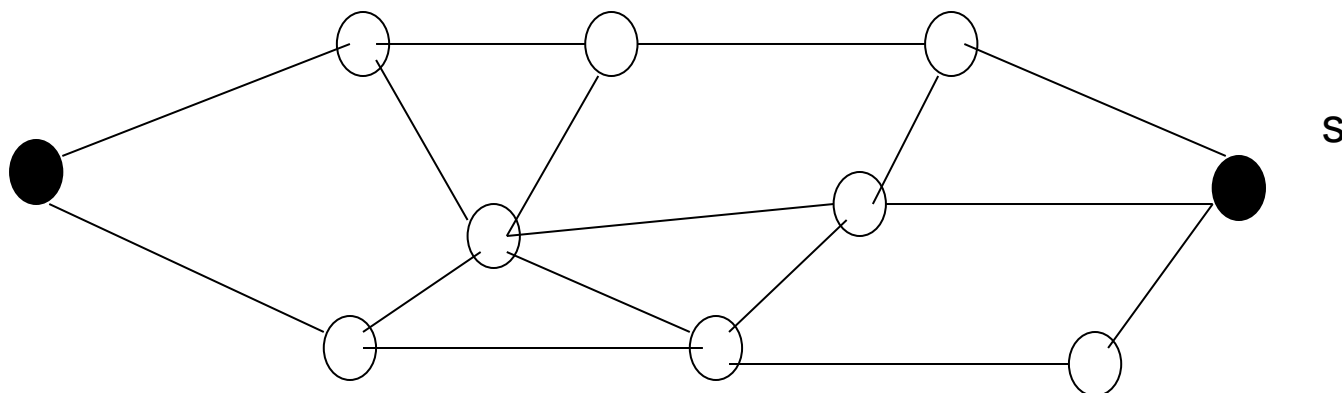
برای پیاده سازی کلونی مورچه، از مورچه های مصنوعی به عنوان عناصری در بهینه سازی استفاده می شود. البته این عناصر تفاوت‌های اساسی با مورچه های واقعی دارند که عبارتند از:

- ۱- حافظه: برای مورچه های مصنوعی می توان یک حافظه در نظر گرفت که مسیرهای حرکت را در خود نگه می دارند.
- ۲- موانع ساختگی: تغییر دادن جزئیات مسئله برای بررسی الگوریتم و رسیدن به جوابهای متنوع.
- ۳- حیات در محیط گسسته: مورچه های واقعی نمی توانند جدا از کلونی به حیات خود ادامه دهند.

الگوریتم کلی حرکت

همانطور که گفته شد مورچه ها براساس میزان فرمون ترشح شده مسیر برتر را پیدا می کنند.

در پیاده سازی هر عنصر (مورچه مصنوعی) در یک حالت (State) اولیه قرار داده می شود. مورچه جهت حرکت به شهر s روی گره r قرار داده می شود. حرکت این مورچه بر اساس فرمول زیر انجام می شود:



الگوریتم کلی حرکت

اگر $q_0 > q$ باشد حالت براساس بهترین حالت مسافت - فرمون انتخاب می شود یعنی:

$$\text{Maximum}[p_{hij}], [D_{ij}]^\beta$$

اگر $q > q_0$ باشد حالت بعدی بصورت تصادفی و با احتمال این رابطه بدست می آید:

$$p_{kij} = \frac{[Ph(r,s)].[D(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(j)} [Ph(r,u)].[D(r,u)]^\beta}$$

الگوریتم کلی حرکت

رابطه فوق احتمال انتخاب مسیر برای مورچه k را از شهر r جهت رفتن به شهر l را نشان می دهد.

که دراین رابطه

$J_k(j)$: مجموعه شهرهای باقیمانده در مسیر مورچه ای که روی شهر r قرار دارد.

$Ph(r,u)$: میزان فرمون ترشح شده روی مسیر r تا u .

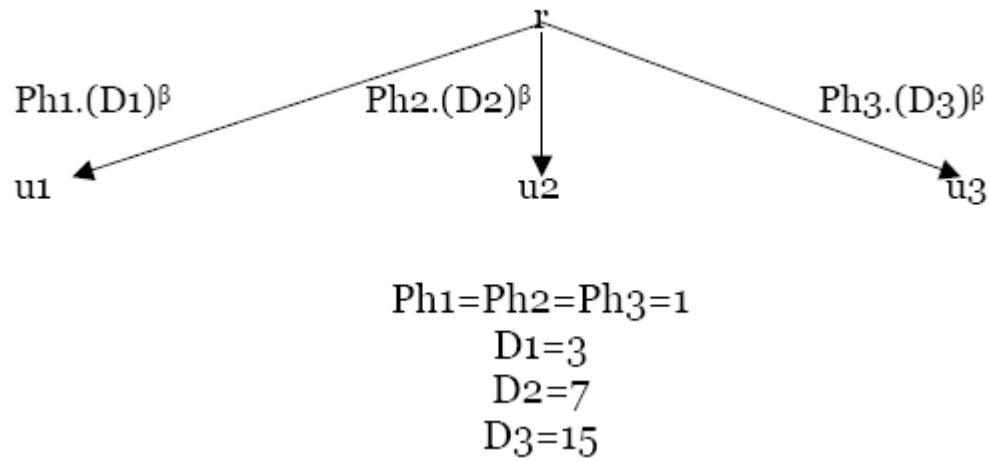
$D(r,u)$: معکوس مسافت r تا u هرچه مسافت کمتر باشد D بیشتر میشود.

B : یک متغیر تشخیص نسبت اهمیت فرمون در مقابل فرمون.

q_0 : یک پارامتر که مقدار 0 یا یک را به خود می گیرد.

q : مقدار تصادفی بین $[0,1]$ شامل می شود.

الگوریتم کلی حرکت



نتیجه گیری

توجه به کولونی مورچه‌ها و نیز استفاده وسیع از آن بیشتر ناشی از توجه خاصی بوده که پیشتر، بیولوژیست‌ها به کولونی مورچه‌ها داشته‌اند. چه بسا سیستم‌های دیگر طبیعی نیز باشند که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند یا اگرهم مطالعه شده‌اند با دید معطوف به هوشمندی و بهینه‌سازی نبوده است.

بنابراین می‌توان تصور کرد که در سال‌های آینده روش‌های زیاد دیگری جهت بهینه‌سازی و نیز کنترل هوشمند با استفاده از سیستم‌های طبیعی پیشنهاد شوند. تا به حال به کرات به مزایای این نوع هوشمندی اشاره کرده‌ایم اما اکنون بار دیگر تأکید می‌کنیم که این نوع از هوشمندی علاوه بر تمامی مزایای مهندسی، یک مزیت عمده و اصلی دارد: تمامی این روش‌ها قابلیت تعمق زیستی دارند (Biologicaly plusible) به این معنی که طبیعت آنها را در طی میلیون‌ها سال به عنوان روش بهینه انتخاب کرده است. پس این سؤال پیش می‌آید که آیا ما می‌توانیم روشی بهتر از روش‌های طبیعت ارائه دهیم؟