

به نام ایزد منان

تمرین اول درس مبانی هوش محاسباتی، «مبانی الگوریتم‌های تکاملی»



استاد درس: دکتر عبادزاده



پاییز ۹۹ - دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

نکاتی در مورد این تمرین نیاز به توجه و دقت دوستان دارد.

۱- تمرین به دو بخش تئوری و پیاده‌سازی تقسیم شده است. بخش تئوری یک هفته فرصت دارد اما به دلیل امتحانات میانترم، برای بخش پیاده‌سازی سه هفته زمان در نظر گرفته ایم. لذا به هیچ عنوان **تمدید نخواهد شد**.

۲- در جدول زیر نحوه اعمال جریمه تاخیر در ارسال تمرین‌ها ذکر شده است.

میزان جریمه	میزان تاخیر (روز)
هر روز ۵٪	۱ الی ۲ روز
هر روز ۱۰٪	۲ الی ۶ روز

در صورتی که بین ۷ تا ۱۴ روز تاخیر داشته باشید، نمره شما از ۵۰٪ محاسبه می‌شود و پس از این بازه با توجه به سایر تمرین‌ها و زمان تحویل، به تمرین ارسالی نمره‌ای تعلق نمی‌گیرد.

۳- هرگونه کپی کردن باعث عدم تعلق نمره به تمامی افراد مشارکت کننده در آن می‌شود.

۴- دوستان فایل ارسالی خود را به صورت فشرده و به صورت «شماره دانشجویی_ HW1» مانند HW1_۹۷۳۱۱۲۳ نام گذاری کنید. در این فایل باید مواردی نظیر کدها، فایل پی‌دی‌اف گزارش و سایر موارد مورد نیاز در هنگام بررسی وجود داشته باشد و صرفاً این فایل در روز ارائه در نظر گرفته می‌شود.

۵- کدهای خود را به صورت مناسب کامنت گذاری کنید. به صورتی که بتوان حداقل روال اجرا و موارد مورد نیاز را درک کرد.

۶- سعی کنید ابتدا تمامی سوالات و بخش‌ها را مطالعه کنید.

۷- در صورت هرگونه سوال یا مشکل می‌توانید با تدریس‌یاران درس از طریق ایمیل در ارتباط باشید.

ci.fall2020.tas@gmail.com

۱- تنوع و انتخاب طبیعی چه ارتباطی با یکدیگر دارند؟ آیا این تضاد فرآیند تکامل را تسهیل میکند یا آن را مشکل‌تر می‌کند؟ ارتباط آن‌ها با جستجوی‌های عمومی و محلی را توضیح دهید.

۲- مزایا و معایب دو روش $(\mu + \lambda)$ و (μ, λ) را نسبت به یکدیگر توضیح دهید.

۳- یک بازنمایی مناسب از مسئله چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟ انواع روش‌های بازنمایی را نام ببرید.

۴- در مورد شروط خاتمه به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف) در تعیین شرط خاتمه، شرط تعداد ارزیابی انجام شده چه مزیتی نسبت به شرط تعداد نسل دارد.

ب) منظور از معیار عدم تنوع به عنوان شرط خاتمه چیست؟ چرا از این معیار استفاده می‌کنند؟

۵- فرض کنید که می‌خواهیم از بین جمعیت زیر بازماندگان را انتخاب ۴ عضو را انتخاب کنیم (شایستگی آن‌ها داده شده است). ۴ روش انتخاب زیر را بر روی این جمعیت اعمال کنید، نتیجه را نشان داده و برای هر کدام فشار انتخاب را محاسبه کنید. (راه حل و نحوه انتخاب اعداد تصادفی نمره دارد).

۲ ۶ ۵ ۸ ۴ ۳ ۱ ۱

الف) k بهترین ($k = 4$) (انتخاب ۴ موجود با بهترین شایستگی)

ب) انتخاب متناسب با شایستگی (انتخاب موجودات پس از محاسبه احتمال‌ها را با روش roulette wheel)

ج) انتخاب متناسب با رتبه (انتخاب موجودات پس از محاسبه احتمال‌ها را با روش roulette wheel)

د) SUS^1

۶- تابع هدف به صورت عبارت ریاضی، بازنمایی و عملگرهای جهش و بازترکیبی را برای مسئله VRP^2 مشخص کنید. و بازنمایی خود را با یک مثال ساده بررسی کنید.

این مسئله به این صورت است که می‌خواهیم با اسفاده از چند ماشین از یک مکان (مختصات) بسته‌هایی را بین مشتریان (که هر کدام دارای مختصاتی است) در یک مجموعه از مسیرها توزیع کنیم به این صورت که بسته‌ها در کمترین زمان به مقاصد خود برسند و همه ماشین‌ها به محل اولیه خود بازگردند. به این نکته توجه داشته باشید که همه ماشین‌ها هم زمان از مبدا، شروع به حرکت می‌کنند. (برای توضیحات بیشتر به لینک زیر رجوع کنید^۳).

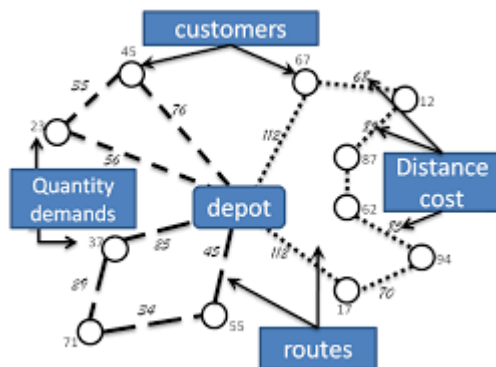
ادامه صفحه بعد ↓

¹ Stochastic Universal Sampling

² Vehicle Routing Problem

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem

در مورد بازنمایی به این نکته توجه کنید که یک سری مختصات مشتریان و مختصات مبدا ماشین‌ها داریم، می‌خواهیم بهترین مجموعه مسیر برای ماشین‌ها داشته باشیم به طوری که مبدا و مقصد همه مسیرها یکسان و همان depot است همانند شکل زیر.



بین هر دو مختصات مسیری با فاصله اقلیدسی وجود دارد و سرعت همه ماشین‌ها یکسان است.

اگر نوشتن عبارت ریاضی تابع هدف دشوار است می‌توانید از شبه کد برای توصیف این تابع استفاده کنید ولی علاوه بر شبه کد باید توضیحی از آن ارائه دهید و با یک مثال روی یک کروموزم دلخواه درستی آن را نشان دهید.

۷- روش SUS^1 و انتخاب متناسب با شایستگی با هم مقایسه کنید. اگر جمعیت زیاد نباشد کدام یک از روش‌ها را برای تکامل مناسب‌تر می‌دانید؟ چرا؟

۸- هنگامی که در یک نسل شایستگی‌های اعضا نزدیک به هم باشد (مثلاً اندازه جمعیت خیلی زیاد باشد) بعد از چند نسل شایستگی تمام اعضا یکی شده و سکون رخ داده و دیگر تکاملی رخ نمی‌دهد. برای حل این مشکل یکی از راهکارها این است که شایستگی‌ها را مقیاس می‌کنند. دلیل موثر بودن این راهکار را با ذکر یک مثال توضیح دهید.

۹- چرا روش $(\mu + \lambda)$ وقتی از روش خود تطبیقی استفاده می‌شود، همیشه مناسب نیست و چه مشکلی می‌تواند ایجاد کند؟

۱۰- در روش استراتژی تکاملی، چرا ابتدا σ و سپس x را جهش می‌دهیم؟

¹ Stochastic Universal Sampling

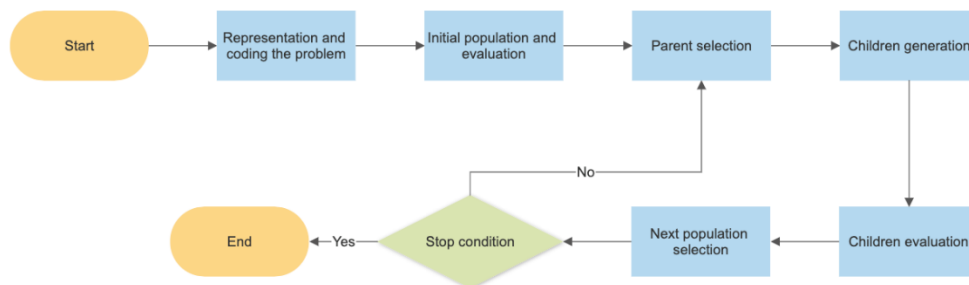
بخش دوم - مسائل برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی

در این بخش علاوه بر کد و نمودارها، پاسخ تشریحی و تحلیل شما حائز اهمیت است.

در این قسمت از تمرین می‌خواهیم با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی مسائل بهینه‌سازی^۱ و NP-Complete را حل کنیم تا شما دوستان بیشتر با نحوه حل و پیاده‌سازی این نوع از الگوریتم‌ها آشنا شوید.

قبل از شرح مسائل بهتر است به کلیت الگوریتم‌های تکاملی بپردازیم. فلوچارت کلی این الگوریتم‌ها در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید، در ابتدا باید یک بازنمایی^۲ متناسب با فضای مسئله که مهمترین گام در حل این نوع مسائل محسوب می‌شود را پیدا کنید. سپس باید مراحل زیر را طی کنید که تقریباً در تمامی این نوع سوالات به یکسان است:

- ۱- تولید جمعیت اولیه و ارزیابی^۳ آن‌ها
- ۲- انتخاب والدین^۴
- ۳- تولید فرزندان که شامل روش‌های بازترکیبی^۵ و جهش^۶ می‌باشد
- ۴- ارزیابی فرزندان
- ۵- انتخاب بازماندگان^۷
- ۶- بررسی شرط خاتمه^۸



شکل ۱- فلوچارت کلی الگوریتم‌های تکاملی

حال می‌خواهیم سه مسئله که ادامه بیان شده‌اند را با استفاده از این نوع الگوریتم‌ها حل کنیم. توجه کنید که مسئله آخر امتیازی است.

¹ Optimization

² Representation

³ Evaluation

⁴ Parent selection

⁵ Cross-over

⁶ Mutation

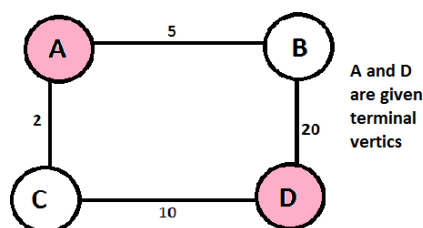
⁷ Remaining selection

⁸ Stop condition

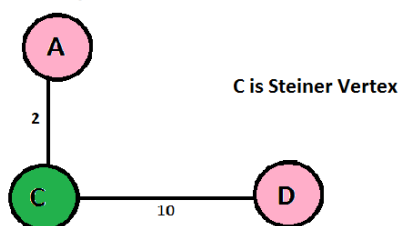
درخت اشتاینر

اولین مسئله‌ای که با الگوریتم تکاملی حل می‌کنیم، درخت اشتاینر^۱ نام دارد. در این مسئله تعدادی راس ترمینال^۲ و راس اشتاینر^۳ و همچنین یال‌هایی بین آن‌ها وجود دارد. هدف کمینه کردن مجموع یال‌ها برای اتصال راس‌های ترمینال به یکدیگر می‌باشد. برای فهم دقیق‌تر این مسئله به لینک موجود در پانوشت مراجعه کنید.^۴

در شکل زیر مثالی از مسئله درخت اشتاینر آورده شده است:



Below is Minimum Steiner Tree for above Graph



فرمت ورودی

ورودی در فایل `steiner_in.txt` برای شما قرار داده شده است. در خط اول ورودی به ترتیب تعداد راس‌های اشتاینر، تعداد راس‌های ترمینال و تعداد یال‌ها نوشته شده است. در سطرهای بعدی، ابتدا مختصات راس‌های اشتاینر، سپس مختصات راس‌های ترمینال و در نهایت شماره راس‌های دو سر هر یال نوشته شده است. دقت کنید شماره راس‌ها و همچنین یال‌ها از صفر شروع می‌شود و به ترتیب نوشته شده در ورودی شماره‌گذاری می‌شوند. فاصله بین هر دو راس را اقلیدسی در نظر بگیرید. نمونه ورودی را در اینجا می‌بینید:

```
2 2 4
0 0  |-----> Steiner Vertices
1 1
0 1  |-----> Terminal Vertices
1 0
0 2
0 3  |-----> Edges
1 2
1 3
```

```
V0 (Steiner) = (0, 0)
V1 (Steiner) = (1, 1)
V2 (Terminal) = (0, 1)
V3 (Terminal) = (1, 0)
E0 = between V0 and V2
E1 = between V0 and V3
E2 = between V1 and V2
E3 = between V1 and V3
```

¹ Steiner Tree Problem

² Terminal Vertices

³ Steiner Vertices

⁴ <https://www.geeksforgeeks.org/steiner-tree/>

فرمت خروجی

خروجی را در فایل steiner_out.txt قرار دهید. در هر سطر خروجی شماره یکی از یال‌های انتخاب شده نوشته می‌شود. در سطر آخر نیز مجموع یال‌ها را بنویسید. خروجی متناظر با نمونه ورودی را در اینجا می‌بینید:

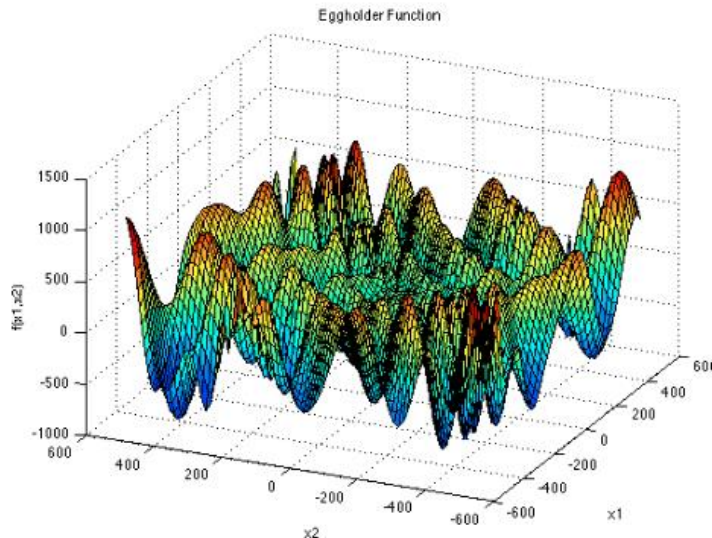
0
1
2

رسم نمودار

درخت کمینه را رسم کنید به این صورت که یال‌ها با رنگ آبی و راس‌های ترمینال نیز با رنگ قرمز مشخص باشند. (رسم راس‌های اشتاینر ضروری نیست).

تابع Eggholder

در این مسئله شما باید منیّم سراسری تابع `eggholder` را با توجه به استراتژی های تکاملی (ES)^۱ پیدا کنید. دقت کنید که در صورت استفاده از الگوریتم های دیگر نمره تعلق نخواهد گرفت. شکل و توصیف ریاضی تابع به صورت زیر است:



$$f(\mathbf{x}) = -(x_2 + 47) \sin\left(\sqrt{\left|x_2 + \frac{x_1}{2} + 47\right|}\right) - x_1 \sin\left(\sqrt{|x_1 - (x_2 + 47)|}\right)$$

توجه کنید که این تابع در دامنه $[-512, 512]$ مورد بررسی قرار دهید. منیّم سراسری این تابع در نقطه $x = 512, y = 404.2319$ با مقدار -959.6407 است. در این سوال تابع شایستگی را معکوس قدر مطلق تفاضل مقدار تابع از مقدار منیّم سراسری داده شده در نظر بگیرید.

به نکات زیر توجه فرمایید:

- جمعیت اولیه باید به صورت تصادفی یکنواخت انتخاب شود.
- مانند یک سوال که نقطه منیّم سراسری نمی دانید حل کنید. در اختیار گذاشتن این نقطه صرفاً برای این است که مشاهده کنید که الگوریتم پیاده سازی شده درست عمل می کند یا خیر. (البته غیر از استفاده آن در تابع شایستگی)
- در حل سوال از منیّم سراسری داده شده استفاده نکنید.
- اندازه قدم باید توسط روش خود تطبیقی تعیین شود.

¹ Evolution Strategy

شیفت بندی پرستاران (امتیازی)

با توجه به شیوع کرونا و افزایش مراجعه کنندگان به بیمارستان‌ها، بیمارستان مسیح دانشوری با کمبود پرستاران مواجه شده و می‌خواهد پرستاران را جدیدی را استخدام کند. با توجه به اینکه پرستاران در ۷ روز هفته و در شیفت‌های مشخصی می‌توانند حضور پیدا کنند (نوبت صبح، نوبت بعد از ظهر و نوبت شب)، با تعدادی از محدودیت برای شیفت بندی پرستاران استخدامی رو به رو هستیم:

- هر پرستار نمی‌تواند در دو شیفت متوالی کار کند.
- هر پرستار اجازه ندارد تا بیش از ۵ شیفت در هفته کار کند.
- در هر شیفت محدودیت‌های زیر را داریم:
 - ۱- در شیفت صبح: ۲ یا ۳ پرستار می‌توانند باشند.
 - ۲- در شیفت بعد از ظهر: ۲ تا ۴ پرستار می‌توانند باشند.
 - ۳- در شیفت شب: ۱ یا ۲ پرستار می‌توانند باشد.

توجه کنید که پرستاران استخدامی می‌توانند در همه شیفت‌هایی که بیمارستان برای آن‌ها تعیین می‌کند، حضور داشته باشند.

با استفاده از الگوریتم تکاملی، یک شیفت بندی مناسب برای ۸ پرستار را برای این بیمارستان پیدا کنید.

این مسئله جواب‌های مختلفی خواهد داشت که پیدا کردن یک جواب کفایت می‌کند.

برای خروجی این مسئله باید یک فایل با نام nurse_out.txt ذخیره کنید که جواب به صورت زیر در آن ذخیره شده باشد:

- هر سطر معادل یک روز است بنابراین در کل جواب شامل ۷ سطر به ترتیب از شنبه تا جمعه
- هر سطر شامل مجموعه‌ای از اعداد است که این مجموعه اعداد باید با فاصله از هم جدا شده باشند. هر مجموعه اعداد به ترتیب از چپ به راست بیانگر شیفت صبح، شیفت بعد از ظهر و شیفت شب است. اگر در یک شیفت چند پرستار بودند آن‌ها را با " , " از هم جدا کنید و اگر یک پرستار بود فقط عدد آن را بگذارید.
- هر عدد متناظر با شماره پرستار مشغول در آن شیفت می‌باشد. شماره پرستاران را با اعداد ۱ تا ۸ مشخص می‌شود.
- توجه کنید که همه پرستاران در حداقل یک شیفت از هفته حضور دارند.

Output :

۱,۲ ۴,۵ ۳,۷

۴,۵ ۳,۲,۱ ۴

۱,۴ ۳,۲ ۵,۷

۵,۴,۳ ۱,۲ ۳

۱,۲ ۳,۴,۵,۶ ۱

۳,۴ ۵,۶,۸ ۲,۱

۱,۲,۳ ۴,۵,۶ ۱

یک نمونه جواب (این جواب مسئله ما نیست صرفاً برای نشان دادن خروجی است) :

ارزشیابی

حتما به نکات ذکر شده در این قسمت توجه کنید زیرا نمره دهی سوالات پیاده‌سازی بر این اساس می‌باشد.

شما باید موارد زیر را در گزارش کار خود برای هر سه مسئله ذکر شده مشخص کنید.

۱. نحوه بازنمایی مسئله
۲. تعداد جمعیت والدین و تعداد فرزندان (مقادیر مختلف را برای هر دو امتحان کرده، سرعت همگرایی را در گزارش خود مشخص کرده و آن را تحلیل کنید).
۳. نحوه انتخاب والدین
۴. نحوه انتخاب بازماندگان
۵. نحوه ترکیب کروموزوم‌ها با همدیگر و مقدار احتمال ترکیب و تاثیر آن در سرعت همگرایی
۶. نحوه جهش کروموزوم‌ها با همدیگر و مقدار احتمال جهش و تاثیر آن در سرعت همگرایی
۷. شرط خاتمه

لازم است که برنامه شما در طول اجرای الگوریتم، در هر نسل مقدار بهترین و بدترین و میانگین شایستگی در جمعیت هر نسل را چاپ کند. همچنین خروجی سوالات درخت اشتاینر و زمان‌بندی پرستاران را به همان فرمتی که در صورت سوالات ذکر شده در فایل‌های جداگانه قرار دهید.

