

تمرینات کتاب هوش مصنوعی – جلد ۱

ویراست چهارم (۲۰۲۰)

تمرین‌های فصل ۱: مقدمه

بعضی از این تمرین‌ها برای شبیه‌سازی بحث و بعضی دیگر به عنوان پروژه‌های ترم محسوب می‌شوند. از طرف دیگر، فعلاً می‌توانید برای درک آن‌ها تلاش کنید، ولی پس از مطالعه‌ی کتاب، می‌توانید مجدداً آن‌ها را بررسی کنید.

۱. موارد زیر را تعریف کنید:

الف. هوش	ب. هوش مصنوعی	پ. عامل
ت. عقلایی (خردمندی)	ث. استدلال منطقی	

۲. مقاله اصلی تورینگ را در مورد AI مطالعه کنید (تورینگ، ۱۹۵۰). در این مقاله ایرادهایی را در مورد مدل جامع و تست هوشمندی خود بحث کرده است. کدام یک از آن‌ها هنوز مهم است؟ آیا می‌توانید ایرادهای تازه‌ای را مطرح کنید؟ در این مقاله او پیش‌بینی کرد که در سال ۲۰۰۰، کامپیوتر یا پژوهشگر ناشی، ۳۰٪ شانس عبور از تست پنج دقیقه‌ای تورینگ را خواهد داشت. فکر می‌کنید شانس کامپیوترهای امروزی چقدر است؟ در ۵۰ سال آینده چگونه؟

۳. هر ساله جایزه‌ی لوینر^۱ به برنامه‌ای داده می‌شود که بهتر از همه بتواند در نسخه‌ای از آزمون تورینگ قبول شود. در مورد آخرین جایزه لوینر تحقیق و گزارش تهیه کنید. از چه تکنیک‌هایی استفاده می‌کند؟ چگونه وضعیت فعلی هوش مصنوعی را پیش می‌برد؟

۴. فرض کنید برنامه ANALOGY را طوری تغییر دادیم که در تست IQ استاندارد می‌تواند ۲۰۰ امتیاز بیاورد. آیا این برنامه هوشمندتر از انسان است؟ شرح دهید.

۵. دسته‌های شناخته شده‌ای از مسأله‌ها وجود دارند که برای کامپیوترها کنترل‌ناپذیراند و دسته‌های دیگر تصمیم‌ناپذیراند. آیا این موضوع به معنای غیرممکن بودن هوش مصنوعی است؟

۶. فرض کنید برنامه‌ی SYSTEM از ایوانز را تغییر دادیم تا در تست IQ بتواند ۲۰۰ امتیاز بگیرد. آیا این برنامه هوشمندتر از انسان است؟ شرح دهید.

۷. ساختار عصبی Aplysia به‌طور گسترده (اولین بار توسط Nobel Eric Candel) مورد مطالعه قرار گرفت، زیرا فقط ۲۰,۰۰۰ نورون داشت که اغلب آن‌ها بزرگ و به آسانی قابل پردازش بودند. با فرض این‌که زمان چرخه نورون Aplysia مثل نورون انسان باشد، قدرت محاسباتی آن، برحسب

1. Loebner Prize

- به هنگام سازی حافظه به ازای هر ثانیه، در مقایسه با کامپیوتر پیشرفته‌ای که در شکل ۱-۳ شرح داده شد، چیست؟
۸. چرا درون‌نگری (گزارش تفکرات داخلی) دقیق نیست؟ آیا راجع به آنچه که فکر می‌کنم، دچار اشتباه می‌شوم؟ بحث کنید.
۹. هوش مصنوعی مربوط به نمونه‌هایی از سیستم‌های کامپیوتری زیر، تا چه حدی است؟
- ◀ اسکنر بارکد (بارکدخوان) در سوپرمارکت.
 - ◀ موتورهای جستجو در وب.
 - ◀ منوهای تلفن که با صدا کار می‌کند.
 - ◀ الگوریتم‌های مسیریابی اینترنت که به طور پویا براساس وضعیت شبکه عمل می‌کنند.
۱۰. هوش مصنوعی مربوط به نمونه‌هایی از سیستم‌های کامپیوتری زیر، تا چه حدی است؟
- ◀ اسکنر بارکد (بارکدخوان) در سوپرمارکت.
 - ◀ منوهای تلفن که با صدا کار می‌کند.
 - ◀ ویژگی‌های تصحیح گرامر و تلفظ در واژه‌پرداز Word مایکروسافت.
 - ◀ الگوریتم‌های مسیریابی اینترنت که به طور پویا براساس وضعیت شبکه عمل می‌کنند.
۱۱. بسیاری از مدل‌های محاسباتی کنش‌های شناختی که پیشنهاد شدند، شامل اعمال ریاضی پیچیده‌ای هستند، مثل پیچش^۱ یک تصویر با استفاده از فیلتر گوسی یا پیدا کردن مقدار کمینه‌ی تابع آنتروپی^۲. اغلب انسان‌ها (و یقیناً تمام حیوانات) هرگز این محاسبات را یاد نمی‌گیرند و تقریباً هیچ کس قبل از ورود به دانشگاه آن‌ها را یاد نمی‌گیرد و تقریباً هیچ کس نمی‌تواند پیچش یک تابع را به وسیله فیلتر گوسی، به خودی خود یاد بگیرد. اگر بگوییم "سیستم بینایی" این نوع ریاضیات را انجام می‌دهد، ولی هیچ کس ایده‌ای راجع به چگونگی انجام آن ندارد، چه حسی پیدا می‌کنید؟
۱۲. برخی مولفان ادعا کرده‌اند که درک و مهارت‌های حرکتی، مهمترین قسمت هوش است و توانایی‌های سطح بالاتر "لزوماً" ضروری نیستند - قابلیت‌هایی که به تسهیلات بنیادین اضافه می‌شوند.
۱۳. چرا تکامل باعث به وجود آمدن سیستم‌هایی می‌شود که به طور عقلایی عمل کنند؟ این سیستم‌ها برای چه اهدافی طراحی شدند؟
۱۴. آیا AI یک علم است یا یک مهندسی؟ یا هیچ کدام نیست یا هر دو است؟ توضیح دهید.
۱۵. یقیناً کامپیوترها نمی‌توانند هوشمند باشند. فقط کارهایی را انجام می‌دهند که برنامه‌نویسان به آن‌ها می‌گویند. آیا جمله آخر درست است و آیا جمله قبلی را نتیجه می‌دهد؟

ویراست چهارم (۲۰۲۰) > ۳

۱۶. یقیناً حیوانات نمی‌توانند هوشمند باشند. فقط کارهایی را انجام می‌دهند که ژن به آنها می‌گوید.

آیا جمله آخر درست است و آیا جمله قبلی را نتیجه می‌دهد؟

۱۷. یقیناً حیوانات، انسان‌ها و کامپیوترها نمی‌توانند هوشمند باشند. فقط کارهایی را انجام می‌دهند که

اتم سازنده‌ی آنها براساس قوانین فیزیک مشخص می‌کند. آیا جمله آخر درست است و آیا از

جمله قبلی نتیجه می‌شود؟

۱۸. متون AI را بررسی کنید تا پی ببرید که آیا کارهای زیر توسط کامپیوترها قابل انجام است یا خیر؟

الف. بازی پینگ پونگ (Ping – Pong)

ب. رانندگی در مرکز Cairo, Egypt

پ. رانندگی در Victorville, California

ت. خرید خواربار هفتگی از سوپرمارکت

ث. خرید خواربار موردنیاز یک هفته از وب

ج. انجام بازی بریج در یک سطح رقابتی

چ. کشف و اثبات قضایای جدید ریاضی

ح. نوشتن یک داستان خنده‌دار

خ. ارائه نظریه حقوقی در حوزه‌ی خاصی از قانون

د. ترجمه‌ی شفاهی انگلیسی به سوئدی

ذ. انجام یک عمل جراحی – پیچیده

۱۹. برای کارهای غیرممکن فعلی، سعی کنید پی ببرید مشکلات چیست و پیش‌بینی کنید که در

صورت امکان، چه زمانی این مشکلات برطرف می‌شوند.

۲۰. زیرحوزه‌های گوناگونی از AI، با تعریف یک کار استاندارد و دعوت از پژوهشگران برای انجام

بهینه‌ی آنها، مورد بحث و جدل قرار می‌گیرد. نمونه‌ها عبارتند از: DARPA Grand Challenge

برای اتومبیل‌های رباتیک، The International Planning Competition و لیگ فوتبال رباتیک

Robocup، رویداد بازیابی اطلاعات TREC و مباحثه در مورد ترجمه ماشینی و تشخیص صدا.

این مباحثه‌ها، تا چه حدی موجب پیشرفت شرایط فعلی AI شدند؟ آنها تا چه حدی به حوزه

جدید آسیب رساندند؟

تمرین‌های فصل ۲: عامل‌های هوشمند

۱. فرض کنید "معیار کارایی" فقط با T مرحله‌ی زمانی اول محیط سروکار دارد و هر چیز پس از آن را نادیده می‌گیرد. نشان دهید که یک "کنش عامل خردمند" ممکن است نه تنها به حالت محیط، بلکه به مرحله‌ی زمانی نیز بستگی داشته باشد.
۲. عقلایی بودن توابع عامل جاروبرقی را بررسی می‌کنیم:
 - الف. نشان دهید که تابع عامل ساده‌ای که در شکل ۲-۳ آمده است، تحت شرایطی که مطرح شد، عقلایی است.
 - ب. یک تابع عامل خردمند را برای معیار کارایی اصلاح شده‌ای که یک نقطه برای هر حرکت در نظر می‌گیرد، تشریح کنید. آیا برنامه عامل متناظر آن نیاز به حالت درونی دارد؟
 - پ. طراحی مختلف عامل را برای حالتی بحث کنید که مربع‌های تمیز می‌توانند کثیف شوند و جغرافیای محیط ناشناخته است. آیا عامل می‌تواند چیزهایی را از تجربیات خود بیاموزد؟ اگر بلی، چه چیزی را باید یاد بگیرد؟
۳. مقاله‌ای در مورد رابطه‌ی بین تکامل، خودمختاری، هوش و یادگیری بنویسید.
۴. برای هر یک از گزاره‌های زیر مشخص کنید که درست است یا نادرست، پاسخ خود را با مثال یا مثال نقض بیان کنید.
 - الف. عاملی که فقط اطلاعات جزئی را درباره‌ی حالتی حس (دریافت) می‌کند، نمی‌تواند کاملاً خردمند باشد.
 - ب. محیط‌های کاری وجود دارند که در آن‌ها، هیچ "عامل واکنشی پنهان" نمی‌تواند به طور خردمندانه (عقلایی) عمل کند.
 - پ. یک محیط کار وجود دارد که در آن، هر عاملی، خردمند است.
 - ت. ورودی "برنامه‌ی عامل"، مشابه ورودی "تابع عامل" است.
 - ث. هر تابع عامل، توسط ترکیبی از برنامه / ماشین، قابل پیاده‌سازی است.
 - ج. فرض کنید عاملی کنش خود را به طور یکنواخت تصادفی، از مجموعه‌ای از کنش‌های ممکن، انتخاب می‌کند. یک محیط کار قطعی وجود دارد که در آن، این عامل خردمند است.
 - چ. امکان دارد که عامل در دو محیط کار مختلف، کاملاً خردمند باشد.
 - ح. هر عامل، در "محیط غیرقابل مشاهده"، خردمند است.
 - خ. یک عامل کاملاً خردمند که بازی پوکر می‌کند، هرگز نمی‌بازد.
۵. برای هر یک از کنش‌های زیر، یک توصیف PEAS از محیط کاری ارائه دهید و آن را برحسب خواص بیان شده در بخش "خواص محیطی" مشخص کنید.

◀ اجرای روتین کف ژیمناستیک

◀ کاوش در سطح اقیانوس تیتان

◀ بازی فوتبال

◀ فروش کتاب دست دوم AI در اینترنت

◀ بازی تنیس در مقابل دیوار

◀ پرش ارتفاع

◀ پیشنهاد قیمت در یک مزایده

۶. برای هر یک از موارد زیر، یک توصیف PEAS برای محیط وظیفه ارائه دهید و آن را براساس خواص بیان شده در این فصل تشریح کنید:

◀ اجرای روتین کف ژیمناستیک

◀ کاوش در سطح اقیانوس تیتان

◀ بازی فوتبال

◀ فروش کتاب دست دوم AI در اینترنت

◀ بازی تنیس در مقابل دیوار

◀ پرش ارتفاع

◀ پیشنهاد قیمت در یک مزایده

۷. این واژه‌ها را تعریف کنید: عامل، تابع عامل، برنامه عامل، عقلایی، خودمختاری، عامل واکنشی، عامل مبتنی بر مدل، عامل مبتنی بر هدف، عامل مبتنی بر سودمندی، عامل یادگیرنده.

۸. [agent-fn-prog-exercise]: این تمرین، تفاوت‌های بین توابع عامل و برنامه‌های عامل را بررسی می‌کند.

الف. آیا بیش از یک برنامه عامل می‌تواند وجود داشته باشد که یک تابع عامل خاص را پیاده‌سازی کند؟ مثالی ارائه دهید یا نشان دهید که چرا ممکن نیست.

ب. آیا توابع عاملی وجود دارند که نتوانند توسط هیچ عامل پیاده‌سازی نشوند؟

پ. با توجه به یک معماری ثابت برای ماشین، آیا هر برنامه عامل می‌تواند دقیقاً یک تابع عامل را پیاده‌سازی کند؟

ت. با توجه به یک معماری با n بیت حافظه، چند برنامه‌ی عامل مختلف می‌تواند وجود داشته باشد؟

ث. فرض کنید برنامه عامل را ثابت نگه داریم، ولی سرعت ماشین را دوبرابر کنیم. آیا تابع عامل تغییر می‌کند؟

۹. یک برنامه عامل برای عامل‌های مبتنی بر هدف و مبتنی بر سودمندی بنویسید (به صورت شبکه کد).

تمرین‌های زیر با پیاده‌سازی محیط‌ها و عامل‌ها برای دنیای جاروبرقی سروکار دارند:

۱۰. [vacuume-start-exercise]: یک ترموستات ساده را در نظر بگیرید که وقتی درجه حرارت حداقل سه درجه زیر مقدار تنظیم شده باشد، کوره را روشن می‌کند و وقتی دما حداقل سه درجه بالای مقدار کمینه شده باشد، کوره را خاموش می‌کند. آیا ترموستات نمونه‌ای از یک عامل بازگشتی ساده، یک عامل واکنشی مبتنی بر مدل یا یک عامل مبتنی بر هدف است؟

۱۱. یک شبیه‌ساز محیط اندازه‌گیری کارایی را برای دنیای جاروبرقی که در شکل ۲-۸ آمده است، پیاده‌سازی کنید. پیاده‌سازی باید مؤلفه‌ای باشد، به طوری که حسگرها، محرک‌ها، و مشخصات محیط (اندازه، شکل، مکان گردوخاک، و غیره) به راحتی قابل تغییر باشند. (توجه: از کد آنالین می‌توانید استفاده کنید).

۱۲. [vacuume-motion-penalty-exercise]: یک عامل واکنشی ساده را برای محیط جاروبرقی در تمرین ۲-۱۰ پیاده‌سازی کنید. شبیه‌ساز محیط این عامل را برای تمام پیکربندی‌های ممکن گرد و خاک و مکان‌های عامل در آغاز کار، اجرا کنید. امتیاز کارایی عامل را برای هر پیکربندی و میانگین کل امتیاز ذخیره کنید.

۱۳. [vacuume-unknown-geog-exercise]: شکل تغییر یافته‌ای از محیط جاروبرقی را در تمرین ۸ در نظر بگیرید که در آن، عامل برای هر حرکت، یک امتیاز جریمه می‌شود.

الف. آیا عامل واکنشی ساده می‌تواند برای این محیط، خردمند باشد؟ شرح دهید.

ب. در مورد عامل واکنشی دارای حالت چگونه؟ این عامل را طراحی کنید.

پ. اگر درک عامل، وضعیت کثیف / تمیز بودن هر مربع موجود در محیط را مشخص کند، پاسخ شما به (الف) و (ب) چه خواهد بود؟

۱۴. [vacuume-bump-exercise]: شکل تغییر یافته‌ای از محیط جاروبرقی را در تمرین ۸ در نظر بگیرید که در آن، جغرافیای محیط (وسعت، مرزها و موانع) مشخص نیست. پیکربندی اولیه گردوخاک نیز معلوم نیست. عامل می‌تواند به طرف بالا (Up)، پایین (Down)، چپ (Left) و راست (Right) برود.

الف. آیا عامل واکنشی ساده می‌تواند برای این محیط، خردمند باشد؟ شرح دهید.

ب. آیا عامل واکنشی ساده با تابع عامل تصادفی می‌تواند مثل عامل واکنشی ساده باشد؟ این عامل را طراحی کنید و کارایی آن را در چند محیط اندازه‌گیری کنید.

پ. آیا می‌توانید محیطی طراحی کنید که در آن، عامل تصادفی بسیار ضعیف عمل کند؟ نتایج را نشان دهید.

ت. آیا عامل واکنشی همراه با حالت، همانند عامل واکنشی ساده است؟ این عامل را طراحی کرده کارایی آن را در محیط‌های مختلف اندازه‌گیری کنید. آیا می‌توانید عامل خردمندی از این نوع طراحی کنید؟

۱۵. [vacuume-finish-exercise]: تمرین ۱۳ را برای حالتی تکرار کنید که به جای حسگر مکان، حسگر "برآمدگی" قرار گیرد. وقتی عامل می‌خواهد به مانعی برخورد یا از مرز محیط عبور کند، این حسگر عمل می‌کند. فرض کنید این حسگر، کار را متوقف می‌کند. عامل چگونه باید رفتار کند؟

۱۶. محیط‌های جاروبرقی در تمرین قبل قطعی هستند. برنامه‌های عامل را برای هر یک از نسخه‌های غیرقطعی زیر بحث کنید:

الف. قانون مورفی: در 25% از مواقع، عمل *Suck* در صورت کثیف بودن کف، آن را تمیز نمی‌کند و در صورت تمیز بودن کف، خاک را روی زمین می‌ریزد. اگر حسگر گردوخاک، در 10% از زمان پاسخ نادرست بدهد، برنامه شما چه کاری انجام می‌دهد؟

ب. بچه کوچک: در هر مرحله از زمان، هر مربع 10% شانس کثیف شدن دارد. آیا می‌توانید برای این حالت یک عامل خردمند طراحی کنید؟

تمرین‌های فصل ۳: حل مسئله با جستجو

۱. توضیح دهید چرا فرمول‌بندی مسئله باید از فرمول‌بندی هدف پیروی کند.
۲. هر یک از مسئله‌های زیر را به طور کامل فرمول‌بندی کنید. فرمولی انتخاب کنید که دقت کافی برای پیاده‌سازی داشته باشد.
 - الف. شش جعبه‌ی شیشه‌ای در یک ردیف واقع‌اند که هر کدام قفل دارند. هر کدام از پنج جعبه‌ی اول، کلیدی دارد که جعبه‌ی بعدی را باز می‌کند. جعبه‌ی آخر حاوی موز است. کلید جعبه‌ی اول را دارید و می‌خواهید به موز برسید.
 - ب. با دنباله‌ی ABABAECCEC یا به طور کلی با هر دنباله‌ی متشکل از A، B، C و E شروع می‌کنید. می‌توانید این دنباله را با استفاده از معادلات زیر تبدیل کنید: $AB = BC$ ، $AC = E$ ، $BB = E$ و به ازای هر x داریم $Ex = x$. به عنوان مثال ABBC به AEC و سپس AC و سپس E تبدیل می‌شود. هدف شما ایجاد دنباله‌ی E است.
 - پ. یک توری $n \times n$ از مربع‌ها وجود دارد که هر مربع در ابتدا یک سطح بدون رنگ یا یک گودال بی‌انتهاست. شما در یک مربع مسطح بدون رنگ می‌ایستید و آن مربع را رنگ می‌کنید یا به مربع رنگ نشده‌ی همجوار می‌روید. می‌خواهید کل کف را رنگ کنید.
 - ت. یک کشتی کانتینری در بندر است و با کانتینرهای زیادی پر شده است. در آن ۱۳ ردیف کانتینر وجود دارد که پهنای هر کدام ۱۳ کانتینر و ارتفاع آن ۵ کانتینر است. شما یک جرثقیل را کنترل می‌کنید که به هر مکانی در بالای کشتی منتقل شود، کانتینر آن مکان را بردارد و روی اسکله حرکت دهد. می‌خواهید کشتی را تخلیه کنید.
۳. هدف این است که یک روبات در هزارتوی (maze) هدایت شود. روبات در مرکز هزارتوی قرار دارد و رو به شمال است. می‌توانید کاری کنید که روبات به شمال، شرق، جنوب یا غرب نگاه کند. می‌توانید روبات را هدایت کنید تا مسافتی را رو به جلو طی کند، ولی قبل از خوردن به دیوار، متوقف می‌شود.
 - الف. این مسئله را فرموله (تدوین) کنید. اندازه‌ی فضای حالت چقدر است؟
 - ب. در حرکت در هزارتوی، تنها مکانی که نیاز به تغییر دارد، محل تقاطع دو یا چند راهرو است. این مسئله را با استفاده از این مشاهدات، دوباره فرموله کنید. اکنون اندازه‌ی فضای حالت چقدر است؟
 - پ. برای هر نقطه در هزارتوی، به هر یک از چهار جهت می‌توان حرکت کرد تا به یک نقطه برگشت برسیم و این تنها عملی است که نیاز به انجام آن داریم. مسئله را با استفاده از این کنش‌ها، دوباره فرموله کنید. آیا لازم است اکنون جهت روبات را نگه داریم؟
 - ت. در توصیف اولیه‌ی مسئله، با محدود کردن کنش‌ها و حذف جزئیات، مسئله را به طور انتزاعی بیان کردیم. سه نوع ساده‌سازی را که انجام شده‌اند، بیان کنید.

۴. یک توری از مربع‌های 9×9 دارید که هر کدام می‌توانند با قرمز یا آبی رنگ شوند. در ابتدا کل توری با آبی رنگ شده است، اما می‌توانید هر مربع را هر تعداد بار رنگ کنید. فرض کنید توری به 9 زیرمربع 3×3 تقسیم شده است و می‌خواهید تمام زیرمربع‌ها یک رنگ باشند ولی زیرمربع‌های همسایه رنگ‌های متفاوتی داشته باشند.

الف. این مسأله را به روش ساده‌ای فرمول‌بندی کنید. اندازه‌ی فضای حالت را محاسبه کنید.
 ب. هر مربع فقط یک بار باید رنگ شود. مسأله را دوباره فرمول‌بندی کنید و اندازه فضای حالت را محاسبه کنید.
 پ. با توجه به هدف، فقط لازم است رنگ‌آمیزی‌هایی را در نظر بگیریم که در آن‌ها، هر زیرمربع به طور یکنواخت رنگ شده باشد. مسأله را دوباره فرمول‌بندی و اندازه فضای حالت را محاسبه کنید.

ت. این مسأله چند جواب دارد؟

ث. قسمت‌های (ب) و (پ)، مسأله‌ی اصلی (الف) را انتزاعی کرده‌اند. آیا می‌توانید از جواب‌ها در مسأله‌ی (پ) به جواب‌ها در مسأله‌ی (ب) و از جواب‌ها در مسأله‌ی (ب) به جواب‌ها در مسأله‌ی (الف) برسید؟

۵. [two-friends-exercise]: فرض کنید دو دوست در شهرهای مختلفی در نقشه زندگی می‌کنند، مثل نقشه رومانی که در شکل ۳-۲ نشان داده شده است. در هر مرحله، می‌توانیم به طور همزمان هر دوست را به شهر همجوار در نقشه اتصال دهیم. مدت زمان لازم برای رفتن از شهر i به شهر همجوار j ، برابر با فاصله‌ی جاده‌ی (i, j) بین این دو شهر است، اما در هر مرحله، دوستی که اول می‌رسد باید منتظر بماند تا دوست دیگر نیز برسد و سپس مرحله بعدی آغاز شود. می‌خواهیم این دو دوست، هرچه زودتر به هم برسند:

الف. برای این الگوریتم جستجو، جزئیات فرموله‌کردن را بنویسید (می‌توانید چندین نمادگذاری را برای فرموله‌کردن ارائه دهید).

ب. فرض کنید $D(i, j)$ فاصله‌ی خط مستقیم بین شهرهای i و j باشد، کدام یک از توابع ابتکاری قابل قبول هستند: $D(i, j)$ ، $2.D(i, j)$ ، $D(i, j)/2$.

پ. آیا نقشه‌های کاملاً متصلی وجود دارند که جوابی برای آن وجود نداشته باشد؟

ت. آیا نقشه‌هایی وجود دارند که در آن‌ها، لازم باشد یک دوست دو بار یک شهر را ملاقات کند؟
 ۶. [8puzzle-parity-exercise]: نشان دهید که حالت‌های معمای ۸ به دو مجموعه‌ی مجزا تقسیم می‌شوند به طوری که هر حالت از هر حالت دیگر در همان مجموعه قابل دسترس است، در حالی که هیچ حالتی از هیچ حالت در مجموعه دیگر قابل دسترس نیست. رویه‌ای ارائه دهید که تصمیم بگیرد هر حالت در چه مجموعه‌ای است و توضیح دهید چرا این موضوع برای تولید حالت‌های تصادفی مفید است.

۷. [nqueens-size-exercise]: مسأله‌ی n وزیر را با استفاده از فرموله کردن /فرزایشی^۱ کارآمد که در بخش ۳-۲ آمده است، در نظر بگیرید. توضیح دهید چرا فضای حالت حداقل $\sqrt[3]{n!}$ حالت دارد و بزرگترین مقدار n را برآورد کنید که جستجوی جامع^۲ امکان‌پذیر باشد. (راهنمایی: با در نظر گرفتن حداکثر تعداد مربع‌هایی که وزیر می‌تواند در هر ستون گارد دهد، یک کران پایین برای ضریب انشعاب پیدا کنید).
۸. برای هر یک از موارد زیر، مسأله را به طور کامل فرموله کنید. فرموله کردن طوری دقیق باشد که بتوان آن را پیاده‌سازی کرد.
- الف. با استفاده از ۴ رنگ باید نقشه پیچیده‌ای را رنگ کنید، به طوری که هیچ دو ناحیه همجوار، رنگ یکسان نداشته باشند.
- ب. میمونی با سه فوت قد در اتاقی وجود دارد که موزهایی از سقف ۸ فوتی آویزان است. میمون می‌خواهد موزه را بگیرد. داخل اتاق دو جعبه به ارتفاع ۳ فوت وجود دارد که قابل جابه‌جایی بوده روی هم قرار می‌گیرند.
- پ. برنامه‌ای دارید که وقتی رکوردی را از فایلی دریافت می‌کند، پیام می‌دهد "رکورد ورودی معتبر است". پردازش هر رکورد مستقل از رکوردهای دیگر است. می‌خواهید مشخص کنید کدام رکورد نامعتبر است.
- ت. سه پارچ دارید که اندازه‌ی آن‌ها ۱۲ گالن، ۸ گالن و ۳ گالن است. شیر آب نیز در دسترس است. می‌توانید پارچ‌ها را خالی یا پر کنید، از یکی به دیگری بریزید یا بر روی زمین بریزید. باید یک گالن را اندازه‌گیری کنید (در یکی از پارچ‌ها فقط یک گالن باقی بماند).
۹. [path-planning-exercise]: مسأله‌ی یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه در صفحه را در نظر بگیرید که دارای موانعی به شکل چندجمله‌ای محدب مانند شکل ۳-۳۱ است. این وضعیت، حالت ایده‌آل برای مسأله‌ای است که روبات باید حل کند تا در یک محیط شلوغ حرکت کند.
- الف. فرض کنید فضای حالت شامل تمام موقعیت‌های (x, y) در صفحه است. چند حالت وجود دارد؟ چند مسیر به هدف وجود دارد؟
- ب. توضیح دهید که چرا کوتاه‌ترین مسیر از یک رأس چندضلعی به هر رأس دیگر در صحنه، باید شامل خطوط مستقیمی باشد که بعضی از رأس‌های چندضلعی را به هم متصل می‌کند. اکنون یک فضای حالت خوب تعریف کنید. اندازه این فضای حالت چقدر است؟
- پ. توابع لازم را برای پیاده‌سازی مسأله جستجو تعریف کنید. یک تابع پسین^۳ پیاده‌سازی کنید که رأسی را به‌عنوان ورودی دریافت کرده مجموعه‌ای از رأس‌ها را برمی‌گرداند که از طریق خط مستقیم، از یک رأس موردنظر قابل دستیابی است. همسایه‌ها را در یک چندضلعی در نظر داشته باشید. برای تابع ابتکاری از فاصله‌ی خط مستقیم استفاده کنید.

ت. یک یا چند الگوریتم این فصل را برای حل این نوع مسأله‌ها به کار ببرید و کارایی آن‌ها را شرح دهید.

۱۰. [negative-g-exercise] : در متن کتاب گفتیم که مسأله‌هایی با هزینه‌های مسیر منفی را در نظر نمی‌گیریم. در این تمرین آن را بیشتر شرح می‌دهیم:

الف. فرض کنید هزینه‌های کنش‌ها مقدار منفی بزرگی است. توضیح دهید که چرا این موضوع موجب می‌شود هر الگوریتم بهینه‌ای باید کل فضای حالت را کاوش کند.

ب. اگر اصرار کنیم که هزینه‌های مرحله‌ای باید بزرگ‌تر یا مساوی یک عدد منفی ثابت مثل c باشد، کمکی به موضوع خواهد کرد؟ گراف‌ها و درخت‌ها را در نظر بگیرید.

پ. فرض کنید مجموعه‌ای از عملگرها وجود دارند که حلقه‌ای را تشکیل می‌دهند، به طوری که اجرای مجموعه به یک ترتیب خاص، تغییری در حالت ایجاد نمی‌کند. اگر تمام این عملگرها هزینه‌ی منفی داشته باشند، رفتار بهینه‌ی مربوط به عامل در چنین محیطی چگونه است؟

ت. آیا می‌توانید یک دامنه واقعی را تصور کنید که هزینه‌های مرحله‌ای منجر به حلقه شوند؟

۱۱. [mc-problem] : مسأله کشیش و آدمخوار به این صورت است: سه کشیش و سه آدمخوار در یک طرف رودخانه قرار دارند. قایقی وجود دارد که هر بار، یک یا دو نفر می‌توانند بر آن سوار شوند و به طرف دیگر بروند، بدون این که در هر طرف، تعداد کشیشان کمتر از تعداد آدمخواران باشند. این مسأله در AI به این علت معروف است که موضوع اولین مقاله‌ای بود که فرموله کردن مسأله را از دیدگاه تحلیلی بررسی کرد.

الف. مسأله را دقیقاً فرموله کنید. فقط آن بخش‌هایی را مشخص کنید که به جواب معتبری منجر می‌شود. نمودار کامل فضای حالت را رسم کنید.

ب. مسأله را با استفاده از یک الگوریتم جستجوی مناسب به طور بهینه پیاده‌سازی و حل کنید. آیا بررسی حالت‌های تکراری ایده‌ی جالبی است؟

پ. با توجه به این که فضای حالت کوچک است، چرا فکر می‌کنید حل این معما دشوار است؟

۱۲. این عبارات را تعریف کنید: حالت، فضای حالت، درخت جستجو، گره جستجو، هدف، کنش، تابع پسین و ضریب انشعاب.

۱۳. تفاوت بین حالت دنیا، توصیف دنیا و گره جستجو چیست؟

۱۴. کنشی مثل رالی شامل دنباله طولانی از کنش‌های کوچک می‌شود: روشن کردن اتومبیل، رها کردن ترمز، شتاب به جلو و غیره. این نوع کنش‌های مرکب، از تعداد مراحل در دنباله جواب می‌کاهد و در نتیجه زمان جستجو کاهش می‌یابد. فرض کنید با ایجاد کنش‌های آبرترکیب از هر دنباله‌ی ممکن، این کار را به حد منطقی برسانیم. سپس هر نمونه از مسأله با یک عمل آبرترکیب حل می‌شود. توضیح دهید عمل جستجو در این فرمول‌بندی چگونه کار می‌کند. آیا این رویکرد برای تسریع در حل مسأله، عملی است؟

۱۵. آیا یک فضای حالت متناهی همیشه منجر به درخت جستجوی متناهی می‌شود؟ در مورد فضای حالت متناهی که یک درخت است چطور؟ آیا می‌توانید در مورد این که کدام نوع فضاهای حالت همیشه منجر به درختان جستجوی متناهی می‌شوند، دقیق‌تر باشید؟

۱۶. [graph-separation-property-exercise]: ثابت کنید جستجوی گراف، خاصیت تفکیک گراف را که در آن آمده است، برآورده می‌کند (راهنمایی: برای شروع، نشان دهید که این خاصیت در آغاز برقرار است و سپس نشان دهید که اگر قبل از یک تکرار الگوریتم برقرار باشد، پس از آن تکرار نیز برقرار است). یک الگوریتم جستجو را توصیف کنید که این خاصیت را نقض کند.

۱۷. کدام یک از موارد زیر درست و کدام یک نادرست است؟ پاسخ‌های خود را شرح دهید.

الف. جستجوی عمقی همیشه حداقل تعداد گره‌هایی به اندازه‌ی جستجوی A^* را همراه با تابع ابتکاری قابل قبول، ارائه می‌دهد.

ب. $h(n) = 0$ یک تابع ابتکاری قابل قبول برای معمای هشت است.

پ. A^* در روباتیک به کار نمی‌رود، زیرا ادراکات، حالت‌ها، و کنش‌ها پیوسته هستند.

ت. جستجوی عرضی "کامل" است حتی اگر مراحل با هزینه‌ی صفر مجاز باشند.

ث. فرض کنید یک مهره‌ی رخ در صفحه‌ی شطرنج می‌تواند هر تعدادی از مربع‌ها را در خط مستقیم طی کند، چه به صورت افقی و چه به صورت عمودی، ولی نمی‌تواند از روی مهره‌های دیگر عبور کند. فاصله‌ی مانهاتان یک تابع ابتکاری قابل قبول برای مسأله‌ی حرکت رخ از مربع A به مربع B با کمترین تعداد حرکت‌ها است.

۱۸. فضای حالتی را در نظر بگیرید که حالت شروع 1 است و هر حالت k ، دو پسین دارد: اعداد $2k$ و $2k + 1$.

الف. بخشی از فضای حالت را برای حالت‌های ۱ تا ۱۵ رسم کنید.

ب. فرض کنید حالت هدف 11 است. ترتیب ملاقات گره‌ها را در جستجوی عرضی، جستجوی با عمق محدود با عمق 3، و جستجوی تعمیق تکراری مشخص کنید.

پ. آیا جستجوی دوطرفه برای این مسأله مفید است؟ اگر هست، عملکرد آن را به طور مشروح توضیح دهید.

ت. ضریب انشعاب را در هر دو جهت جستجوی دوطرفه مشخص کنید.

ث. آیا پاسخ به (پ) منجر به فرموله کردن مجدد مسأله می‌شود تا بتوانید مسأله را طوری حل کنید که بدون جستجوی زیاد، با شروع از حالت 1 به حالت هدف برسید؟

۱۹. [brio-exercise]: یک راه‌آهن چوبی شامل مجموعه‌ای از قطعات مانند شکل ۳-۳۲ است. می‌خواهیم این قطعات را طوری در راه‌آهن قرار دهیم که اصلاً همپوشانی نداشته باشند و بین قطعات هیچ فاصله خالی نباشد.

الف. فرض کنید قطعات کاملاً به یکدیگر متصل می‌شوند و هیچ لقی بین آن‌ها وجود ندارد. فرموله کردن دقیقی از این کار را به صورت مسأله‌ی جستجو ارائه دهید.

ب. یک الگوریتم جستجوی ناآگاهانه‌ی مناسب برای این کار پیدا کنید و انتخاب خود را شرح دهید.

پ. توضیح دهید چرا با حذف یکی از قطعات "انشعابی" (fork)، مسأله غیرقابل حل می‌شود.

ت. برای کل اندازه‌ی فضای حالتی که توسط فرموله کردن شما تعریف می‌شود، یک کران بالا^۱ ارائه دهید. (راهنمایی: راجع به حداکثر ضریب انشعاب برای فرآیند ساخت و عمق ماکزیمم فکر کنید و مسأله‌ی همپوشانی قطعات و بن‌بست‌ها را در نظر بگیرید. ابتدا فرض کنید فقط یک نسخه از هر قطعه وجود دارد.)

۲۰. دو نسخه از تابع را برای معمای ۸ پیاده‌سازی کنید: یکی که ساختمان داده را برای گره‌ی واحد s کپی و ویرایش می‌کند و دیگری حالت والد را مستقیماً (با خنثی‌سازی اصلاحات در صورت لزوم) اصلاح می‌کند. نسخه‌هایی از جستجوی تعمیق تکراری عمقی را بنویسید که از این توابع استفاده می‌کنند و کارایی آن‌ها را مقایسه کنید.

۲۱. [iterative-lengthening-exercise]: در متن کتاب، به الگوریتم جستجوی طولانی کننده‌ی تکراری اشاره کردیم که شکل تکراری جستجو با هزینه‌ی یکسان است. ایده‌اش، افزایش محدودیت‌ها در هزینه مسیر است. اگر گرهی تولید شود که هزینه‌ی مسیرش از حد فعلی تجاوز کند، فوراً حذف می‌شود. برای هر تکرار جدید، مقدار حد برابر با کمترین هزینه‌ی مسیر گره‌ای قرار می‌گیرد که در تکرار قبلی حذف شده است:

الف. نشان دهید این الگوریتم برای هزینه‌های مسیر کلی، بهینه است.

ب. درخت یکنواختی با ضریب انشعاب b ، عمق جواب d و هزینه‌های مرحله‌ای را در نظر بگیرید. الگوریتم جستجوی طولانی کننده، به چند تکرار نیاز دارد.

پ. هزینه‌های مرحله‌ای را که از بازه‌ی پیوسته‌ی $[ε, 1]$ با شرط $0 < ε < 1$ به دست می‌آید، در نظر بگیرید. در بدترین حالت، به چند تکرار نیاز است.

ت. الگوریتم را پیاده‌سازی کرده آن را به معمای هشت و فروشنده دوره‌گرد اعمال کنید. کارایی الگوریتم را با جستجوی هزینه یکسان مقایسه کنید.

۲۲. فضای حالتی را توصیف کنید که در آن، جستجوی تعمیق تکراری، خیلی بدتر از جستجوی عمقی عمل می‌کنند (مثلاً $O(n^2)$ در مقابل $O(n)$).

۲۳. برنامه‌ای بنویسید که یک URL صفحه‌ی وب را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و مسیری از پیوندها را از یکی به دیگری پیدا می‌کند. استراتژی جستجوی مناسب چیست؟ آیا جستجوی دوطرفه ایده‌ی خوبی است؟ آیا موتور جستجو می‌توانست برای پیاده‌سازی تابع پیشین^۲ به کار رود؟

۲۴. [vacuum-search-exercise]: مسأله‌ی دنیای جاروبرقی را که در شکل ۲-۲ تعریف شده است، در نظر بگیرید:

- الف. کدام یک از الگوریتم‌های تعریف شده در این فصل، برای این مسأله مناسب است؟ آیا الگوریتم باید حالت‌های تکراری را بررسی کند؟
- ب. با استفاده از الگوریتم انتخابی، دنباله‌ی بهینه‌ای از کنش‌ها را برای یک دنیای 3×3 محاسبه کنید که حالت اولیه آن در سه مربع بالایی دارای گردوغبار باشد و عامل در مرکز باشد.
- پ. برای دنیای جاروبرقی یک عامل جستجو بسازید و آن را در مجموعه‌ای از دنیاهای 3×3 ارزیابی کنید که احتمال کثیف بودن هر مربع 0.2 است. هزینه‌ی جستجو و هزینه‌ی مسیر را در معیار ارزیابی در نظر بگیرید (از یک نرخ تعویض منطقی استفاده کنید).
- ت. بهترین عامل جستجو را با عامل واکنشی ساده‌ی تصادفی مقایسه کنید که در صورت وجود گردوخاک، مکش می‌کند و گرنه به‌طور تصادفی حرکت می‌کند.
- ث. اگر دنیای $n \times n$ باشد (بزرگ) چه اتفاقی خواهد افتاد؟ کارایی عامل جستجو و عامل واکنشی برحسب n چه تغییری می‌کند؟

۲۵. [search-special-case-exercise]: هر یک از موارد زیر را اثبات کنید یا مثال نقض ارائه دهید:

- الف. جستجوی عرضی حالت خاصی از جستجو با هزینه‌ی یکسان است.
- ب. جستجوی عمقی، حالت خاصی از جستجوی "اول - بهترین" در درخت است.
- پ. جستجو با هزینه‌ی یکسان، حالت خاصی از جستجوی A^* است.
۲۶. کارایی A و RBFS را روی مجموعه‌ای از مسأله‌های تولید شده به صورت تصادفی در حوزه‌های معمایی - ۸ (با فاصله مانهاتان) و TSP (با MST) مقایسه کنید. نتایج خود را بحث کنید. وقتی یک عدد تصادفی کوچک به مقادیر ابتکاری در حوزه‌ی معمایی - ۸ اضافه شود، کارایی RBFS چگونه تغییر می‌کند؟

۲۷. عملکرد جستجوی A را روی مسأله‌ی رسیدن به Bucharest از Lugoj شرح دهید، به طوری که از تابع ابتکاری فاصله‌ی خط مستقیم استفاده کند. یعنی دنباله‌ای از گره‌ها را نشان دهید که الگوریتم در نظر می‌گیرد و امتیاز f ، g و h را برای هر گره مشخص کنید.

۲۸. گاهی هیچ تابع ارزیابی خوبی برای یک مسأله وجود ندارد ولی یک روش مقایسه‌ی خوب وجود دارد: راهی که بدون انتساب مقادیر به دو گره، به شما می‌گوید آیا گره‌ای از گره دیگر بهتر است یا خیر. نشان دهید که این روش برای انجام جستجوی "اول بهترین" کافی است. آیا نسخه‌ای از جستجوی A برای این محیط وجود دارد؟

۲۹. [failure-exercise]: یک فضای حالت را تعیین کنید که در آن A^* با استفاده از GRAPH - SEARCH یک جواب بهینه را برگرداند، به طوری که تابع $h(n)$ قابل قبول ولی ناسازگار است.

۳۰. الگوریتم‌های ابتکاری دقیق، لزوماً از زمان جستجو در بدترین حالت نمی‌کاهند. با فرض عمق d ، یک مسأله‌ی جستجو را با گره‌ی هدف در عمق d تعریف کنید و یک تابع ابتکاری بنویسید به طوری که $|h(n) - h^*(n)| \leq O(\log h^*(n))$ ولی A^* تمام گره‌های کمتر از عمق d را بسط می‌دهد.

۳۱. الگوریتم مسیر ابتکاری^۱ (Pohl, 1977)، یک "جستجوی اول - بهترین" است که در آن، تابع ارزیابی برابر با $f(n) = (2-w)g(n) + wh(n)$ است. برای چه مقادیری از w این جستجو "کامل" است؟ با فرض اینکه h قابل قبول است، برای چه مقادیری بهینه است؟ برای $w = 0$ ، $w = 1$ ، و $w = 2$ چه نوع جستجویی را اجرا می‌کند؟

۳۲. نسخه‌ی نامحدود یک توری دوبعدی منظم را در شکل ۳-۹ در نظر بگیرید. حالت شروع در $(0, 0)$ واقع است، و حالت هدف در (x, y) قرار دارد.

الف. ضریب انشعاب b در این فضای حالت چیست؟

ب. چند حالت مجزا در عمق k وجود دارد (برای $k > 0$)؟

پ. حداکثر تعداد گره‌های بسط داده شده توسط جستجوی عرضی در درخت چقدر است؟

ت. حداکثر تعداد گره‌های بسط داده شده توسط جستجوی عرضی در گراف چقدر است؟

ث. آیا $h = |u - x| + |u - y|$ یک تابع ابتکاری قابل قبول برای حالت موجود در (u, v) هست؟ توضیح دهید.

ج. چند گره توسط جستجوی A^* در گراف با استفاده از h ، بسط داده می‌شود؟

چ. اگر بعضی از لینک‌ها (پیوندها) قطع شوند، آیا h قابل قبول باقی می‌ماند؟

ح. اگر لینک‌هایی بین حالت‌های غیرهمجوار اضافه شوند، آیا h قابل قبول باقی می‌ماند؟

۳۳. n وسیله نقلیه، مربع‌های $(1, 1)$ ، $(n, 1)$ مربوط به یک توری $n \times n$ را اشغال می‌کنند (یعنی سطر پایینی توری را اشغال می‌کنند). وسایل نقلیه باید به ترتیب معکوس به سطر بالایی منتقل شوند، به طوری که وسیله نقلیه i که در (i, j) قرار دارد، باید به $(n - i + 1, n)$ برود. در هر مرحله‌ی زمانی، هر n وسیله نقلیه می‌تواند یک مربع به طرف بالا، پایین، چپ، یا راست برود یا جای خود باقی بماند. اگر وسیله‌ی نقلیه‌ای سر جای خود باقی بماند، یک وسیله‌ی نقلیه‌ی همجوار (نه بیشتر از یکی) می‌تواند از روی آن پرش کند. دو وسیله نقلیه نمی‌توانند در یک مربع قرار گیرند.

الف. اندازه‌ی فضای حالت را به صورت تابعی از n پیدا کنید.

ب. ضریب انشعاب را به صورت تابعی از n پیدا کنید.

پ. فرض کنید وسیله نقلیه i در مکان (x_i, y_i) قرار دارد؛ یک تابع ابتکاری مثل h_i برای تعداد حرکات لازم برای رسیدن به مکان هدف $(n - i + 1, n)$ بنویسید و فرض کنید هیچ وسیله نقلیه دیگری در توری وجود ندارد.

ت. کدام یک از توابع ابتکاری زیر، برای مسأله‌ی حرکت تمام n وسیله‌ی نقلیه به سمت هدف آنها، قابل قبول هستند؟ شرح دهید.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n h_i < \\ & \max\{h_1, \dots, h_n\} < \\ & \min\{h_1, \dots, h_n\} < \end{aligned}$$

۳۴. مسأله‌ی انتقال k شاه را از k مربع شروع s_1, \dots, s_k به k مربع هدف g_1, \dots, g_k روی صفحه‌ی شطرنجی بدون محدودیت در نظر بگیرید، با این قانون که هیچ دو شاهی نمی‌توانند همزمان در یک مربع باشند. هر کنش شامل انتقال حداکثر k شاه به طور همزمان می‌شود. می‌خواهیم این مسأله را با کمترین تعداد کنش‌ها حل کنیم.

$$\begin{aligned} & \text{الف. } \min\{h_1, \dots, h_n\} \\ & \text{ب. } \max\{h_1, \dots, h_n\} \\ & \text{پ. } \sum_{i=1}^k h_i \end{aligned}$$

۳۵. در متن کتاب دیدیم که الگوریتم ابتکاری فاصله‌ی خط مستقیم منجر به گمراهی جستجوی "اول بهترین" حریصانه در مسأله‌ی رفتن از lasi به Fagaras می‌شود. با این حال، این الگوریتم ابتکاری در مسأله‌ی مقابل آن، یعنی رفتن از Fagaras به lasi کامل است. آیا مسأله‌هایی وجود دارد که برای آن‌ها این الگوریتم ابتکاری در هر دو جهت منجر به گمراهی شود؟

۳۶. یک تابع ابتکاری برای معمای هشت اختراع کنید که گاهی هزینه را بیش از اندازه‌ی واقعی برآورد می‌کند و نشان دهید که می‌تواند منجر به یک "جواب زیربینه" روی یک مسأله‌ی خاص شود. (می‌توانید از کامپیوتر کمک بگیرید.) اثبات کنید که برآورد n بیش از c نباشد، A که از h استفاده می‌کنند، جوابی را برمی‌گرداند که هزینه‌ی آن نسبت به هزینه جواب بهینه، بیشتر از c افزایش نمی‌یابد.

۳۷. [consistent-heuristic-exercise]: ثابت کنید که اگر یک تابع ابتکاری "سازگار" باشد، باید قابل قبول نیز باشد. یک تابع ابتکاری قابل قبول بسازید که "سازگار" نیست.

۳۸. [tsp-mst-exercise]: مسأله‌ی فروشنده دوره‌گرد (TSP) می‌تواند با تابع ابتکاری "درخت پوشای کمینه"^۱ (MST) حل شود که هزینه‌ی کامل کردن یک تور را که بخشی از آن قبلاً ساخته شد، برآورد می‌کند. هزینه MST مربوط به مجموعه‌ای از شهرها برابر با کوچک‌ترین مجموع هزینه‌های هر درختی است که تمام شهرها را به هم متصل می‌کند.

الف. نشان دهید که این تابع ابتکاری چگونه می‌تواند از نسخه‌ی تعدیل شده‌ی TSP به دست آید.

ب. نشان دهید که تابع ابتکاری MST نسبت به فاصله‌ی خط مستقیم برتر است.
 پ. یک مولد مسأله برای نمونه‌هایی از TSP بنویسید که در آن، شهرها به وسیله‌ی نقاط تصادفی در مربع واحد، به هم متصل می‌شوند.
 ت. یک الگوریتم کارآمد در متون برای ساخت MST پیدا کنید و آن را با جستجوی A^* در گراف به جای حل نمونه‌هایی از TSP به کار ببرید.

۳۹. [Gasching-h-exercise] : در متن کتاب، ترمیم مسأله‌ی معمای هشت را بحث کردیم که در آن، اگر مربع B خالی باشد، تایل می‌تواند از A به B برود. جواب دقیق این مسأله، تابع ابتکاری گاشینگ را تعریف می‌کند (Gaschnig, 1979). توضیح دهید چرا دقت تابع ابتکاری گاشینگ حداقل به اندازه‌ی h_1 (تایل‌هایی با جای نادرست) است و مواردی را نشان دهید که هم از h_1 و هم از h_2 (فاصله مانهاتان دقیق‌تر است). نشان دهید که چگونه می‌توان تابع ابتکاری گاشینگ را به طور کارآمد محاسبه کرد.

۴۰. دو تابع ابتکاری ساده برای مسأله معمای هشت ارائه دادیم: "فاصله‌ی مانهاتان" و تایل‌هایی که در جای درست خود قرار ندارند. توابع ابتکاری زیادی برای بهبود این مسأله ارائه شدند - مثلاً (Nilson, 1971) ، (Mostow, Prieditis, 1989) و (Hansson و همکاران، 1992) را ببینید. این ادعا را با پیاده‌سازی این توابع ابتکاری و مقایسه کارایی الگوریتم‌های حاصل، تست کنید.

تمرین‌های فصل ۴: جستجو در محیط‌های پیچیده

۱. نام الگوریتمی را که در هر یک از موارد زیر به دست می‌آید، مشخص کنید:

الف. جستجوی پرتو محلی با $k = 1$.

ب. جستجوی پرتو محلی با یک "حالت شروع" و بدون محدودیت روی تعداد حالت نگهداری شده.

پ. تبرید شبیه‌سازی شده با $T = 0$ در تمام موارد (و حذف تست خاتمه).

ت. تبرید شبیه‌سازی شده با $T = \infty$ در تمام موارد.

ث. الگوریتم ژنتیک با جمعیتی به اندازه‌ی $N = 1$.

۲. تمرین ۱۶ فصل ۳ مسأله‌ی ساخت مسیر راه‌آهن را با این فرض انجام داد که قطعات بدون هیچ شکافی به هم متصل می‌شوند. اکنون مسأله‌ی واقعی را در نظر بگیرید که در آن، قطعات به خوبی به هم متصل نمی‌شوند، ولی می‌توانند تا ۱۰ درجه چرخش داده شوند تا به "طور مناسب" تنظیم شوند. توضیح دهید که چگونه می‌توان این مسأله را فرموله کرد که بتواند با تبرید شبیه‌سازی شده حل شوند.

۳. در این تمرین، استفاده از روش‌های جستجوی محلی را برای حل TSP‌ها از نوعی که در تمرین ۳۰ فصل ۳ بحث شد، بررسی می‌کنیم:

الف. یک روش تپه‌نوردی را برای پیاده‌سازی TSP‌ها پیاده‌سازی و تست کنید. نتایج را با جواب‌های بهینه‌ای که از الگوریتم A^* و با استفاده از تابع ابتکاری MST به دست آمده‌اند، مقایسه کنید (تمرین ۳۰ فصل ۳ را ببینید).

ب. قسمت (الف) را با استفاده از الگوریتم ژنتیک به جای تپه‌نوردی، تکرار کنید.

۴. [hill-climbing-exercise]: تعداد زیادی از نمونه‌های هشت‌وزیر و معمای هشت را تولید کنید و (در صورت امکان) آن را با تپه‌نوردی (تیزترین صعود)، تپه‌نوردی با شروع مجدد تصادفی و تبرید شبیه‌سازی شده حل کنید. هزینه‌های جستجو و درصد مسأله‌های حل شده را اندازه‌گیری کنید و آن‌ها را برحسب هزینه‌های جواب، در یک نمودار رسم کنید. نتایج به دست آمده را توضیح دهید.

۵. [cond-plan-repeated-exercise]: الگوریتم AND – OR – GRAPH – SEARCH در شکل ۴-۱۱، حالت‌های تکراری را فقط در مسیری از ریشه به حالت فعلی بررسی می‌کند. فرض کنید، الگوریتم علاوه‌براین، هر حالت بازدید شده را ذخیره و آن را با آن لیست مقایسه می‌کند. (برای مثال، BREADTH – FIRST – SEARCH را در شکل ۳-۱۱ ببینید). اطلاعاتی را که باید ذخیره شوند تعیین کنید و توضیح دهید که وقتی حالت تکراری پیدا شد، الگوریتم چگونه باید از این اطلاعات استفاده کند. (راهنمایی: حداقل باید بین حالت‌هایی که برای آن‌ها برنامه‌ریزی‌های (plans) موفق قبلاً نوشته شده‌اند و برای حالت‌هایی که نمی‌توان برای آن‌ها برنامه‌ریزی پیدا کرد، تمایز قائل

شوید.) توضیح دهید که چگونه با استفاده از برچسب‌ها (labels) که در بخش ۳-۳-۴ تعریف شد، می‌توان از کپی‌برداری متعدد برنامه‌ریزی‌ها جلوگیری کرد.

۶. [cond-loop-exercise]: توضیح دهید که چگونه می‌توان الگوریتم AND-OR-GRAPH-SEARCH را تغییر داد تا در صورت عدم وجود برنامه‌ریزی غیرچرخه‌ای (acyclic)، یک برنامه‌ریزی چرخه‌ای تولید کند. باید سه مسأله را حل کنید: (۱) برچسب‌گذاری مراحل برنامه‌ریزی، به طوری که برنامه‌ریزی چرخه‌ای بتواند به بخش قبلی این برنامه‌ریزی اشاره کند، (۲) تغییر OR-SEARCH به طوری که پس از یافتن یک برنامه‌ریزی چرخه‌ای، به جستجو برای برنامه‌ریزی‌های غیرچرخه‌ای ادامه دهد و (۳) ارتقای نمایش برنامه‌ریزی تا نشان دهد که آیا یک برنامه‌ریزی موردنظر، چرخه‌ای است یا خیر. توضیح دهید که الگوریتم شما در موارد زیر چگونه کار می‌کند: (الف) دنیای نامطمئن جاروبرقی و (ب) دنیای نامطمئن و نامنظم جاروبرقی. می‌توانید آن را با کامپیوتر پیاده‌سازی کنید تا نتایج را بررسی کنید.

۷. در بخش ۴-۴-۱، حالت‌های باور را برای حل مسأله‌های جستجوی فاقد حسگر معرفی کردیم. دنباله‌ای از کنش‌ها، در صورتی مسأله‌ای فاقد حسگر را حل می‌کند که هر حالت فیزیکی در "حالت باور شروع" b را به حالت هدف نگاشت می‌کند. فرض کنید عامل $h^*(s)$ را برای هر حالت s در b می‌داند. $h^*(s)$ هزینه بهینه‌ی حل حالت فیزیکی s در این مسأله‌ی کاملاً قابل مشاهده است. تابع ابتکاری $h(b)$ را برحسب این هزینه‌ها برای مسأله‌ی حسگرها پیدا کنید و ثابت کنید که قابل قبول است. دقت این تابع ابتکاری را روی مسأله‌ی جاروبرقی فاقد سنسور در شکل ۴-۱۴ توضیح دهید. عملکرد A^* چقدر خوب است؟

۸. [belife-state-superset-exercise]: این تمرین، رابطه‌های "زیرمجموعه - فوق مجموعه" را بین حالت‌های باور در محیط‌های بدون حسگر یا "قابلیت مشاهده‌ی جزئی"، بررسی می‌کند.

الف. ثابت کنید که اگر یک دنباله‌ی کنش، جوابی برای حالت باور b باشد، جوابی برای هر زیرمجموعه b است. آیا می‌توان چیزی درباره فوق مجموعه‌های b گفت؟

ب. به طور مشروح توضیح دهید که چگونه می‌توان جستجوی گراف را برای مسأله‌های فاقد سنسور تغییر داد تا از امتیاز پاسخ شما به قسمت (الف) استفاده شود.

پ. به طور مشروح توضیح دهید که چگونه می‌توان جستجوی AND-OR را برای مسأله‌هایی با "قابلیت مشاهده‌ی جزئی" تغییر داد (فراتر از تغییراتی که در قسمت (ب) انجام شد).

۹. [multivalued-sensorless-exercise]: در متن کتاب فرض کردیم که وقتی کنشی در هر حالت فیزیکی در داخل یک حالت باور اجرا می‌شود، هزینه‌ی یکسانی خواهد داشت. (این کار، منجر به یک مسأله‌ی جستجوی حالت باور می‌شود که هزینه‌های هر مرحله به خوبی تعریف می‌شود.) اکنون ببینیم که اگر این فرض برقرار نشود، چه اتفاقی می‌افتد. آیا هنوز مفهوم بهینگی در این مورد مهم است، یا نیاز به تغییرات دارد. تعریف‌های مختلف "هزینه‌ی" اجرای یک کنش را در حالت

باور در نظر بگیرید؛ برای مثال، می‌توانستیم از مقدار کمینه‌ی "هزینه‌های فیزیکی" استفاده کنیم؛ یا بیشینه؛ یا از یک فاصله‌ی هزینه استفاده کنیم که کران پایین آن "هزینه‌ی کمینه" و کران بالای آن، بیشینه است؛ یا فقط مجموعه‌ای از هزینه‌های ممکن برای آن کنش را نگهداری کنیم. برای هر یک از این موارد، بررسی کنید که آیا A^* (با تغییراتی در صورت لزوم) می‌تواند جواب‌های بهینه را برگرداند یا خیر.

۱۰. [vacuum-solvable-exercise]: نسخه‌ی فاقد سنسور "دنیای نامنظم جاروبرقی" را در نظر بگیرید. فضای حالت باوری را که از "حالت باور شروع" $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ قابل دسترسی است، مشخص کنید و توضیح دهید چرا این مسأله قابل حل نیست.

۱۱. [vacuum-solvable-exercise]: نسخه‌ی بدون حسگر از دنیای جاروبرقی نامنظم را در نظر بگیرید. فضای حالت باوری ترسیم کنید که از حالت باور اولیه‌ی $\{1, 3, 5, 7\}$ قابل دسترسی است و توضیح دهید که چرا مسأله قابل حل نیست؟

۱۲. [path-planning-agent-exercise]: مسأله‌ی هدایت کردن روبات در تمرین ۹ فصل ۳ را می‌توان به محیطی به شکل زیر تبدیل کرد:

< ادراک، لیستی از مکان‌های رئوس قابل مشاهده، نسبت به عامل است. ادراک، شامل مکان روبات نیست! روبات باید مکان خود را از نقشه یاد بگیرد؛ فعلاً می‌توانید فرض کنید هر مکان دارای "نمای" (view) متفاوتی است.

< هر کنش، برداری خواهد بود که مسیر خط مستقیمی را که باید طی شود، توصیف می‌کند. اگر این مسیر فاقد مانع باشد، این کنش موفق می‌شود، وگرنه روبات در اولین نقطه‌ای که با مانع مواجه می‌شود، متوقف می‌شود. اگر عامل یک بردار حرکت صفر را برگرداند و در نقطه‌ی هدف باشد (که ثابت و شناخته شده است)، آنگاه محیط، عامل را به یک مکان تصادفی انتقال می‌دهد (نه در داخل مانع).

< معیار کارایی، برای هر واحد فاصله‌ی طی شده یک امتیاز به عامل می‌دهد و هر وقت به هدف برسد، 1000 امتیاز پاداش می‌دهد.

الف. این محیط و یک عامل حل مسأله را پیاده‌سازی کنید. پس از هر انتقال توسط محیط، عامل باید مسأله‌ی جدیدی را فرموله کند که شامل کشف مکان فعلی آن است.

ب. کارایی عامل خود را مستندسازی کنید (به‌طوری‌که عامل می‌تواند از حرکت‌هایی که انجام می‌دهد، گزارش تهیه کند) و کارایی آن را در 100 مورد گزارش دهید.

پ. محیط را طوری تغییر دهید که عامل 30% از موارد به مقصدهای ناخواسته می‌رود (که به طور تصادفی از سایر رئوس قابل مشاهده، در صورت وجود انتخاب می‌شوند. وگرنه هیچ حرکتی صورت نمی‌گیرد). این مدل، یک مدل خام از خطاهای حرکتی روبات واقعی است. عامل را طوری تغییر دهید که وقتی چنین خطایی تشخیص داده شد، پی می‌برد که در کجاست و

برنامه‌ریزی (plan) را می‌سازد تا به جای قبلی خود به عقب برگردد و برنامه‌ریزی قدیمی را از سر می‌گیرد. به یاد داشته باشید که ممکن است گاهی برگشت به جای قبلی با شکست مواجه شود! مثالی را ارائه دهید که در آن، عامل دو خطای حرکتی متوالی را با موفقیت سپری می‌کند و به هدف می‌رسد.

ت. اکنون دو روش ترمیم دیگر را پس از وقوع خطا به کار بگیرید: (۱) به نزدیکترین رأس در مسیر اصلی بروید، و (۲) مسیر هدف را از مکان جدید دوباره طراحی کنید. کارایی روش ترمیم را مقایسه کنید. آیا در نظر گرفتن هزینه‌ی جستجو اثری در مقایسه دارد؟

ث. اکنون فرض کنید مکان‌هایی وجود دارد که این نماها از آن یکسان هستند. (برای مثال، فرض کنید اکنون دنیای توری همراه با موانع مربع است.) عامل با چه نوع مسأله‌ای روبه‌رو است؟ جواب‌ها چگونه هستند؟

۱۳. [online-offline-exercise]: فرض کنید عاملی در محیط هزارتوی با ابعاد 3×3 مانند شکل ۴-۱۹ قرار دارد. عامل می‌داند که حالت شروع آن (1, 1) است. هدف در (3, 3) قرار دارد و چهار کنش *Up*، *Down*، *Left* و *Right* اثر عادی خودشان را دارند. ولی با برخورد به دیوار متوقف می‌شوند. عامل نمی‌داند دیوارهای داخلی در کجا قرار دارند. در بسیاری از حالت‌ها، عامل کنش‌های معتبری را انجام می‌دهد. می‌تواند تشخیص دهد که حالتی قبلاً ملاقات شد یا جدید است.

الف. چگونه می‌توان این مسأله جستجوی آنلاین را در فضای حالت باور به صورت جستجوی آفلاین در نظر گرفت، که در آن، حالت باور شروع، شامل تمام پیکربندی‌های ممکن محیط است. اندازه‌ی حالت باور شروع چقدر است؟ اندازه فضای حالت‌های باور چقدر است؟
ب. چند ادراک متمایز در حالت شروع ممکن است؟

پ. چند انشعاب اولیه‌ی برنامه‌ریزی احتمالی را برای این مسأله تشریح کنید. اندازه کل برنامه‌ریزی چقدر است؟

توجه کنید که این برنامه‌ریزی احتمالی جوابی برای هر محیط ممکن است که با توصیف خاصی متناسب باشد. لذا، یک در میان کردن جستجو و اجرا، حتی در محیط‌های ناشناخته نیز الزامی نیست.

۱۴. [online-offline-exercise]: فرض کنید عاملی در محیط هزارتوی با ابعاد 3×3 مانند شکل ۴-۱۹ قرار دارد. عامل می‌داند که حالت شروع آن (3, 3) است. هدف در (1, 1) قرار دارد و چهار کنش *Up*، *Down*، *Left* و *Right* اثر عادی خودشان را دارند. ولی با برخورد به دیوار متوقف می‌شوند. عامل نمی‌داند دیوارهای داخلی در کجا قرار دارند. در بسیاری از حالت‌ها، عامل کنش‌های معتبری را انجام می‌دهد. می‌تواند تشخیص دهد که حالتی قبلاً ملاقات شد یا جدید است.

الف. چگونه می‌توان این مسأله جستجوی آنلاین را در فضای حالت باور به صورت جستجوی آفلاین در نظر گرفت، که در آن، حالت باور شروع، شامل تمام پیکربندی‌های ممکن محیط می‌شود. اندازه‌ی حالت باور شروع چقدر است؟ اندازه فضای حالت‌های باور چقدر است؟

ب. چند ادراک متمایز در حالت شروع ممکن است؟

پ. چند انشعاب اولیه‌ی برنامه‌ریزی احتمالی را برای این مسأله تشریح کنید. اندازه کل برنامه‌ریزی چقدر است؟

توجه کنید که این برنامه‌ریزی احتمالی جوابی برای هر محیط ممکن است که با توصیف خاصی متناسب است. لذا، یک درمیان کردن جستجو و اجرا، حتی در محیط‌های ناشناخته نیز الزامی نیست.

۱۵. [path-planning-hc-exercise]: در این تمرین، تپه‌نوردی را در زمینه حرکت روبات، با استفاده از محیط شکل ۳-۳۱، به عنوان یک مثال در نظر می‌گیریم:

الف. تمرین ۱۶ فصل ۳ را با استفاده از تپه‌نوردی تکرار کنید. آیا عامل هنوز در بیشینه‌ی محلی متوقف می‌شود؟ آیا در برخورد با مانع محذب متوقف می‌شود؟

ب. یک محیط چندضلعی غیرمحذب بسازید که عامل در آن متوقف می‌شود.

پ. الگوریتم تپه‌نوردی را طوری اصلاح کنید که به جای جستجویی با عمق 1 برای تصمیم‌گیری در مورد حرکت بعدی، جستجویی با عمق k را انجام می‌دهد. باید بهتر از مسیر k مرحله‌ای بیابد و یک مرحله در آن عمل کند و این فرآیند را تکرار نماید.

ت. آیا می‌توان یک k پیدا کرد که الگوریتم برای آن، با مشکل کمینه‌ی محلی مواجه نشود؟

ث. توضیح دهید که در این مورد، چگونه $LRTA^*$ عامل را قادر به فرار از بیشینه‌ی محلی می‌کند؟

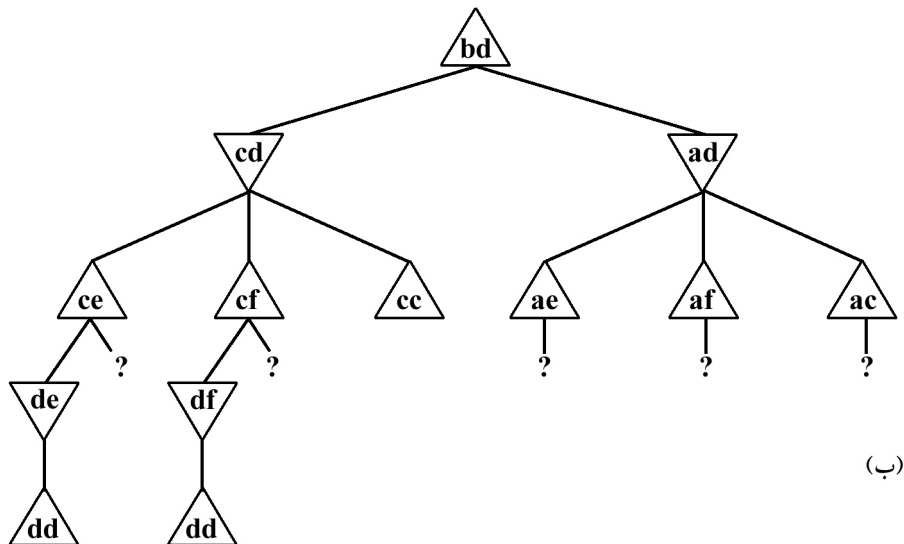
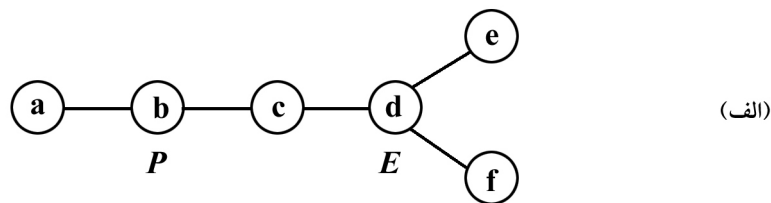
۱۶. همانند DFS معمولی، DFS آنالاین در "فضاهای حالت برگشت‌پذیر" همراه با مسیرهای نامتناهی، "کامل" نیست. برای مثال، فرض کنید حالت‌ها نقاطی در یک شبکه‌ی دوبعدی نامتناهی و کنش‌ها بردارهای واحد $(1, 0)$ ، $(0, 1)$ ، $(-1, 0)$ و $(0, -1)$ هستند که به ترتیب اجرا می‌شوند. نشان دهید که DFS آنالاین با شروع از $(0, 0)$ به $(1, 1)$ نمی‌رسد. فرض کنید عامل علاوه‌بر حالت فعلی خود، تمام حالت‌های بعدی و کنش‌هایی را می‌داند که منجر به آن‌ها می‌شوند. الگوریتمی بنویسید که حتی برای "فضاهای حالت دوطرفه" همراه با مسیرهای نامتناهی نیز "کامل" است. عامل برای رسیدن به $(1, -1)$ چه حالت‌هایی را می‌بیند؟

۱۷. پیچیدگی زمانی $LRTA^*$ را به پیچیدگی فضایی آن مرتبط کنید.

تمرین‌های فصل ۵: جستجوی خصمانه و بازی‌ها

۱. فرض کنید یک برنامه‌ی پیشگو، $OM(s)$ دارید که حرکت رقیب را در هر حالتی به درستی حدس می‌زند. با استفاده از این برنامه، تعریف بازی را به صورت یک مسئله‌ی جستجو (تک عاملی) فرموله کنید. الگوریتمی را برای یافتن حرکت بهینه توصیف کنید.
۲. مسئله‌ی حل دو معمای هشت را در نظر بگیرید:

- الف. مسئله را به سبکی که در فصل ۳ دیدید، به طور کامل فرموله کنید.
- ب. اندازه‌ی فضای حالت قابل دسترس چقدر است؟ یک عبارت عددی دقیق ارائه دهید.
- پ. فرض کنید مسئله‌ی خصمانه را به صورت زیر بسازیم: دو بازیکن به نوبت حرکت می‌کنند؛ سکه‌ای پرتاب می‌شود تا مشخص شود که حرکت در کدام معما صورت گیرد؛ و برنده کسی است که اول یک معما را حل کند. کدام الگوریتم می‌تواند برای انتخاب یک حرکت به کار رود؟
- ت. به طور غیررسمی اثبات کنید که اگر هر دو به طور کامل بازی کنند، سرانجام یکی برنده خواهد شد.



پیگیری شکل بازی فرار

۳. فرض کنید در تمرین ۳ فصل ۳، یکی از دوستان می‌خواهد از دیگری دوری کند. سپس، این مسأله، به یک بازی دونفره به نام *pursuit – evasion* (تعقیب و گریز) تبدیل می‌شود. اکنون فرض می‌کنیم به نوبت حرکت می‌کنند. بازی وقتی خاتمه می‌یابد که بازیکنان در گره یکسانی باشند، پاداش نهایی تعقیب برابر با منفی کل زمان مصرف شده است. (گریز که هرگز نمی‌بازد، برنده است). مثالی را در شکل ۵-۱۵ مشاهده می‌کنید.

الف. درخت بازی را کپی کنید و مقادیر گره‌های پایانی را علامت‌گذاری کنید.
ب. در کنار هر گره داخلی، قوی‌ترین حقیقتی^۱ را قرار دهید که راجع به مقدارش استنتاج شد (یک عدد، یک یا چند نامساوی مثل " ≥ 14 " یا "?").

پ. در زیر هر علامت سؤال، نام هر گره‌ای را بنویسید که توسط آن انشعاب به آن رسیدیم.
ت. توضیح دهید که کران تعیین شده روی مقادیر قسمت (پ) چگونه می‌تواند با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین مسیر در نقشه، به دست آید و این کران‌ها را برای این گره‌ها به دست آورید. هزینه‌ی رسیدن به هر برگ و هزینه‌ی حل آن را در نظر بگیرید.

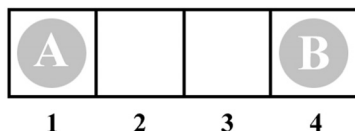
ث. فرض کنید این درخت همراه با کران‌های برگ از قسمت (ت)، از چپ به راست ارزیابی می‌شود. آن دسته از گره‌های "?" را که لازم نیست بیشتر بسط داده شوند، مشخص کنید و با توجه به کران‌های قسمت (ت)، گره‌هایی را مشخص کنید که اصلاً لازم نیست در نظر گرفته شوند.
ج. آیا می‌توانید راجع به کسی که بازی را روی نقشه‌ی درختی می‌برد، چیزی را اثبات کنید؟

۴. [game-playing-chance-exercise]: توصیف‌های حالت، مولدهای حرکت، تست‌های پایانی، تابع سودمندی و توابع ارزیابی را برای یک یا چند بازی‌های اتفاقی زیر، توصیف و پیاده‌سازی کنید: روپولی، اسکرابل، بازی بریج با قرارداد خاص، یا پوکر تک‌زاس.

۵. یک محیط بازی بی‌درنگ^۲ و چند نفره را توصیف و پیاده‌سازی کنید که در آن، زمان بخشی از حالت محیط است و به بازیکنان زمان ثابتی اختصاص می‌یابد.

۶. بحث کنید که روش استاندارد بازی، چگونه به بازی‌هایی مثل تنیس، pool و croquet اعمال می‌شود. این بازی‌ها در فضای حالت فیزیکی پیوسته انجام می‌شوند.

۷. [minimax-optimality-exercise]: ادعای زیر را ثابت کنید: برای هر درخت بازی، سودمندی حاصل از MAX با استفاده از تصمیمات مینیمکس نسبت به یک MIN زیربینه، هرگز کمتر از سودمندی حاصل از بازی با MIN بهینه نیست. آیا می‌توانید یک درخت بازی ایجاد کنید که در آن MAX با استفاده از استراتژی زیربینه، نسبت به MIN زیربینه بهتر عمل کند؟



موقعیت شروع یک بازی ساده

ابتدا بازیکن A حرکت می‌کند. دو بازیکن برای حرکت نوبت می‌گیرند و هر بازیکن باید مهره‌اش را به یک فضای همجوار باز در هر دو جهت انتقال دهد. اگر حریف فضای همجوار را اشغال کرده باشد، آن‌گاه بازیکن می‌تواند از حریف عبور کند و در صورت امکان به فضای باز بعدی برود (به عنوان مثال، اگر بازیکن A، در 3 و بازیکن B در 2 باشد، آنگاه A می‌تواند به 1 برگردد). بازی وقتی خاتمه می‌یابد که یک بازیکن به انتهای دیگر صحنه برسد. اگر بازیکن A اول به فضای 4 برسد، آنگاه مقدار بازی برای A برابر با +1 است. اگر بازیکن B ابتدا به فضای 1 برسد، آنگاه مقدار بازی برای A برابر با -1 است.

۸. بازی دو نفره‌ی توصیف شده در شکل ۵-۱۶ را در نظر بگیرید.

الف. درخت بازی کامل را با استفاده از مقررات زیر رسم کنید:

- < هر حالت را به صورت (s_A, s_B) بنویسید، که s_A و s_B مکان‌های A و B را نشان می‌دهند.
- < هر حالت پایانی را در یک مربع قرار دهید و مقدار آن را در یک دایره بنویسید.
- < حالت‌های حلقه^۲ (حالت‌هایی که قبلاً در این مسیر به ریشه ظاهر شده‌اند) را در دو مربع قرار دهید. چون مقدار آن‌ها معلوم نیست، هر کدام را با یک “?” در دایره مشخص کنید.

ب. مقدار مینیماکس هر گره را به عنوان برچسب آن تعیین کنید (و در دایره قرار دهید). توضیح دهید که “?” را چگونه اداره می‌کنید و چرا؟

پ. توضیح دهید که چرا الگوریتم مینیماکس استاندارد در این درخت بازی با شکست مواجه می‌شود و توضیح دهید که چگونه می‌توانید آن را اصلاح کنید (از پاسخ به قسمت (ب) استفاده کنید). آیا الگوریتم تغییر یافته، برای تمام بازی‌های حاوی حلقه‌ها، تصمیمات بهینه اتخاذ می‌کنند؟

ت. این بازی چهار مربعی می‌تواند به n مربعی تعمیم داده شود، به طوری که $n > 2$. ثابت کنید اگر n زوج باشد، A برنده است و اگر n فرد باشد، A بازنده است.

۹. در این تمرین، مفاهیم اساسی بازی، با استفاده از دوز بازی به عنوان یک مثال، بررسی می‌شوند. X_n تعداد سطرها، ستون یا قطرهایی با دقیقاً n عدد X و هیچ O است. O_n تعداد سطرها، ستون یا قطرهایی با n عدد O است. تابع سودمندی، به هر موقعیتی با $X_3=1$ مقدار 1 و به هر موقعیتی با $O_3=1$ مقدار -1 را نسبت می‌دهد. سودمندی سایر موقعیت‌های پایانی صفر است. برای موقعیت‌های غیرپایانی، از تابع ارزیابی خطی استفاده می‌کنیم که به صورت زیر تعریف شده است:

$$Eval(s) = 3X_2(s) + X_1(s) - (3O_2(s) + O_1(s))$$

الف. تقریباً چند بازی ممکن از دوز در این جا وجود دارد؟

ب. کل درخت بازی را با شروع از صفحه خالی تا عمق 2 (یک X و یک O در صفحه) رسم کنید. تقارن را در نظر بگیرید.

پ. ارزیابی‌های تمام موقعیت‌هایی با عمق 2 را نشانه‌گذاری کنید.

ت. با استفاده از الگوریتم مینیماکس، مقادیر پشتیبان مربوط به موقعیت‌های موجود در عمق‌های یک و صفر را در درخت نشانه‌گذاری کنید. سپس با استفاده از آن مقادیر، بهترین حرکت شروع را انتخاب کنید.

ث. دور گره‌هایی در عمق 2 را دایره رسم کنید که در صورت استفاده از هرس کردن آلفا - بتا ارزیابی نمی‌شوند. فرض کنید گره‌ها برای هرس کردن آلفا - بتا به ترتیب بهینه‌ای تولید می‌شوند.

۱۰. خانواده‌ای از بازی‌های دوزبازی تعمیم یافته را که به صورت زیر تعریف می‌شوند، در نظر بگیرید. هر بازی خاص، با مجموعه‌ای S از مربع‌ها و کلکسیون W از موقعیت‌های برنده مشخص می‌شود. هر موقعیت برنده، زیرمجموعه‌ای از S است. برای مثال، در دوزبازی استاندارد، S مجموعه‌ای از 9 مربع و W کلکسیون 8 زیرمجموعه‌ای W است: سه سطر، سه ستون و دو قطر. از طرف دیگر، این بازی معادل دوزبازی استاندارد است. با شروع از یک صفحه‌ی خالی، بازیکنان مهره‌های خود را در مربع خالی جابه‌جا می‌کنند. بازیکنی که هر مربع را در موقعیت برنده علامت‌گذاری می‌کند، بازی را می‌برد. اگر تمام مربع‌ها علامت‌دار شده باشند ولی هیچ بازیکنی برنده نشده باشد، بازی مساوی شده است.

الف. فرض کنید $N = |S|$ تعداد مربع‌ها باشد. یک کران بالا برای تعداد گره‌های موجود در درخت کامل بازی مربوط به دوزبازی تعمیم یافته، به صورت تابعی از N تعیین کنید.

ب. یک کران پایین برای اندازه‌ی درخت بازی در بدترین حالت ارائه دهید که در آن $W = \{\}$.

پ. یک تابع ارزیابی قابل قبول پیشنهاد کنید که می‌تواند برای هر نمونه از دوزبازی تعمیم یافته به کار گرفته شود. ممکن است این تابع به S و W وابسته باشد.

ت. فرض کنید می‌توان صفحه‌ی جدید را تولید و بررسی کرد که یک موقعیت برنده است. فرض کنید یک پردازنده 2 گیگاهرتزی وجود دارد و نشان دهید که می‌توان این کار را در $100N$ دستورالعمل ماشین انجام داد. محدودیت‌های حافظه را نادیده بگیرید. با استفاده از برآوردی که در قسمت (الف) انجام دادید، الگوریتم آلفا - بتا چه اندازه‌ای از درخت بازی را در یک ثانیه از زمان CPU حل می‌کند؟ در یک دقیقه چطور؟ در یک ساعت چطور؟

۱۱. یک برنامه بازی ایجاد کنید که قادر است بازی‌های گوناگونی را انجام دهد.

الف. توابع ارزیابی و مولدهای حرکت را برای یک یا چند بازی زیر پیاده‌سازی کنید: Kalah ، Othello ، Checkers و Chess .

ب. یک عامل بازی کلی آلفا - بتا بسازید.

پ. اثر افزایش عمق جستجو، بهبود ترتیب حرکت و بهبود تابع ارزیابی را مقایسه کنید. "ضریب انشعاب مؤثر" شما چقدر به حالت ایده‌آل "ترتیب حرکت کامل" نزدیک می‌شود؟

ت. یک الگوریتم جستجوی انتخابی را پیاده‌سازی کنید، مثل B^* یا $MGSS^*$ و کارایی آن را با A^* مقایسه کنید.

۱۲. توضیح دهید که الگوریتم‌های مینیماکس و آلفا - بتا برای بازی‌های دونفره‌ای که مجموع امتیازات آن‌ها صفر نیست و هر بازیکن تابع سودمندی مجزایی دارد و هر دو تابع سودمندی برای هر دو بازیکن شناخته شده‌اند، چه تغییری می‌کند. اگر هیچ محدودیتی روی سودمندی‌های پایانی وجود نداشته باشد، آیا گره‌ها می‌توانند با آلفا - بتا هرس شوند؟ اگر توابع سودمندی بازیکن در هر حالت، حداکثر با مقدار ثابت K فرق کند، به‌طوری‌که بازی را تقریباً به صورت همکاری درآورد، چه خواهد شد؟

۱۳. توضیح دهید الگوریتم‌های آلفا - بتا چگونه برای بازی‌های دونفره با مجموع غیر صفر که در آن‌ها، هر بازیکن دارای یک تابع سودمندی مجزا است و هر دو تابع سودمندی را هر دو بازیکن می‌دانند، تغییر می‌کند. اگر هیچ محدودیتی روی دو سودمندی پایانی نباشد، آیا هر گره می‌تواند با آلفا - بتا هرس شود؟ اگر مجموع توابع سودمندی در هر حالت برابر با عددی بین دو ثابت $-k$ و k باشد، به‌طوری‌که مجموع بازی تقریباً صفر شود چطور؟

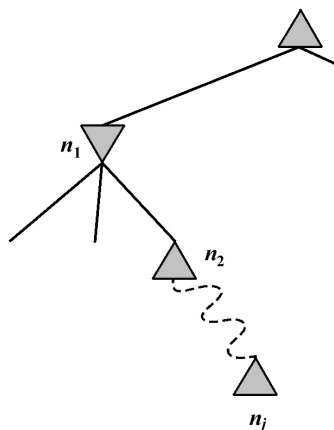
۱۴. صحت هرس آلفا - بتا را به‌طور رسمی ثابت کنید. برای این کار، وضعیت شکل ۵-۱۷ را در نظر بگیرید. پرسش این است آیا می‌توان گره n_j را هرس کرد که یک گره بیشینه و از اخلاف n_1 است یا خیر. ایده این است که می‌توان آن را هرس کرد اگر و فقط اگر بیشترین مقدار n_1 مستقل از مقدار n_j باشد.

الف. گره n_1 به صورت زیر مشخص می‌شود: $n_1 = \min(n_2, n_{21}, \dots, n_{2b_2})$. عبارت مشابهی را برای n_2 بیابید و سپس یک عبارت برای n_1 برحسب n_j بیابید.

ب. فرض کنید l_i مقدار کمینه یا بیشینه گره موجود در سمت چپ گره n_j در عمق i باشد که مقدار مینیماکس آن معلوم است. به‌طور مشابه، فرض کنید i مقدار کمینه یا بیشینه‌ی گره‌های بررسی نشده‌ای باشد که در سمت راست n_1 و در عمق i قرار دارد. عبارت مربوط به n_1 را برحسب مقادیر l_i و r_i بنویسید.

پ. اکنون این عبارت را دوباره فرمول‌بندی کنید تا نشان دهید که برای اثربخشی بر روی n_1 و n_j نباید از حد معینی فراتر رود که از مقادیر l_i گرفته می‌شود.

ت. فرآیند را برای موردی تکرار کنید که n_j گره کمینه است.



وضعیت برای بررسی هرس کردن گره n_j

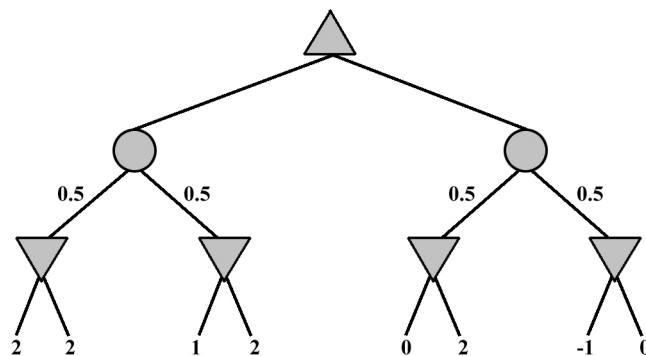
۱۵. ثابت کنید هرس کردن آلفا - بتا همراه با مرتب‌سازی حرکت بهینه، به زمان $O(2^{m/2})$ نیاز دارد که در آن، m حداکثر عمق درخت بازی است.

۱۶. فرض کنید یک برنامه شطرنج دارید که می‌تواند ۵ میلیون گره را در هر ثانیه ارزیابی کند. درباره‌ی نمایش قشرده‌ی حالت بازی برای ذخیره‌سازی در جدول جابجایی تصمیم‌گیری کنید. تقریباً چند درایه را می‌توانید در جدول یک گیگابایتی موجود در حافظه قرار دهید؟ آیا این تعداد برای سه دقیقه جستجوی تخصیص یافته، برای یک حرکت کافی است؟ در مدت زمانی که طول می‌کشد یک ارزیابی را انجام دهید، چند بار می‌توانید به جدول مراجعه کنید. اکنون فرض کنید جدول جابجایی بر روی دیسک ذخیره شده است. در مدت زمانی که با سخت‌افزار دیسک استاندارد کار می‌کنید، چند بار ارزیابی را می‌توانید انجام دهید؟

۱۷. فرض کنید یک برنامه شطرنج داریم که در هر ثانیه می‌تواند ۱۰ میلیون گره را ارزیابی کند. درباره نمایش فشرده‌ی حالت بازی برای ذخیره‌سازی در جدول جابجایی، تصمیم‌گیری کنید. در حدود چند درایه را می‌توانید در جدول ۲ گیگابایتی موجود در حافظه، در نظر بگیرید؟ آیا این تعداد برای سه دقیقه جستجوی تخصیص یافته، برای یک حرکت کافی است؟ در مدت زمانی که طول می‌کشد یک ارزیابی را انجام دهید، چند بار می‌توانید به جدول مراجعه کنید؟ اکنون فرض کنید جدول جابجایی بر روی دیسک ذخیره شده است. در مدت زمانی که با سخت‌افزار دیسک استاندارد یک پیگرد (seek) را انجام می‌دهید، چند ارزیابی را می‌توانید انجام دهید؟

۱۸. این پرسش، هرس کردن را در بازی‌هایی با گره‌های شانس در نظر می‌گیرد. شکل ۵-۱۸ درخت کامل بازی را برای یک بازی ساده نشان می‌دهد. فرض کنید گره‌های برگ باید به ترتیب از چپ به راست ارزیابی شوند و قبل از ارزیابی برگ، هیچ اطلاعاتی راجع به مقدارش نداریم - محدوده‌ی مقادیر ممکن، $-\infty$ تا ∞ است.

الف. شکل را کپی کنید، مقدار تمام گره‌های داخلی را علامت‌دار کنید، بهترین حرکت را در ریشه با یک پیکان (فلش) نشان دهید.



درخت کامل بازی برای یک بازی ساده همراه با گره‌های شانس

ب. با توجه به مقادیر شش برگ اول، آیا لازم است برگ‌های هفتم و هشتم ارزیابی شوند؟ با توجه به مقادیر هفت برگ اول، آیا لازم است برگ هشتم ارزیابی شود؟ پاسخ‌های خود را توضیح دهید.
پ. فرض کنید مقادیر گره برگ در بین ۲- و ۲ و خود این مقادیر قرار دارند. پس از ارزیابی دو برگ اول، محدوده‌ی مقدار مربوط به گره شانس سمت چپ چیست؟
ت. تمام برگ‌هایی را که لازم نیست تحت فرض قسمت (پ) ارزیابی شوند، مشخص کنید.

۱۹. الگوریتم expectiminimax و الگوریتم آلفا - بتا را پیاده‌سازی کنید که توسط Ballard (۱۹۸۳) برای هرس کردن درخت‌های بازی با گره‌های شانس مطرح شد. آن‌ها را در بازی تخته نرد به کار ببرید و اثربخشی هرس کردن آلفا - بتا* را اندازه‌گیری کنید.

۲۰. $[\text{game-linear-transform}]$: ثابت کنید با تبدیل خطی مثبت مقادیر برگ (تبدیل مقدار x به $ax + b$ به‌طوری‌که $a > 0$)، حتی اگر گره‌های شانس وجود داشته باشند، انتخاب حرکت بی‌تغییر باقی می‌ماند.

۲۱. $[\text{game-playing-monte-carlo-exercise}]$: رویه زیر را برای انتخاب حرکت‌ها در بازی‌ای با گره‌های شانس در نظر بگیرید:

- ◀ دنباله‌هایی از پرتاب تاس (مثلاً ۵۰) را تا عمق مناسبی (مثلاً ۸) تولید کنید.
- ◀ وقتی تعداد پرتاب‌های تاس معلوم باشد، درخت بازی قطعی خواهد شد. برای هر پرتاب تاس، با استفاده از آلفا - بتا، درخت بازی قطعی حاصل را حل کنید.
- ◀ با استفاده از این نتایج، مقدار هر حرکت را برآورده کرده بهترین را انتخاب کنید.

آیا این رویه به‌خوبی کار می‌کند (اگر نه، چرا)؟

۲۲. در ادامه، درخت “max” فقط شامل گره‌های max (بیشینه) است، در حالی که درخت “ expectimax ” شامل گره max در ریشه است که لایه‌های گره‌های شانس و max به‌طور متناوب قرار دارند. در گره‌های شانس، تمام احتمالات خروجی، صفر هستند. هدف، یافتن **مقداری** از ریشه با استفاده از جستجو در عمق محدود است. برای هر یک از قسمت‌های (الف) تا (ج) یا یک مثال ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا غیرممکن است.

الف. با فرض اینکه مقادیر برگ متناهی ولی بدون کران (unbounded) هستند، آیا هرس کردن (مثل آلفا - بتا) هنوز در درخت max امکان‌پذیر است؟

ب. آیا تحت شرایط مشابه، هرس کردن در درخت expectimax امکان‌پذیر است؟
پ. اگر مقادیر برگ نامنفی باشند، آیا هرس کردن در درخت max امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا امکان‌پذیر نیست؟

ت. اگر مقادیر برگ نامنفی باشند، آیا هنوز هرس کردن در درخت expectimax امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا امکان‌پذیر نیست؟

ث. اگر مقادیر برگ در محدوده‌ی $[0, 1]$ باشد، آیا هرس کردن در درخت max امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا امکان‌پذیر نیست؟

ج. اگر مقادیر برگ در محدوده‌ی $[0, 1]$ باشد، آیا هرس کردن در درخت expectimax امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا امکان‌پذیر نیست؟

چ. نتایج حاصل از گره شانس را در درخت expectimax در نظر بگیرید. کدام یک از ترتیب‌های ارزیابی زیر با احتمال بیشتری فرصت‌های هرس کردن را به وجود می‌آورند؟

< اول کمترین احتمال (Lowest probability first)

< اول بیشترین احتمال (Highest probability first)

< قضاوتی قائل نشوید (Doesn't make any difference)

۲۳. در ادامه، درخت "max" فقط شامل گره‌های بیشینه است، درحالی‌که درخت "expectimax" شامل گره بیشینه در ریشه است که لایه‌های گره‌های شانس و بیشینه به طور متناوب قرار دارند. در گره‌های شانس، تمام احتمالات نتیجه غیر صفر هستند. هدف یافتن مقدار ریشه با استفاده از جستجو با عمق محدود است:

الف. با فرض این‌که مقادیر برگ متناهی ولی بدون کران است، آیا هرس کردن در درخت max (همانند آلفا - بتا) امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا شرح دهید که چرا امکان‌پذیر نیست.

ب. آیا هرس کردن در درخت expectimax تحت همان شرایط امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید که چرا ممکن نیست.

پ. اگر مقادیر برگ محدود به بازه‌ی $[0, 1]$ باشند، آیا هرس کردن در درخت max امکان‌پذیر است؟ مثالی ذکر کنید یا توضیح دهید که چرا ممکن نیست؟

ت. اگر مقادیر برگ محدود به $[0, 1]$ باشند، آیا هرس کردن در درخت expectimax امکان‌پذیر است یا خیر؟ مثالی ارائه کنید (به لحاظ کیفیت متفاوت از مثال شما در قسمت پ) در صورت وجود) یا توضیح دهید که چرا ممکن نیست؟

ث. اگر مقادیر برگ محدود به مقادیر نامنفی باشند، آیا هرس کردن در درخت max امکان‌پذیر است یا خیر؟ مثالی ارائه کنید یا توضیح دهید که چرا ممکن نیست؟

ج. اگر مقادیر برگ محدود به مقادیر نامنفی باشند، آیا هرس کردن در درخت expectimax امکان‌پذیر است؟ مثالی ارائه دهید یا توضیح دهید که چرا ممکن نیست.

چ. نتایج گره شانس را در درخت expectimax در نظر بگیرید. کدام یک از ترتیب‌های ارزیابی زیر با احتمال بیشتری فرصت‌های هرس کردن را ایجاد می‌کنند: (۱) ابتدا احتمال کم، (۲) ابتدا بالاترین احتمال (۳) هیچ فرقی نمی‌کند.

۲۴. کدام یک از موارد زیر درست و کدام یک نادرست است؟ شرح مختصری ارائه دهید.

الف. در یک بازی "با مجموع امتیازات صفر" و کاملاً قابل مشاهده همراه با اخذ نوبت بین دو بازیکن کاملاً خردمند (عاقل)، اگر بازیکن اول بداند که بازیکن دوم از چه استراتژی استفاده خواهد کرد، اهمیتی ندارد (یعنی، باتوجه به حرکت بازیکن اول، حرکت بازیکن دوم اهمیتی ندارد).
ب. در یک بازی با مجموع امتیازات صفر و تا حدی قابل مشاهده همراه با اخذ نوبت، چنانچه بازیکن اول بداند که بازیکن دوم چه حرکتی انجام می دهد، اهمیتی ندارد.
پ. عامل "تخته نرد خردمند کامل"، هرگز نمی بازد.

۲۵. اثر متقابل رویدادهای شانس و اطلاعات جزئی را در هر یک از بازی های تمرین ۴ به دقت در نظر بگیرید.

الف. مدل expectiminimax استاندارد برای کدام یک مناسب است؟ الگوریتم را پیاده سازی کنید و در عامل بازی اجرا کنید، به طوری که محیط انجام بازی را اصلاح کنید.
ب. طرح توصیف شده در تمرین ۱۹، برای کدام یک مناسب است؟
پ. این حقیقت را که در بعضی از بازی ها، بازیکنان اطلاعات یکسانی راجع به حالت فعلی ندارند، چگونه اداره می کنید؟

تمرین‌های فصل ۶: مسأله‌های ارضای محدودیت

۱. برای مسأله‌ی رنگ‌آمیزی نقشه در شکل ۶-۱ چند جواب وجود دارد؟ اگر چهاررنگ مجاز باشد، چند جواب وجود دارد؟ برای دو رنگ چطور؟
۲. مسأله‌ی قرار دادن k اسب را در صفحه‌ی $n \times n$ در نظر بگیرید، به طوری که هیچ دو اسبی به یکدیگر حمله نکنند. k مشخص و $k \leq n^2$ است.
 - الف. یک روش فرموله‌کردن برای این CSP پیدا کنید. در این فرموله‌کردن، متغیرها کدام هستند؟
 - ب. مقادیر ممکن برای هر متغیر کدام هستند؟
 - پ. چه مجموعه‌هایی از متغیرها محدود شدند و چگونه؟
 - ت. اکنون مسأله‌ی قرار دادن حداکثر اسب‌هایی را در صفحه در نظر بگیرید که به یکدیگر حمله نکنند. با تعریف توابع ActionS و RESULT و یک تابع هدف معقول، توضیح دهید که چگونه می‌توان این مسأله را با استفاده از جستجوی محلی حل کرد.
۳. [crossword-exercise]: مسأله‌ی ساخت جداول کلمات متقاطع را در نظر بگیرید^۱ (نه حل آن را): هدف این معما، قرار دادن کلمات مناسب در یک توری مستطیلی^۲ است. توری که به عنوان بخشی از مسأله داده می‌شود، مشخص می‌کند کدام مربع‌ها سفید و کدام مربع‌ها سیاه هستند. فرض کنید لیستی از کلمات (یعنی دیکشنری) وجود دارد و مربع‌های سفید باید با استفاده از زیرمجموعه‌ای از این لیست پر شوند. این مسأله را به دو روش فرموله کنید:
 - الف. به عنوان یک مسأله‌ی جستجو. یک الگوریتم جستجوی مناسب انتخاب کنید و یک تابع ابتکاری بنویسید. بهتر است در مربع‌های سفید، هر بار یک حرف قرار دهید یا یک کلمه؟
 - ب. به عنوان یک مسأله‌ی ارضای محدودیت (CSP). متغیرها باید کلمات یا حروف باشند؟ فکر می‌کنید کدام روش فرموله‌کردن بهتر است؟ چرا؟
۴. [csp-definition-exercise]: برای هر یک از موارد زیر به عنوان مسأله‌های ارضای محدودیت، آن را به طور دقیق فرموله کنید:
 - الف. برنامه‌ریزی کف: یافتن مکان‌هایی در یک چهارگوش بزرگ، برای تعدادی از مربع‌های کوچک، به طوری که همپوشانی نداشته باشند.
 - ب. زمان‌بندی کلاس‌ها: تعداد ثابتی از اساتید و کلاس‌ها وجود دارند، لیستی از کلاس‌ها و لیستی از زمان‌ها باید برای کلاس‌ها پیشنهادها شوند. هر استاد مجموعه‌ای از کلاس‌ها را می‌تواند تدریس کند.

۱. Ginsberg و همکاران (۱۹۹۰) چندین روش ساخت جدول کلمات متقاطع را ارائه دادند. Littman و همکاران (۱۹۹۹) مسأله‌های دشوارتر را نیز حل کرده‌اند.

- پ. تور هامیلتون: با توجه به شبکه‌ای از شهرهایی که از طریق جاده‌ها به هم متصل هستند، ترتیبی را برای ملاقات تمام شهرها انتخاب می‌کنید که هیچ شهری دوبار ملاقات نمی‌شود.
۵. مسأله‌ی حساب رمزی شکل ۶-۲ را به روش دستی، با استفاده از ابتکارهای عقبگرد، بررسی پیش‌رو و MRV و مقداری با کمترین محدودیت حل کنید.
۶. [nary-csp-exercise] : نشان دهید چگونه یک محدودیت سه‌تایی مثل " $A + B = C$ " می‌تواند با استفاده از یک متغیر کمکی، در سه محدودیت دودویی قرار گیرد. می‌توانید دامنه‌ها را متناهی در نظر بگیرید (راهنمایی: متغیر جدیدی در نظر بگیرید که مقادیر آن، جفت‌هایی از مقادیر دیگر است و محدودیت‌هایی مثل " X اولین عنصر جفت Y است" را در نظر داشته باشید). سپس نشان دهید با محدودیت‌هایی با بیش از سه متغیر، می‌توان به همین صورت عمل کرد. سرانجام، نشان دهید چگونه محدودیت‌های یکانی می‌توانند با تغییر دامنه متغیرها، حذف شوند. به این ترتیب نتیجه می‌گیریم که هر CSP می‌تواند به یک CSP با محدودیت دودویی تبدیل شود.
۷. [zebra-exercise] : معمای منطقی زیر را در نظر بگیرید: در پنج منزل که هر کدام رنگ متفاوتی دارد، پنج نفر با ملیت‌های مختلف زندگی می‌کنند که هر کدام به سیگاری با مارک خاص، نوشیدنی و حیوان خاصی علاقه دارند. با توجه به حقایق زیر، به این پرسش‌ها پاسخ دهید: "گورخر در کدام منزل نگهداری می‌شود و در کدام منزل آب نوشیده می‌شود؟"
- < مرد انگلیسی در خانه قرمز زندگی می‌کند.
 - < اسپانیایی سگ را در اختیار می‌گیرد.
 - < نروژی در اولین خانه سمت چپ زندگی می‌کند.
 - < خانه‌ی سبز بلافاصله در سمت راست خانه‌ی عاج‌دار واقع است.
 - < مردی که Hershey bars مصرف می‌کند، در کنار منزل مردی که با روباه زندگی می‌کند، خانه دارد.
 - < کیت گت‌ها (Kit Kats) در خانه‌های زرد خورده می‌شوند.
 - < نروژی در کنار منزل آبی زندگی می‌کند.
 - < خورنده‌ی اسمارتیس (Smarties) مالک حلزون است.
 - < خورنده‌ی Snickers، آب میوه‌ی پرتقالی می‌نوشد.
 - < Ukrainian چای می‌نوشد.
 - < ژاپنی Milky Ways می‌خورد.
 - < کیت گت‌ها (Kit Kats) در خانه‌ای خورده می‌شوند که کنار خانه اسب نگهداری می‌شود.
 - < در خانه سبز، قهوه نوشیده می‌شود.
 - < در خانه وسط، شیر نوشیده می‌شود.
- نمایش‌های مختلف این مسأله را به صورت CSP بحث کنید. چرا نمایشی بر نمایش دیگر ارجح است؟

۸. گرافی با ۸ گره $A_1, A_2, A_3, A_4, H, T, F_1, F_2$ را در نظر بگیرید. به ازای هر i ، A_i به A_{i+1} متصل است، هر A_i به H متصل است و H به T متصل است و T به هر F_i متصل است. با استفاده از استراتژی زیر، این گراف را به سه رنگ به روش دستی رنگ آمیزی کنید: عقبگرد همراه با "پرش به عقب در جهت تناقض"، با ترتیب متغیرهای $A_1, H, A_4, F_1, A_2, F_2, A_3, T$ و ترتیب مقادیر R, G, B .

۹. توضیح دهید که چرا در جستجوی CSP، انتخاب متغیری با حداکثر محدودیت و مقداری با کمترین محدودیت، ابتکار خوبی است.

۱۰. نمونه‌های تصادفی از مسأله‌های رنگ آمیزی نقشه را به صورت زیر تولید کنید: n نقطه را در مربع واحد پخش (پراکنده) کنید؛ نقطه‌ی X را به طور تصادفی انتخاب کنید، X را با یک خط مستقیم به نزدیک‌ترین نقطه به نام Y متصل کنید، به طوری که X قبلاً به Y متصل نشده باشد و این خط هیچ خط دیگری را قطع نکند. این مرحله را آن قدر تکرار کنید تا هیچ اتصال دیگری امکان‌پذیر نباشد. نقاط نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ها در نقشه هستند و خطوط، همسایه‌ها را به هم متصل می‌کنند. اکنون با استفاده از روش‌های "کمترین تناقض"، عقبگرد، عقبگرد همراه با بررسی پیشرو، و عقبگرد همراه با MAC، نقشه را با k رنگ، رنگ آمیزی کنید و این کار را برای $k=3$ و $k=4$ انجام دهید. برای هر الگوریتم جدولی از میانگین زمان اجرا را برای مقادیر n تا بزرگترین مقداری که می‌توانید مدیریت کنید، بسازید. نتایج را شرح دهید.

۱۱. برای مسأله‌ی ۶-۱ با استفاده از الگوریتم AC-3 نشان دهید که سازگاری یال می‌تواند ناسازگاری انتساب جزئی green و Vred را تشخیص دهد.

۱۲. برای مسأله‌ی شکل ۶-۱، با استفاده از الگوریتم AC-3 نشان دهید که سازگاری یال می‌تواند ناسازگاری در انتساب جزئی red و Vblue را تشخیص دهد.

۱۳. پیچیدگی زمان اجرای AC-3 در CSP با ساختار درختی، در بدترین حالت چیست؟

۱۴. [ac4-exercise]: هر وقت متغیری از دامنه‌ی X_i حذف شود، الگوریتم AC-3 هر یال (X_k, X_i) را در صف قرار می‌دهد، حتی اگر هر مقدار X_k با چندین مقدار باقیمانده‌ی X_i سازگار باشد. فرض کنید برای هر یال (X_k, X_i) تعداد مقادیر باقیمانده‌ی X_i را نگه می‌داریم که با هر مقدار X_k سازگار است. نشان دهید که چگونه می‌توان این اعداد را به‌طور کارآمد به‌هنگام کرد و سپس نشان دهید که سازگاری یال می‌تواند در زمان $O(n^2 d^2)$ اعمال شود.

۱۵. TREE-CSP-SOLVER (شکل ۶-۱۰) سازگاری یال‌ها را با شروع از برگ‌ها و برگشت به عقب به سمت ریشه انجام می‌دهد. چرا این طور عمل می‌کند؟ اگر در جهت عکس کار می‌کرد چه اتفاقی می‌افتاد؟

۱۶. معمای سودوکو را به عنوان CSP معرفی کردیم که باید با جستجو روی انتساب‌های جزئی حل شود، زیرا افراد معمولاً مسأله‌های سودوکو را به این صورت حل می‌کنند. این مسأله‌ها را می‌توان

- با جستجوی محلی روی "انتساب‌های کامل" حل کرد. حل‌کننده‌های محلی با استفاده از ابتکار کمترین تناقض‌ها، چگونه بر روی مسأله‌های سودوکو عمل می‌کند؟
۱۷. واژه‌های "جستجوی عقبگرد"، "سازگاری یال"، "پرش به عقب"، "کمترین تناقض‌ها" و "مجموعه‌ی برش چرخه‌ای" را شرح دهید.
۱۸. اصطلاحات زیر را تعریف کنید: محدودیت (قید)، جابجایی؛ سازگاری یال، پرش به عقب، کمترین برخورد و مجموعه برش چرخه.
۱۹. فرض کنید گرافی دارای مجموعه‌ی برش چرخه‌ای است که بیش از k گره ندارد. الگوریتم ساده‌ای را برای یافتن کوچک‌ترین مجموعه‌ی برش چرخه‌ای ارائه دهید که زمان اجرای آن برای CSP با n متغیر، چندان بیشتر از $O(n^k)$ نیست. برای یافتن مجموعه‌ی برش‌های چرخه‌ای تقریباً کمینه در زمانی که متناسب با اندازه‌ی مجموعه‌ی برش چرخه‌ای باشد، ستون مربوط را جستجو کنید. آیا وجود این الگوریتم‌ها، روش مجموعه‌ی برش چرخه‌ای را عملی می‌سازد؟
۲۰. مسأله‌ی کاشی‌کاری یک سطح را (برای پوشش دقیق و کامل آن) با n دومینو (مستطیل‌های ۱×۲) در نظر بگیرید. سطح یال متصل به هم دلخواه است (مثل، مجاور در امتداد یک یال، نه فقط به گوشه) از $2n$ مربع 1×1 است (به عنوان مثال، یک صفحه شطرنجی، یک صفحه شطرنج که برخی مربع‌ها حذف شده‌اند و یک سطر 1×10 از مربع‌ها).
- الف. این مسأله را به دقت به عنوان CSP فرمول‌بندی کنید که در آن، دومینوها متغیر هستند.
- ب. این مسأله را به دقت به عنوان CSP فرمول‌بندی کنید که در آن مربع‌ها مجزا هستند و فضای حالت را تا حد ممکن کوچک نگه می‌دارد. (راهنمایی: آیا مهم است که کدام دومینوی خاص در یک جفت مربع مشخص قرار گیرد؟)
- پ. سطحی بسازید که شامل 6 مربع باشد به طوری که فرمول‌بندی CSP از قسمت (ب)، دارای یک گراف محدودیت با ساختار درختی است.
- ت. مجموعه‌ای از نمونه‌های قابل حل را دقیقاً مشخص کنید که دارای گراف محدودیت با ساختار درختی است.

تمرین‌های فصل ۷: عامل‌های منطقی

۱. فرض کنید عاملی که به نقطه‌ی نشان داده شده در شکل ۷-۴ (الف) پیشروی کرده است، چیزی را در $[1, 1]$ احساس نکرده است، در $[2, 1]$ نسیم را درک کرد و در $[1, 2]$ تعفن را احساس کرد. اکنون با محتوای $[1, 3]$ ، $[2, 2]$ و $[3, 1]$ سروکار دارد. هر یک از این‌ها می‌تواند شامل گودال و حداکثر یکی از آن‌ها می‌تواند شامل ومپوز باشد. با توجه به مثال شکل ۷-۵، مجموعه دنیاهای ممکن را بسازید (باید ۳۲ باشد). دنیاهایی را مشخص کنید که در آن‌ها KB درست است و آن‌هایی را مشخص کنید که در آن‌ها هر یک از جملات زیر درست هستند:

$\alpha_2 =$ گودالی در $[2, 2]$ وجود ندارد.

$\alpha_3 =$ یک ومپوز در $[1, 3]$ وجود ندارد.

نشان دهید که $KB \models \alpha_2$ و $KB \models \alpha_3$.

۲. با توجه به مطالب زیر، آیا می‌توانید اثبات کنید که unicorn افسانه‌ای است؟ آیا جادویی است؟ شاخدار است؟

اگر unicorn افسانه‌ای باشد، آنگاه فناپذیر است، اما اگر افسانه‌ای نباشد، یک پستاندار فانی است. اگر unicorn فناپذیر یا پستاندار است، آنگاه شاخدار است. unicorn جادویی است اگر شاخدار باشد.

۳. [truth-value-exercise]: مسأله تصمیم‌گیری در مورد درست یا نادرست بودن یک جمله منطقی گزاره‌ای را در یک مدل در نظر بگیرید.

الف. یک الگوریتم بازگشتی $TRUE?(s, m)$ بنویسید که $true$ را برگرداند اگر و فقط اگر جمله s در مدل m درست باشد (m یک مقدار درستی را برای هر نماد موجود در s نسبت می‌دهد). الگوریتم باید برحسب اندازه جمله به‌طور خطی اجرا شود. (می‌توانید از نسخه‌ای از این تابع که در کد آنلاین وجود دارد، استفاده کنید).

ب. سه مثال از جملاتی ارائه کنید که بتوان درستی یا نادرستی آن‌ها را در مدل ناقصی تعیین کرد که مقدار درستی را برای بعضی از نمادها مشخص نمی‌کند.

پ. نشان دهید که مقدار درستی یک جمله در مدل ناقص به‌طور کارآمد قابل تعیین نیست.

ت. الگوریتم $TRUE? - PL$ را طوری اصلاح کنید که بتواند در مدل ناقص، درستی را تعیین کند، در حالی که ساختار بازگشتی و زمان اجرای خطی حفظ شود. سه جمله مثال بنویسید که درستی آن‌ها در مدل ناقص، توسط الگوریتم شما تشخیص داده نمی‌شود.

ث. مشخص کنید آیا الگوریتم اصلاح شده، $ENTAILS? - TT$ را کارآمدتر می‌کند یا خیر.

۴. کدام یک از موارد زیر درست است؟

الف. $False \models True$

ب. $True \models False$

پ. $(A \wedge B) \models (A \leftrightarrow B)$

ت. $A \leftrightarrow B \models A \vee B$

$$\text{ث. } A \Leftrightarrow B \models \neg A \vee B$$

$$\text{ج. } (A \wedge B) \Rightarrow C \models (A \Rightarrow C) \vee (B \Rightarrow C)$$

$$\text{چ. } (C \vee (\neg A \wedge \neg B)) \equiv ((A \Rightarrow C) \wedge (B \Rightarrow C))$$

$$\text{ح. } (A \vee B) \wedge (\neg C \vee \neg D \vee E) \models (A \vee B)$$

$$\text{خ. } (A \vee B) \wedge (\neg C \vee \neg D \vee E) \models (A \vee B) \wedge (\neg D \vee E)$$

$$\text{د. } (A \vee B) \wedge \neg(A \Rightarrow B) \text{ ارضایپذیر است.}$$

$$\text{ذ. } (A \Leftrightarrow B) \wedge (\neg A \vee B) \text{ ارضایپذیر است.}$$

ر. برای هر مجموعه ثابتی از نمادهای گزاره‌ای که در A ، B ، و C قرار دارد، تعداد مدل‌های

$$(A \Leftrightarrow B) \Leftrightarrow C \text{ برابر با تعداد مدل‌های } (A \Leftrightarrow B) \text{ است.}$$

۵. کدام یک از موارد زیر درست است؟

$$\text{الف. } False \models True$$

$$\text{ب. } True \models False$$

$$\text{پ. } (A \wedge B) \models (A \Leftrightarrow B)$$

$$\text{ت. } A \Leftrightarrow B \models A \vee B$$

$$\text{ث. } A \Leftrightarrow B \models \neg A \vee B$$

$$\text{ج. } (A \vee B) \wedge (\neg C \vee \neg D \vee E) \models (A \vee B \vee C) \wedge (B \wedge C \wedge D \Rightarrow E)$$

$$\text{چ. } (A \vee B) \wedge (\neg C \vee \neg D \vee E) \models (A \vee B) \wedge (\neg D \vee E)$$

$$\text{ح. } (A \vee B) \wedge \neg(A \Rightarrow B) \text{ is satisfiable}$$

$$\text{خ. } (A \wedge B) \Rightarrow C \models (A \Rightarrow C) \vee (B \Rightarrow C)$$

$$\text{د. } (C \vee (\neg A \wedge \neg B)) \equiv ((A \Rightarrow C) \wedge (B \Rightarrow C))$$

$$\text{ذ. } (A \Leftrightarrow B) \wedge (\neg A \vee B) \text{ is satisfiable}$$

ر. $(A \Leftrightarrow B) \Leftrightarrow C$ has the same number of models as $(A \Leftrightarrow B)$ for any fixed set of

proposition symbols that includes A, B, C

۶. [deduction-theorem-exercise] : ادعاهای زیر را ثابت کنید:

$$\text{الف. } \alpha \text{ معتبر است اگر و فقط اگر } True \models \alpha$$

$$\text{ب. برای } \alpha, \text{ داریم } False \models \alpha$$

$$\text{پ. } \alpha \models \beta \text{ اگر و فقط اگر جمله } (\alpha \Rightarrow \beta) \text{ معتبر باشد.}$$

$$\text{ت. } \alpha \models \beta \text{ اگر و فقط اگر جمله } (\alpha \Leftrightarrow \beta) \text{ معتبر باشد.}$$

$$\text{ث. } \alpha \models \beta \text{ اگر و فقط اگر جمله } (\alpha \wedge \neg \beta) \text{ قابل ارضا نباشد.}$$

۷. هر یک از ادعاهای زیر را اثبات کنید یا مثال نقض ارائه دهید:

$$\text{الف. اگر } \gamma \models \alpha \text{ یا } \gamma \models \beta \text{ (یا هر دو) سپس } \gamma \models (\alpha \wedge \beta)$$

$$\text{ب. اگر } \alpha \models (\beta \wedge \gamma) \text{ سپس } \alpha \models \beta \text{ و } \alpha \models \gamma$$

- پ. اگر $\alpha \models (\beta \vee \gamma)$ سپس $\alpha \models \beta$ یا $\alpha \models \gamma$ (یا هر دو).
۸. هر یک از ادعاهای زیر را اثبات کنید یا مثال نقض ارائه دهید:
- الف. اگر $\alpha \models \gamma$ یا $\beta \models \gamma$ (یا هر دو) سپس $(\alpha \wedge \beta) \models \gamma$.
- ب. اگر $\alpha \models (\beta \wedge \gamma)$ سپس $\alpha \models \beta$ و $\alpha \models \gamma$.
- پ. اگر $\alpha \models (\beta \vee \gamma)$ سپس $\alpha \models \beta$ یا $\alpha \models \gamma$ (یا هر دو).
۹. یک واژه‌نامه فقط با چهار گزاره‌ی A ، B ، C و D را در نظر بگیرید. برای جملات زیر، چند مدل وجود دارند؟
- الف. $B \vee C$
- ب. $\neg A \vee \neg B \vee \neg C \vee \neg D$
- پ. $(A \Rightarrow B) \wedge A \wedge \neg B \wedge C \wedge D$
۱۰. چهار رابط منطقی (ادات منطقی) دودویی مختلف را تعریف کردیم.
- الف. آیا موارد دیگری وجود دارند که مفید باشند؟
- ب. چند رابط دودویی می‌تواند وجود داشته باشد؟
- پ. چرا بعضی از آن‌ها چندان مفید نیستند؟
۱۱. [logical-equivalence-exercise]: به یک روش انتخابی خودتان، هر یک از هم‌ارزی‌های شکل ۱۱-۷ را بررسی کنید.
۱۲. [propositional-validity-exercise]: تصمیم بگیرید که کدام یک از جملات زیر: معتبر، ارضاپذیر، یا هر دو است. تصمیمات خود را با استفاده از جدول‌های درستی یا قوانین هم‌ارزی شکل ۱۱-۷ بررسی کنید:
- الف. $Smoke \Rightarrow Smoke$
- ب. $Smoke \Rightarrow Fire$
- پ. $(Smoke \Rightarrow Fire) \Rightarrow (\neg Smoke \Rightarrow \neg Fire)$
- ت. $Smoke \vee Fire \vee \neg Fire$
- ث. $((Smoke \wedge Heat) \Rightarrow Fire) \Leftrightarrow ((Smoke \Rightarrow Fire) \vee (Heat \Rightarrow Fire))$
- ج. $(Smoke \Rightarrow Fire) \Rightarrow ((Smoke \wedge Heat) \Rightarrow Fire)$
- چ. $Big \vee Dumb \vee (Big \Rightarrow Dumb)$
۱۳. [propositional-validity-exercise]: تصمیم بگیرید که هر کدام از جملات زیر: معتبر، غیرقابل ارضا، یا هیچ کدام هستند. تصمیم خود را با استفاده از جدول‌ها یا قوانین هم‌ارزی جدول ۱۱-۷ صحت‌سنجی کنید:
- الف. $Smoke \Rightarrow Smoke$
- ب. $Smoke \Rightarrow Fire$

پ. $(Smoke \Rightarrow Fire) \Rightarrow (\neg Smoke \Rightarrow \neg Fire)$

ت. $Smoke \vee Fire \vee \neg Fire$

ث. $((Smoke \wedge Heat) \Rightarrow Fire) \Leftrightarrow ((Smoke \Rightarrow Fire) \vee (Heat \Rightarrow Fire))$

ج. $Big \vee Dumb \vee (Big \Rightarrow Dumb)$

چ. $(Big \wedge Dumb) \vee \neg Dumb$

۱۴. [cnf-proof-exercise]: هر جمله‌ی منطق گزاره‌ای به‌طور منطقی هم‌ارز این ادعا است که هر دنیای ممکن در آن، نمی‌تواند نادرست باشد. با این مشاهده، ثابت کنید هر جمله می‌تواند در CNF نوشته شود.

۱۵. برای اثبات جمله‌ی $\neg A \wedge \neg B$ از بندهای (کلازهای) تمرین ۷-۲۰، از تحلیل استفاده کنید.

۱۶. [inf-exercise]: این تمرین رابطه بین بندها و جملات استلزام را در نظر می‌گیرد.

الف. نشان دهید بند $(\neg P_1 \vee \dots \vee \neg P_m \vee Q)$ از نظر منطقی هم‌ارز جمله استلزام $(P_1 \wedge \dots \wedge P_m) \Rightarrow Q$ است.

ب. نشان دهید هر بند (صرف‌نظر از تعداد لیترال‌های مثبت) می‌تواند به شکل $(P_1 \wedge \dots \wedge P_m) \Rightarrow (Q_1 \vee \dots \vee Q_n)$ نوشته شود که Qs و Ps نمادهای گزاره هستند. پایگاه دانش شامل این جملات، در شکل نرمال استلزامی یا شکل نوالسکی^۱ است.

پ. قانون تحلیل کامل را برای جملاتی به شکل نرمال استلزامی بنویسید.

۱۷. براساس نظریه‌های موجود، کسی که رادیکال است (R) ، قابل انتخاب است (E) اگر محافظه کار باشد (C) ، اما در غیر این صورت قابل انتخاب نیست.

الف. کدام یک از موارد زیر، این ادعا را به درستی نمایش می‌دهد.

$$(R \wedge E) \Leftrightarrow C \quad \leftarrow$$

$$R \Rightarrow (E \Leftrightarrow C) \quad \leftarrow$$

$$R \Rightarrow ((C \Rightarrow E) \vee \neg E) \quad \leftarrow$$

ب. کدام یک از جملات قسمت (الف) می‌تواند به شکل عبارت هورن بیان شود؟

۱۸. این پرسش، نمایش مسأله‌های ارضاپذیر (SAT) را به صورت CSPها بررسی می‌کند.

الف. گراف محدودیت متناظر با این مسأله‌ی SAT را برای حالت $n=5$ رسم کنید:

$$(\neg X_1 \vee X_2) \wedge (\neg X_2 \vee X_3) \wedge \dots \wedge (\neg X_{n-1} \vee X_n)$$

ب. چند جواب برای این مسأله‌ی کلی SAT به صورت تابعی از n وجود دارد؟

پ. فرض کنید الگوریتم BACKTRACKING-SEARCH را برای یافتن تمام جواب‌های SAT CSP از نوع (الف) اجرا کنیم. (برای یافتن تمام جواب‌های CSP، الگوریتم اصلی را تغییر می‌دهیم تا پس از یافتن هر جواب به کارش ادامه دهد.) فرض کنید متغیرها به ترتیب X_1, \dots, X_n هستند و

1. Kowalski form

false قبل از *true* قرار دارد. چقدر طول می کشد تا الگوریتم خاتمه یابد؟ (یک عبارت $O(\cdot)$ را به صورت تابعی از n بنویسید).

ت. می دانیم که مسأله های SAT به شکل هورن می تواند با استفاده از زنجیره ی پیشرو (انتشار واحد) در زمان خطی انجام شود. همچنین، می دانیم که هر CSP دودویی با ساختار درختی که دامنه های آن ها گسسته و متناهی است، می تواند در زمان خطی برحسب تعداد متغیرها حل شود (بخش ۵-۶ را ببینید). آیا این دو حقیقت به هم ارتباط دارند؟ بحث کنید.

۱۹. این سؤال نمایش مسأله های ارضاپذیری (SAT) را به صورت CSPها بررسی می کند.

الف. گراف محدودیت متناظر با مسأله ی SAT زیر را برای حالت خاص $n=4$ رسم کنید:

$$(\neg X_1 \vee X_2) \wedge (\neg X_2 \vee X_3) \wedge \dots \wedge (\neg X_{n-1} \vee X_n)$$

ب. چند جواب برای این مسأله ی SAT کلی به صورت تابعی از n وجود دارد.

پ. فرض کنید {Backtracking-search} را برای تمام جواب های نهایی به SAT CSP از نوع (الف) اجرا کنیم. (برای یافتن تمام جواب های CSP، الگوریتم اصلی را اصلاح می کنیم و در نتیجه پس از پیدا شدن هر جواب، به جستجو ادامه می دهد. فرض کنید متغیرها به صورت X_1, X_2, \dots, X_n مرتب می شوند و *false* قبل از *true* قرار می گیرد. چقدر طول می کشد تا الگوریتم خاتمه یابد (یک عبارت $O(\cdot)$ به صورت تابعی از n بنویسید).

ت. می دانیم که مسأله های SAT به شکل هورن می توانند با زنجیر پیشرو (انتشار واحد)، حل شوند. همچنین می دانیم که هر CSP دودویی با ساختار درختی همراه با دامنه های متناهی و گسسته، می توانند در زمان خطی برحسب تعداد متغیرها حل شوند. آیا این دو حقیقت به هم ربط دارند؟ بحث کنید.

۲۰. توضیح دهید چرا هر بند (کلاز) گزاره ای غیرخالی، خودش ارضاپذیر است. ثابت کنید که هر مجموعه از بندهای 3-SAT ارضاپذیر است، به شرطی که هر بند دقیقاً به سه متغیر مجزا اشاره کند. کوچک ترین مجموعه از چنین بندهایی که ارضاپذیر نباشند، کدام است؟ یکی از این مجموعه ها را بسازید.

۲۱. یک عبارت 2-CNF گزاره ای، یک ترکیب عطفی از بندهایی است که هر کدام دقیقاً شامل 2 لیترال است، مثل:

$$(A \vee B) \wedge (\neg A \vee C) \wedge (\neg B \vee D) \wedge (\neg C \vee G) \wedge (\neg D \vee G).$$

الف. با استفاده از تحلیل اثبات کنید که جمله ی بالا بر G دلالت می کند.

ب. دو بند در صورتی از نظر معنایی متمایز هستند که از نظر منطقی هم ارز نباشند. با استفاده از n نماد گزاره ای چند بند 2-CNF را می توان ساخت که از نظر معنایی متمایز باشند؟

پ. با استفاده از پاسخ به (ب) ثابت کنید تحلیل گزاره ای همیشه در زمان چندجمله ای برحسب n خاتمه می یابد (با توجه به یک جمله ی 2-CNF که بیش از n نماد متمایز ندارد).

ت. توضیح دهید چرا استدلال شما در قسمت (پ) به 3-CNF اعمال نمی شود.

۲۲. اثبات کنید که ادعاهای زیر درست هستند:

الف. هر جفت بند گزاره‌ای یا حل کننده‌ی مدار یا تمام حل کننده‌های آن‌ها به لحاظ منطقی یکسان هستند.

ب. هیچ بندی وجود ندارد که وقتی با خودش حل شود، (پس از فاکتورگیری)، بند $(\neg P \vee \neg Q)$ را تولید کند.

۲۳. جمله‌ی زیر را در نظر بگیرید:

$$[(Food \Rightarrow Party) \vee (Drinks \Rightarrow Party)] \Rightarrow [(Food \wedge Drinks) \Rightarrow Party].$$

الف. با استفاده از شمارش، تعیین کنید که آیا این جمله معتبر، ارضاپذیر (ولی نامعتبر)، یا ارضاناپذیر است.

ب. سمت چپ و سمت راست استلزام اصلی را به CNF تبدیل کنید، به طوری که هر مرحله را نشان دهید و توضیح دهید که نتایج چگونه پاسخ به قسمت (الف) را تأیید می‌کند.

پ. پاسخ به قسمت (الف) را با استفاده از تحلیل اثبات کنید.

۲۴. [dnf-exercise]: جمله در صورتی به شکل نرمال فصلی^۱ (DNF) است که ترتیب فصلی ترکیب

عطفی لیترال‌ها باشد. برای مثال، جمله‌ی $(A \wedge B \wedge \neg C) \vee (\neg A \wedge C) \vee (B \wedge \neg C)$ در DNF نیست.

الف. هر جمله‌ی منطق گزاره‌ای، از نظر منطقی هم‌ارز این ادعا است که بعضی از دنیاها ممکن که این جمله در آن درست خواهد بود، در حقیقت همینطور است. با استفاده از این مشاهدات، ثابت کنید هر جمله‌ای را می‌توان در DNF نوشت.

ب. الگوریتمی ایجاد کنید که هر جمله در منطق گزاره‌ای را به DNF تبدیل می‌کند. (راهنمایی: این الگوریتم مشابه الگوریتم تبدیل به CNF است که در بخش ۷-۵-۲ آمده است).

پ. الگوریتم ساده‌ای ایجاد کنید که جمله‌ای در DNF را به عنوان ورودی می‌گیرد و یک انتساب ارضا کننده را در صورت وجود برمی‌گرداند و چنانچه انتساب ارضا کننده وجود نداشته باشد، گزارش می‌دهد.

ت. الگوریتم‌های قسمت (ب) و (پ) را به مجموعه جملات زیر اعمال کنید:

$$\begin{aligned} A &\Rightarrow B \\ B &\Rightarrow C \\ C &\Rightarrow \neg A. \end{aligned}$$

ث. از آن‌جا که الگوریتم قسمت (ب) خیلی شبیه الگوریتم تبدیل به CNF است و الگوریتم قسمت (پ) خیلی ساده‌تر از هر الگوریتم حل مجموعه‌ای از جملات در CNF است، چرا این تکنیک در "استدلال خودکار" به کار گرفته نمی‌شود؟

۲۵. [convert-clausal-exercise]: مجموعه‌ی جملات زیر را به شکل بند درآورید.

1. S1: $A \Leftrightarrow (B \vee E)$.
2. S2: $E \Rightarrow D$.
3. S3: $C \wedge F \Rightarrow \neg B$.
4. S4: $E \Rightarrow B$.
5. S5: $B \Rightarrow F$.
6. S6: $B \Rightarrow C$

بسط DPLL را روی ترکیب عطفی این بندها ردیابی کنید.

۲۶. [convert-clausal-exercise]: مجموعه‌ی جملات زیر را به شکل بند درآورید.

1. S1: $A \Leftrightarrow (B \vee E)$.
2. S2: $E \Rightarrow D$.
3. S3: $C \wedge F \Rightarrow \neg B$.
4. S4: $E \Rightarrow B$.
5. S5: $B \Rightarrow F$.
6. S6: $B \Rightarrow C$

بسط DPLL را روی ترکیب عطفی این بندها ردیابی کنید.

۲۷. آیا احتمال حل یک جمله‌ی CNF - 4 که به طور تصادفی با n نماد و m بند تولید شد، نسبت به یک جمله‌ی CNF - 3 که با n نماد و m بند به طور تصادفی تولید شد، بیشتر یا کمتر است؟ شرح دهید.

۲۸. [minesweeper-exercise]: کشتی مین‌روب (بازی کامپیوتری معروف)، نزدیک به دنیای ومپوز است. دنیای کشتی مین‌روب یک توری مستطیلی از N مربع با M مین غیرقابل مشاهده است که در مربع‌ها پخش شده‌اند. عامل هر مربع را بررسی می‌کند. اگر مین‌روب کشف شود، مردن صورت می‌گیرد. کشتی مین‌روب وجود مین را اعلام می‌کند (در هر مربع جست‌وجو شده، تعداد مین‌هایی را نشان می‌دهد که به طور مستقیم یا قطری همجوار هستند).

الف. فرض کنید $X_{i,j}$ درست است اگر و فقط اگر $[i, j]$ حاوی مین باشد. این ادعا را یادداشت کنید که دقیقاً دو مین همجوار $[1, 1]$ وجود دارد و جمله‌ای موجود است که شامل ترکیب منطقی گزاره‌های $X_{i,j}$ است.

ب. ادعای (الف) را با تشریح چگونگی ساخت جمله CNF شرح دهید. این جمله ادعا می‌کند که k همسایه از n همسایه، حاوی مین هستند.

پ. دقیقاً توضیح دهید که عامل چگونه می‌تواند با استفاده از DPLL ثابت کند که مربع خاصی حاوی مین هست (یا حاوی مین نیست)، این محدودیت را حذف کنید که دقیقاً M مین وجود دارد.

ت. فرض کنید محدودیت عمومی از روش بخش (ب) ساخته می‌شود. تعداد بندها چه ارتباطی با M و N دارد؟ راهی برای اصلاح DPPL پیشنهاد کنید که نیاز به نمایش صریح محدودیت عمومی نباشد.

ث. اگر محدودیت عمومی در نظر گرفته شود، آیا نتایج حاصل از روش بخش (پ) نامعتبر می‌شوند؟

ج. نمونه‌هایی از پیکربندی‌های مقادیر جستجو ارائه کنید که حاوی وابستگی‌هایی با بازی‌های طولانی است، به‌طوری‌که محتوای مربع جستجو نشده اطلاعاتی راجع به محتوای مربع راه‌دور ارائه می‌کند. [راهنمایی: صفحه $N \times 1$ را در نظر بگیرید].

۲۹. [known-literal-exercise]: وقتی α لیتالی باشد که قبلاً در KB وجود داشته است، اثبات α KB \models با استفاده از DPLL چقدر طول می‌کشد؟ شرح دهید.

۳۰. [dpll-fc-exercise]: رفتار DPLL را در پایگاه دانش شکل ۷-۱۶ هنگام اثبات Q ردیابی کنید و این رفتار را با رفتار الگوریتم زنجیره‌ی پیشرو مقایسه کنید.

۳۱. یک "اصل حالت پسین" برای محمول *Locked* بنویسید که به درها (doors) اعمال می‌شود. فرض کنید فقط کنش‌های *Lock* و *Unlock* فراهم هستند.

۳۲. منظور از رفتار بهینه در دنیای ومپوز چیست؟ نشان دهید که {Hybrid-Wumpus-Agent} بهینه نیست و راه‌هایی برای بهبود آن پیشنهاد کنید.

۳۳. فرض کنید یک عامل در جهانی با دو حالت S و $\neg S$ زندگی می‌کند و دقیقاً می‌تواند یکی از دو کنش a و b را انجام دهد. کنش a کاری انجام نمی‌دهد و کنش b از حالتی به حالت دیگر می‌رود. فرض کنید S^t گزاره‌ای باشد که عامل در زمان t در حالت S است و فرض کنید a^t گزاره‌ای باشد که عامل در زمان t کنش a را انجام نمی‌دهد (همین‌طور برای b^t).
الف. یک اصل موضوعی "حالت بعدی" برای $S^t + 1$ بنویسید.

ب. جمله‌ی (الف) را به CNF تبدیل کنید.

پ. یک اثبات رد تحلیل را نشان دهید که اثر عامل در زمان t در $\neg S$ باشد و کنش a را انجام دهد، هنوز در زمان $t + 1$ در حالت $\neg S$ است.

۳۴. [ss-axiom-exercise]: بخش "حالت بعدی" تعداد اصول موضوعی "حالت بعدی" را نشان می‌دهد که برای دنیای ومپوز ضروری است. اصول موضوعی برای تمام نمادهای فلوئنت باقیمانده بنویسید.

۳۵. [hybride-wumpus-exercise]: عبارت {Hybrid-Wumpus-Agent} را برای استفاده از روش تخمین حالت منطقی اصلاح کنید. در متن کتاب مطرح کردیم که چنین عاملی نمی‌تواند باورهای پیچیده‌تری مثل ترکیب فصلی $P_{3,1} \vee P_{2,2}$ را به دست آورد، نگهداری و از آن استفاده کند. روشی برای حل این مسأله با تعریف نمادهای گزاره‌ای دیگر پیشنهاد و آن را در دنیای ومپوز امتحان کنید. آیا این روش کارایی عامل را بهبود می‌بخشد؟

تمرین‌های فصل ۸ : منطق مرتبه‌ی اول

۱. پایگاه دانش منطقی، دنیا را با مجموعه‌ای از جملات بدون ساختار صریح نمایش می‌دهد. از طرف دیگر، نمایش قیاسی دارای ساختار فیزیکی است که مستقیماً متناظر با ساختار چیزهایی است که نمایش داده شده‌اند. نقشه‌ی جاده‌های کشور خود را به عنوان نمایش حقایقی راجع به کشور در نظر بگیرید. این نقشه، حقایق را به زبان نقشه نمایش می‌دهد. ساختار دوبعدی نقشه متناظر با سطح دوبعدی مساحت است.

الف. پنج نمونه از نمادها را در زبان نقشه ارائه کنید.

ب. جمله صریح، جمله‌ای است که مولد نمایش آن را می‌نویسد. جمله ضمنی جمله‌ای است که با توجه به خواص نمایش قیاسی، از جملات صریح نتیجه می‌شود، سه مثال از جملات ضمنی و صریح را در زبان نقشه ارائه کنید.

پ. سه مثال از حقایق مربوط به ساختار فیزیکی کشورتان ارائه دهید که نمی‌تواند در زبان نقشه ارائه شود.

ت. دو مثال از حقایق ارائه کنید که بیان آن‌ها در زبان نقشه ساده‌تر از منطق مرتبه اول است.

ث. دو مثال مفید دیگر در مورد نمایش‌های قیاسی ارائه دهید. مزایا و معایب هر یک از این زبان‌ها را بیان کنید.

۲. پایگاه دانشی را در نظر بگیرید که فقط حاوی دو جمله است: $P(a)$ و $P(b)$. آیا این پایگاه دانش $\forall x P(x)$ را ایجاب می‌کند؟ پاسخ را برحسب مدل‌ها شرح دهید.

۳. آیا جمله $\exists x, y, xy$ معتبر است؟ شرح دهید.

۴. یک جمله منطقی بنویسید، به طوری که در هر دنیایی که درست است، فقط شامل یک شیء باشد.
۵. [two-friends-exercise]: یک جمله منطقی بنویسید، به طوری که در هر دنیایی که درست است، فقط شامل دو شیء باشد.

۶. [fol-model-count-exercise]: یک واژگان از نمادها را در نظر بگیرید که حاوی c نماد ثابت، p_k نماد محمول از هر درجه‌ی k و f_k نماد تابع برای هر درجه‌ی k است که $1 \leq k \leq A$. اندازه دامنه را D در نظر بگیرید. برای هر مدل، هر نماد محمول یا تابع، به ترتیب به یک رابطه یا تابع با درجه‌ای یکسان نگاشت می‌شود. ممکن است فرض کنید توابع موجود در مدل اجازه می‌دهند بعضی از چندتایی‌های ورودی، فاقد مقادیری برای تابع باشند (مقدار، شیء قابل رؤیت نیست). فرمولی برای تعداد مدل‌های ممکن در دامنه‌ای با D عنصر ارائه کنید. در مورد حذف ترکیبات اضافی نگران نباشید.

۷. [nqueens-size-exercise]: کدام یک از جملات زیر معتبر (الزاماً درست) هستند؟

الف. $(\exists x \ x = x) \Rightarrow (\forall y \ \exists z \ y = z)$.

ب. $\forall x \ P(x) \vee \neg P(x)$.

پ. $\forall x \text{ Smart}(x) \vee (x = x)$.

۸. [empty-universe-exercise]: نسخه‌ای از معنای مربوط به منطق مرتبه‌ی اول را در نظر بگیرید که در آن، مدل‌هایی با دامنه‌های خالی، مجاز هستند. حداقل دو مثال از جملات را ارائه دهید که براساس معنای استاندارد، معتبر هستند ولی براساس این معنای جدید معتبر نیستند. بحث کنید کدام نتیجه، بیشتر برای مثال‌های شما شهودی است.

۹. [hillary-exercise]: آیا حقیقت $\neg \text{Spouse}(\text{George}, \text{Laura})$ از حقیقت $\text{Jim} \neq \text{George}$ و $\text{Spouse}(\text{Jim}, \text{Laura})$ نتیجه می‌شود؟ اگر نتیجه می‌شود، آن را اثبات کنید؛ وگرنه در صورت نیاز، اصول موضوعی دیگری تولید کنید. اگر از Spouse به جای محمول دودویی، به عنوان نماد تابعی یگانی استفاده کنیم، چه اتفاقی خواهد افتاد؟

۱۰. این تمرین از تابع MapColor و محمول‌های $\text{In}(x, y)$ ، $\text{Borders}(x, y)$ و $\text{Country}(x)$ استفاده می‌کند که آرگومان‌های آن‌ها، مناطق جغرافیایی و نمادهای ثابت مربوط به مناطق مختلف هستند. در هر یک از موارد زیر، یک جمله‌ی انگلیسی و تعدادی عبارت منطقیِ کاندید را ارائه کردیم. برای هر عبارت منطقی، بیان کنید که آیا (۱) جمله‌ی انگلیسی را به درستی بیان می‌کند، (۲) از نظر نحوی نادرست و در نتیجه فاقد معنا است؛ یا (۳) از نظر نحوی معتبر است اما معنای جمله‌ی انگلیسی را بیان نمی‌کند.

الف. پاریس و مارسلین هر دو در فرانسه هستند:

- $\text{In}(\text{Paris} \wedge \text{Marseilles}, \text{France})$.
- $\text{In}(\text{Paris}, \text{France}) \wedge \text{In}(\text{Marseilles}, \text{France})$.
- $\text{In}(\text{Paris}, \text{France}) \vee \text{In}(\text{Marseilles}, \text{France})$.

ب. کشوری وجود دارد که هم‌مرز عراق و پاکستان است:

- $\exists c \text{ Country}(c) \wedge \text{Border}(c, \text{Iraq}) \wedge \text{Border}(c, \text{Pakistan})$.
- $\exists c \text{ Country}(c) \Rightarrow [\text{Border}(c, \text{Iraq}) \wedge \text{Border}(c, \text{Pakistan})]$.
- $[\exists c \text{ Country}(c)] \Rightarrow [\text{Border}(c, \text{Iraq}) \wedge \text{Border}(c, \text{Pakistan})]$.
- $\exists c \text{ Border}(\text{Country}(c), \text{Iraq} \wedge \text{Pakistan})$.

پ. تمام کشورهایی که هم‌مرز اکوادور هستند، در آمریکای جنوبی قرار دارند:

- $\forall c \text{ Country}(c) \wedge \text{Border}(c, \text{Ecuador}) \Rightarrow \text{In}(c, \text{SouthAmerica})$.
- $\forall c \text{ Country}(c) \Rightarrow [\text{Border}(c, \text{Ecuador}) \Rightarrow \text{In}(c, \text{SouthAmerica})]$.
- $\forall c [\text{Country}(c) \Rightarrow \text{Border}(c, \text{Ecuador})] \Rightarrow \text{In}(c, \text{SouthAmerica})$.
- $\forall c \text{ Country}(c) \wedge \text{Border}(c, \text{Ecuador}) \wedge \text{In}(c, \text{SouthAmerica})$.

ت. هیچ منطقه‌ای در آمریکای جنوبی، هم‌مرز هیچ منطقه‌ای در اروپا نیست:

- $\neg [\exists c, d \text{ In}(c, \text{SouthAmerica}) \wedge \text{In}(d, \text{Europe}) \wedge \text{Borders}(c, d)]$.
- $\forall c, d [\text{In}(c, \text{SouthAmerica}) \wedge \text{In}(d, \text{Europe})] \Rightarrow \neg \text{Borders}(c, d)$.
- $\neg \forall c \text{ In}(c, \text{SouthAmerica}) \Rightarrow \exists d \text{ In}(d, \text{Europe}) \wedge \neg \text{Borders}(c, d)$.
- $\forall c \text{ In}(c, \text{SouthAmerica}) \Rightarrow \forall d \text{ In}(d, \text{Europe}) \Rightarrow \neg \text{Borders}(c, d)$.

ث. نقشه‌ی هیچ دو کشور همسایه، هم‌رنگ نیست:

- $\forall x, y \neg Country(x) \vee \neg Country(y) \vee \neg Borders(x, y) \vee \neg (MapColor(x) = MapColor(y)).$
- $\forall x, y (Country(x) \wedge Country(y) \wedge Borders(x, y) \wedge \neg(x = y)) \Rightarrow \neg (MapColor(x) = MapColor(y)).$
- $\forall x, y Country(x) \wedge Country(y) \wedge Borders(x, y) \wedge \neg (MapColor(x) = MapColor(y)).$
- $\forall x, y (Country(x) \wedge Country(y) \wedge Borders(x, y)) \Rightarrow MapColor(x \neq y).$

۱۱. واژگانی با نمادهای زیر را در نظر بگیرید:

- < $Occupation(p, 0)$: محمول. شخص p دارای شغل ۰ است.
- < $Customer(p1, p2)$: محمول. شخص $p1$ مشتری مشخص $p2$ است.
- < $Boss(p1, p2)$: محمول. شخص $p1$ رئیس شخص $p2$ است.
- < $Doctor, Surgeon, Lawyer, Actor$: ثوابتی که نشان دهنده‌ی شغل‌ها هستند.
- < $Emily, Joe$: ثوابتی که نشان‌دهنده‌ی افراد هستند.

با استفاده از این نمادها، ادعاهای زیر را در منطق مرتبه‌ی اول بنویسید:

الف. Emily یک جراح یا یک وکیل است.

ب. Joe یک هنرپیشه است، اما شغل دیگری نیز دارد.

پ. تمام جراحان، دکتر هستند.

ت. Joe وکیل ندارد (یعنی، مشتری هیچ وکیلی نیست).

ث. Emily ریسی دارد که وکیل است.

ج. وکیلی وجود دارد که تمام مشتریان آن، دکتر هستند.

چ. هر جراح یک وکیل دارد.

۱۲. در هر کدام از موارد زیر، یک جمله‌ی انگلیسی و تعدادی عبارت منطقی کاندید را ارائه دادیم.

برای هر کدام از عبارات منطقی بیان کنید که آیا (۱) یک جمله‌ی انگلیسی را بیان می‌کند؛ (۲) به لحاظ نحوی نامعتبر و در نتیجه بی‌معناست، یا (۳) به لحاظ نحوی معتبر است ولی معنای جمله‌ی انگلیسی را بیان نمی‌کند.

1. Every cat loves its mother or father.

- > $\forall x Cat(x) \Rightarrow Loves(x, Mother(x) \vee Father(x)).$
- > $\forall x \neg Cat(x) \vee Loves(x, Mother(x)) \vee Loves(x, Father(x)).$
- > $\forall x Cat(x) \wedge (Loves(x, Mother(x)) \vee Loves(x, Father(x))).$

2. Every dog who loves one of its brothers is happy.

- > $\forall x Dog(x) \wedge (\exists y Brother(y, x) \wedge Loves(x, y)) \Rightarrow Happy(x).$
- > $\forall x, y Dog(x) \wedge Brother(y, x) \wedge Loves(x, y) \Rightarrow Happy(x).$
- > $\forall x Dog(x) \wedge [\forall y Brother(y, x) \Leftrightarrow Loves(x, y)] \Rightarrow Happy(x).$

3. No dog bites a child of its owner.

- $\forall x \text{ Dog}(x) \Rightarrow \neg \text{Bites}(x, \text{Child}(\text{Owner}(x)))$.
- $\neg \exists x, y \text{ Dog}(x) \wedge \text{Child}(y, \text{Owner}(x)) \wedge \text{Bites}(x, y)$.
- $\forall x \text{ Dog}(x) \Rightarrow (\forall y \text{ Child}(y, \text{Owner}(x)) \Rightarrow \neg \text{Bites}(x, y))$.
- $\neg \exists x \text{ Dog}(x) \Rightarrow (\exists y \text{ Child}(y, \text{Owner}(x)) \wedge \text{Bites}(x, y))$.

4. Everyone's zip code within a state has the same first digit.

- $\forall x, s, z1 [\text{State}(s) \wedge \text{LivesIn}(x, s) \wedge \text{Zip}(x)z1] \Rightarrow \setminus [\forall y, z2 \text{ LivesIn}(y, s) \wedge \text{Zip}(y)z2 \Rightarrow \text{Digit}(1, z1) \text{Digit}(1, z2)]$.
- $\forall x, s [\text{State}(s) \wedge \text{LivesIn}(x, s) \wedge \exists z1 \text{ Zip}(x)z1] \Rightarrow \setminus [\forall y, z2 \text{ LivesIn}(y, s) \wedge \text{Zip}(y)z2 \wedge \text{Digit}(1, z1) \text{Digit}(1, z2)]$.
- $\forall x, y, s \text{ State}(s) \wedge \text{LivesIn}(x, s) \wedge \text{LivesIn}(y, s) \Rightarrow \text{Digit}(1, \text{Zip}(x)\text{Zip}(y))$.
- $\forall x, y, s \text{ State}(s) \wedge \text{LivesIn}(x, s) \wedge \text{LivesIn}(y, s) \Rightarrow \setminus \text{Digit}(1, \text{Zip}(x)) \text{Digit}(1, \text{Zip}(y))$.

۱۳. [language-determination-exercise]: تمرینات زیر را درباره جملات منطقی کامل کنید:

الف. به انگلیسی خوب و طبیعی ترجمه کنید (نه x و نه y):

$$\forall x, y, l \text{ SpeaksLanguage}(x, l) \wedge \text{SpeaksLanguage}(y, l) \\ \Rightarrow \text{Understands}(x, y) \wedge \text{Understands}(y, x).$$

ب. توضیح دهید که چرا این جمله توسط جمله‌ی زیر ایجاب می‌شود:

$$\forall x, y, l \text{ SpeaksLanguage}(x, l) \wedge \text{SpeaksLanguage}(y, l) \\ \Rightarrow \text{Understands}(x, y).$$

پ. جملات زیر را به منطق مرتبه‌ی اول ترجمه کنید:

◀ درک کردن منجر به دوستی می‌شود.

◀ دوستی خاصیت متعددی دارد.

به خاطر داشته باشید که محمول‌ها، توابع و ثوابت مورد استفاده را تعریف کنید.

۱۴. درست یا غلط؟ شرح دهید:

الف. $\exists x \text{ Rumpelstiltskin}$ یک جمله‌ی معتبر (الزاماً درست) از منطق مرتبه‌ی اول است.

ب. جمله‌ی صور وجودی در منطق مرتبه‌ی اول در هر مدلی درست است که دقیقاً شامل یک شیء شود.

پ. xy ، $\forall x, y$ ارض‌پذیر است.

۱۵. [peano-completion-exercise]: دو اصل موضوعی پینو را که در بخش ۸-۳-۳ آمده است به

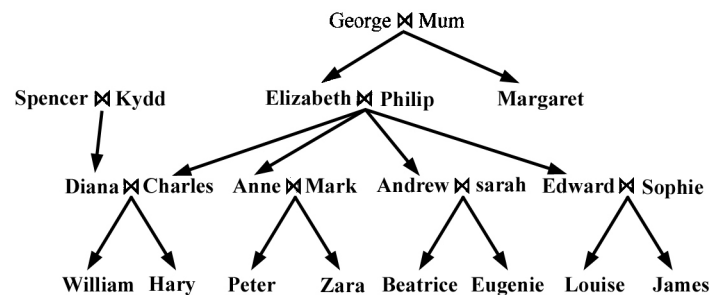
صورت یک اصل موضوعی بازنویسی کنید که $\text{NatNum}(x)$ را طوری تعریف می‌کند که از تمام اعداد، به جز آن‌هایی که توسط تابع پسین تولید می‌شوند، جلوگیری می‌کند.

۱۶. [wumpus-diagnostic-exercise]: معادله (۴-۸) شرایطی را تعریف می‌کند که تحت آن‌ها، یک مربع دارای نسیم است. در اینجا دو روش دیگر را برای توصیف این جنبه از دنیای ویمپوز در نظر می‌گیریم.

الف. می‌توانیم قوانین تشخیصی^۱ را بنویسیم که ناشی از آثار مشاهده شده تا دلایل پنهان شده است. برای یافتن گودال‌ها، قوانین تشخیصی بدیهی می‌گوید که اگر مربعی دارای نسیم باشد، مربع همجوار باید حاوی گودال باشد؛ و اگر مربعی دارای نسیم نباشد، آنگاه هیچ مربع همجوار حاوی گودال نیست. این دو قانون را در منطق مرتبه‌ی اول بنویسید و نشان دهید که ترکیب عطفی آن‌ها به طور منطقی هم‌ارز با معادله (۴-۸) است.

ب. می‌توانیم قوانین سببی^۲ را بنویسیم که با استفاده از آن‌ها می‌توان از علت به اثر پی برد. یک قانون سببی بدیهی این است که گودال موجب می‌شود تمام مربع‌های همجوار دارای نسیم شوند. این قانون را در منطق مرتبه‌ی اول بنویسید و توضیح دهید چرا در مقایسه با معادله (۴-۸) کامل است و اصل موضوعی جا افتاده را بنویسید.

۱۷. [kinship-exercise]: اصول موضوعی برای توصیف محمولات *GrandChild* ، *FirstCousin* ، *Son* ، *Daughter* ، *Sister* ، *Brother* ، *Ancestor* ، *Grandparent* ، *SisterInLaw* ، *BrotherInLaw* و *Aunt* و *Uncle* بنویسید. تعریف مناسب m امین دختر خاله را پیدا کنید که n بار نقل مکان کرده است. تعریف را در منطق مرتبه اول بنویسید. اکنون حقایق اصلی در درخت خانوادگی شکل ۸-۷ را بنویسید. با استفاده از یک سیستم استدلال منطقی، تمام جملاتی را که نوشته‌اید به آن اعلان کنید (TELL)، و از آن بپرسید فرزند بزرگ Elizabeth کیست، برادران Diana کدامند، پدر پدر بزرگ Zara کیست و اجداد Eugenie کیست.



یک درخت نمونه‌ی خانوادگی. نماد & همسران را به هم وصل می‌کند و پیکان به فرزندان اشاره دارد.

۱۸. جمله‌ای بنویسید که ادعا کند t یک تابع جابجایی‌پذیر است. آیا جمله‌ی شما از اصل موضوعی پیانو پیروی می‌کند؟ اگر بلی، توضیح دهید چرا؟ اگر نه، ارائه دهید که در آن اصل موضوعی درست هستند و جمله شما نادرست است.

۱۹. توضیح دهید در تعریف زیر که مربوط به محمول عضویت \in است، چه اشکالی وجود دارد:

$$\forall x, s \ x \in \{x|s\}$$

$$\forall x, s \ x \in s \Rightarrow \forall y \ x \in \{y|s\}.$$

۲۰. [list-representation-exercise]: با استفاده از اصول موضوعی مجموعه به عنوان مثال‌ها، اصول موضوعی را برای دامنه‌ی لیست بنویسید که شامل تمام ثوابت، توابع و محمول‌های مطرح شده در متن کتاب باشد.

۲۱. [adjacency-exercise]: توضیح دهید درباره‌ی تعریف پیشنهادی زیر برای مربع‌های همجوار در دنیای ومپوز، چه چیزی نادرست است؟

$$\forall x,y \text{ Adjacent}([x,y],[x+1,y]) \wedge \text{Adjacent}([x,y],[x,y+1]) .$$

۲۲. با استفاده از نماد ثابت ومپوز و محمول دودویی $At(Wumpus, Location)$ اصل موضوعی موردنیاز برای استدلال درباره‌ی مکان ومپوز بنویسید.

۲۳. با توجه به محمول‌های $Parent(p, q)$ و $Female(p)$ و ثوابت $Joan$ و $Kevin$ که معنای روشنی دارند، هر یک از جملات زیر را در منطق مرتبه‌ی اول بنویسید. (می‌توانید از \exists^1 به معنای "فقط یک مورد وجود دارد" استفاده کنید).

الف. $Joan$ دختر دارد (ممکن است بیش از یک دختر و چند پسر داشته باشد).

ب. $Joan$ دقیقاً یک دختر دارد (اما ممکن است پسر نیز داشته باشد).

پ. $Joan$ دقیقاً یک فرزند دارد که دختر است

ت. $Joan$ و $Kevin$ دقیقاً یک فرزند دارند.

ث. $Joan$ حداقل یک فرزند با $Kevin$ دارد و هیچ فرزندی با کس دیگر ندارد.

۲۴. ادعاهای حسابی را می‌توان با نماد محمول $<$ ، نمادهای تابع $+$ و \times و نمادهای ثابت 0 و 1 نوشت. با استفاده از دو شرطی‌ها می‌توان محمول‌های دیگری را تعریف کرد:

الف. خاصیت " x یک عدد زوج است" را نمایش دهید.

ب. خاصیت " x اول است" را نمایش دهید.

پ. حدس Goldbach یک حدس است که می‌گوید هر عدد زوج برابر با مجموع دو عدد اول است (هنوز اثبات نشد). این حدس را به صورت یک جمله‌ی منطقی بیان کنید.

۲۵. در فصل ۶، از علامت "تساوی" ($=$) برای نشان دادن رابطه‌ی بین متغیر و مقدارش استفاده کردیم. برای مثال، $WA = red$ را نوشتیم که به معنای این است که استرالیای غربی به رنگ قرمز است. برای نمایش این جمله در منطق مرتبه‌ی اول، باید $ColorOf(WA) = red$ را بنویسیم. اگر جملاتی مثل $WA = red$ را مستقیماً به صورت ادعاهای منطقی می‌نوشتیم، چه اشکالی پیش می‌آمد؟

۲۶. ادعایی را در منطق مرتبه‌ی اول بنویسید که در آن هر کلید و حداقل یکی از هر جفت جوراب سرانجام مفقود می‌شود. برای این کار از واژگان زیر استفاده کنید: $Key(x)$ که x کلید است؛ $Sock(x)$ که x جوراب است؛ $Pair(x, y)$ که x و y یک جفت هستند؛ Now زمان فعلی است؛ $Before(t_1, t_2)$ یعنی زمان t_1 قبل از زمان t_2 است؛ $Last(x, t)$ یعنی شیء x در زمان t مفقود می‌شود.

۲۷. برای هر یک از جملات زیر به زبان انگلیسی، تصمیم بگیرید که آیا جمله‌ی منطقی مرتبه‌ی اول که برای آن نوشته شد، ترجمه خوبی است یا خیر. (بعضی از جملات ممکن است بیش از یک خطا داشته باشند).

الف. شماره اجتماعی هیچ دو فردی یکسان نیست.

$$\neg \exists x, y, n \text{ Person}(x) \wedge \text{Person}(y) \Rightarrow [\text{HasSS}\#(x, n) \wedge \text{HasSS}\#(y, n)].$$

ب. شماره اجتماعی John مثل Mary است.

$$\exists n \text{ HasSS}\#(\text{John}, n) \wedge \text{HasSS}\#(\text{Mary}, n).$$

پ. شماره اجتماعی هر فردی ۹ رقمی است.

$$\forall x, n \text{ Person}(x) \Rightarrow [\text{HasSS}\#(x, n) \wedge \text{Digits}(n, 9)].$$

ت. هر یک از جملات (نادرست) بالا را با استفاده از نماد تابع $\text{SS}\#$ به جای محمول $\text{HasSS}\#$ بازنویسی کنید.

۲۸. جمله‌ی "DNA هر کسی یکتا است و از DAN والدین گرفته می‌شود" را به منطق مرتبه اول ترجمه کنید - باید جملات واژه‌نامه‌ی خود را به دقت شرح دهید. (راهنمایی: از محمول $\text{Unique}(x)$ استفاده نکنید، زیرا یکتا بودن به خودی خود، واقعاً خاصیتی از شیء نیست).

۲۹. برای هر کدام از جملات زیر در انگلیسی، تصمیم بگیرید که آیا جمله‌ی منطقی ذکر شده ترجمه‌ی خوبی هست یا خیر. اگر نیست، دلیل آن را بیان کرده و آن را اصلاح کنید.

الف. اجاره‌ی هر آپارتمان در لندن نسبت به برخی آپارتمان‌ها در پاریس کمتر است.

$$\forall x[\text{Apt}(x) \wedge \text{In}(x, \text{London})] \Rightarrow \exists y[(\text{Apt}(y) \wedge \text{In}(y, \text{Paris})) \Rightarrow (\text{Rent}(x) < \text{Rent}(y))]$$

ب. دقیقاً یک آپارتمان در پاریس با اجاره‌ی کمتر از ۱۰۰۰ دلار وجود دارد.

$$\exists x \text{ Apt}(x) \wedge \text{In}(x, \text{Paris}) \wedge \forall y[\text{Apt}(y) \wedge \text{In}(y, \text{Paris}) \wedge (\text{Rent}(y) < \text{Dollars}(1000))] \Rightarrow (y=x)$$

پ. اگر آپارتمانی گران‌تر از تمام آپارتمان‌ها در لندن باشد، باید در مسکو باشد.

$$\forall x \text{ Apt}(x) \wedge [\forall y \text{ Apt}(y) \wedge \text{In}(y, \text{London}) \wedge (\text{Rent}(x) > \text{Rent}(y))] \Rightarrow \text{In}(x, \text{Moscow})$$

۳۰. جملات زیر را در منطق مرتبه اول با استفاده از واژگان منطقی (که باید تعریف کنید)، نمایش دهید:

الف. بعضی از دانشجویان درس زبان فرانسه را در بهار ۲۰۰۱ می‌گیرند.

ب. هر دانشجو که زبان فرانسه را می‌گیرد، آن را پاس می‌کند.

پ. فقط یک دانشجو در بهار ۲۰۰۱ زبان یونانی را انتخاب می‌کند.

ت. بهترین نمره در درس زبان یونانی همیشه بیشتر از نمره زبان فرانسه است.

ث. هر کسی که یک سیاست را می‌خرد، باهوش است.

ج. هیچ کس سیاست گران را نمی‌خرد.

چ. عاملی وجود دارد که سیاست‌ها را فقط به افراد نامطمئن می‌فروشند.

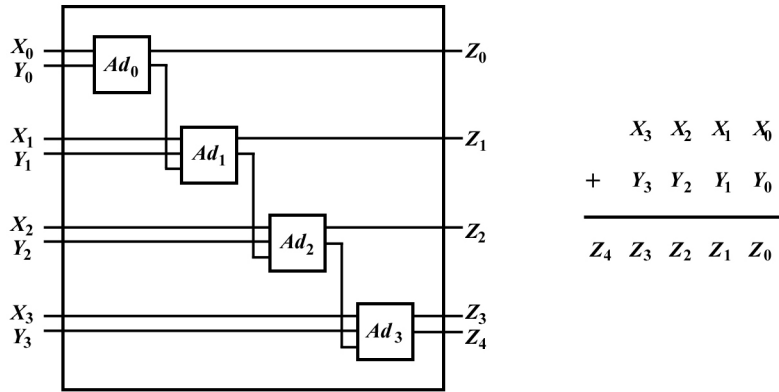
ح. آرایشگری وجود دارد که تمام مردانی را اصلاح می‌کند که خودشان را اصلاح نمی‌کنند.
 خ. کسی که در UK متولد شد و والدین او شهروند UK یا مقیم UK است، از نظر تولد، شهروند UK است.
 د. کسی که در خارج از UK متولد شد و یکی از والدین او از نظر تولد شهروند UK است، از طریق رابطه فرزندی، شهروند UK است.
 ذ. سیاستمداران می‌توانند بعضی از مردم را در تمام اوقات فریب دهند، می‌توانند تمام مردم را در بعضی اوقات فریب دهند، اما نمی‌توانند تمام مردم را در تمام اوقات فریب دهند.
 ر. تمام یونانی‌ها به یک زبان صحبت می‌کنند. $Speaks(x, l)$ به معنای این است که شخص x به زبان l صحبت می‌کند.

۳۱. جملات زیر را با استفاده از واژگان سازگاری که باید تعریف کنید، در منطق مرتبه اول نمایش دهید.

الف. برخی دانشجویان زبان فرانسه را در بهار ۲۰۰۱ می‌گیرند.
 ب. هر دانشجویی که زبان فرانسه را گرفت، پاس می‌کند.
 پ. فقط یک دانشجو در بهار ۲۰۰۱ زبان یونانی را انتخاب می‌کند.
 ت. بهترین نمره در درس زبان یونانی، همیشه کمتر از بهترین نمره در زبان فرانسوی است.
 ث. هر کسی که یک سیاست را می‌خرد، باهوش است.
 ج. هیچ کس سیاست گران را نمی‌خرد.
 چ. عاملی وجود دارد که سیاست‌ها را فقط به کسی می‌فروشد که مطمئن نیست.
 ح. آرایشگری وجود دارد که تمام مردانی را در شهر اصلاح می‌کند که خودشان را اصلاح نمی‌کنند.
 خ. فردی که در انگلستان متولد شده و هر یک از والدین او شهروند یا مقیم انگلستان هستند، از بدو تولد تبعه انگلیس است.
 د. فردی که در خارج از انگلستان متولد شده است، یکی از والدین او از بدو تولد مقیم انگلستان است، از بدو تولد شهروند انگلستان است.
 ذ. سیاستمداران می‌توانند بعضی از مردم را مدام فریب دهند و بعضی وقت‌ها می‌توانند تمام مردم را فریب دهند، اما نمی‌توانند تمام مردم را برای همیشه فریب دهند.
 ر. تمام یونانی‌ها به یک زبان صحبت می‌کنند. $Speaks(x, l)$ به این معنا استفاده شد که شخص x به زبان l صحبت می‌کند.

۳۲. یک مجموعه کلی از حقایق و اصول موضوعی برای نمایش ادعای "ولینگتون در مورد مرگ ناپلئون شنیده است" و پاسخ درست به پرسش "آیا ناپلئون در مورد مرگ ولینگتون شنیده است؟" بنویسید.

۳۳. [4bit-adder-exercise]: واژگان بخش ۸-۴ را بسط دهید تا جمع را برای اعداد دودویی n بیتی انجام دهد. سپس توصیف مربوط به جمع‌کننده چهاربیتی شکل زیر را کدگذاری کنید و پرس‌وجوهای موردنیاز برای بررسی صحت آن را اعمال کنید.



جمع‌کننده‌ی چهار بیتی. هر Ad_i جمع‌کننده‌ی یک بیتی است.

۳۴. نمایش مدار در این فصل، مشروح‌تر از حد ضروری است اگر منظور ما فقط عملکرد مدار باشد. یک فرمول‌بندی ساده‌تر، هر گیت یا مدار با m ورودی و n خروجی را با استفاده از محمولی با $m + n$ آرگومان توصیف می‌کند، به طوری که محمول وقتی دقیقاً درست است که ورودی‌ها و خروجی‌ها سازگار باشند. به عنوان مثال، گیت‌های NOT توسط محمول دودویی $NOT(i, o)$ توصیف شد که برای آن $NOT(0, 1)$ و $NOT(1, 0)$ معلوم هستند. ترکیب گیت‌ها توسط ترکیب عطفی محمول‌هایی تعریف می‌شود که در آن، متغیرهای مشترک، اتصالات مستقیم را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، مدار $NAND$ می‌تواند ترکیبی از AND ها و NOT ها باشد:

$$\forall i_1, i_2, o_a, o \quad AND(i_1, i_2, o_a) \wedge NOT(o_a, o) \Rightarrow NAND(i_1, i_2, o).$$

با استفاده از این نمایش، جمع‌کننده‌ی یک بیتی را در شکل adder-figure و جمع‌کننده‌ی چهاربیتی را در شکل 4bit-adder-figure تعریف کنید و توضیح دهید برای صحت‌سنجی از چه پرس‌وجوهایی استفاده می‌کنید. چه نوع پرس‌وجوهایی توسط این نمایش پشتیبانی نمی‌شوند که توسط نمایش بخش circuit-section پشتیبانی می‌شود؟

۳۵. برای کشور خود یک برنامه کاربردی تهیه کنید، قوانینی برای تعیین اعتبار پاسپورت تهیه کنید و آن‌ها را به منطق مرتبه‌ی اول ترجمه کنید. برای این کار، از مراحل مطرح شده در بخش ۸-۴ استفاده کنید.

۳۶. یک پایگاه دانش منطقی مرتبه‌ی اول را در نظر بگیرید که دنیاهایی را توصیف می‌کند که شامل افراد، آوازه‌ها، آلبوم‌ها (مثل "Meet the Beatles") و دیسک‌ها (یعنی نمونه‌های فیزیکی خاصی از CDها) است. واژگان شامل نمادهای زیر است:

< $CopyOf(d, a)$: محمول. دیسک d کپی آلبوم a است.

- ◀ $Owns(p,d)$: محمول. فرد p مالک دیسک d است.
- ◀ $Sings(p,s,a)$: آلبوم a شامل آواز s با صدای فرد p است.
- ◀ $Wrote(p,s)$: فرد p آواز s را نوشته است.
- ◀ $McCartney, Gershwin, BHoliday, Joe, EleanorRigby, TheManLove, Revolver$: ثوابتی با معنای روشن و بدیهی .
- دستورات زیر را به منطق مرتبه‌ی اول بیان کنید.
- الف. Gershwin ، “The Man I Love” را نوشت.
- ب. Gershwin ، “Eleanor Rigby” را نوشت.
- پ. Gershwin یا McCartney wrote “The Man I Love” را نوشت.
- ت. Joe حداقل یک آواز را نوشت.
- ث. Joe مالک کپی Revolver است.
- ج. هر آواز که McCartney در Revolver خواند، توسط McCartney نوشته شده است.
- چ. Gershwin ، هیچ کدام از آوازه‌ها را در Revolver ننوشت.
- ح. هر آوازی که Gershwin نوشت، در آلبوم یکسانی ضبط شده است. (احتمالاً، آوازه‌های مختلف در آلبوم‌های مختلفی ضبط شدند).
- خ. تنها یک آلبوم وجود دارد که شامل تمام آوازه‌هایی است که Joe آن‌ها را نوشته است.
- د. Joe مالک یک کپی از آلبومی است که در آن Billie Holiday آواز “The Man I Love” را می‌خواند.
- ذ. Joe مالک تمام آلبوم‌هایی است که حاوی آوازی است که توسط McCartney خوانده شد (البته، هر آلبوم مختلف، در CD فیزیکی متفاوتی نمونه‌سازی شده است).
- ر. Joe مالک یک کپی از هر آلبومی است که بر روی آن، تمام آوازه‌های خوانده شده توسط Billie Holiday نوشته شده است.

تمرین‌های فصل ۹: استنتاج در منطق مرتبه‌ی اول

۱. ثابت کنید نمونه‌سازی عمومی صحیح است و نمونه‌سازی وجودی، یک پایگاه دانش استنتاجی هم‌ارز را به وجود می‌آورد.
۲. از $Likes(Jerry, IceCream)$ منطقی به نظر می‌رسد که $\exists x Likes(x, IceCream)$ استنتاج می‌شود. یک قانون استنتاج کلی به نام معرفی وجودی بنویسید که این استنتاج را تأیید کند. شرایطی را به دقت بنویسید که باید به وسیله متغیرها و ترم‌های موجود ارضا شود.
۳. فرض کنید پایگاه دانش فقط حاوی یک جمله $\exists x AsHighAs(x, Everest)$ است. کدام یک از موارد زیر نتایج مجاز برای اعمال نمونه‌سازی وجودی است؟

الف. $AsHighAs(Everest, Everest)$

ب. $AsHighAs(Kilimanjaro, Everest)$

پ. $AsHighAs(Kilimanjaro, Everest) \wedge AsHighAs(BenNevis, Everest)$ (بعد از دو کاربر)

۴. برای هر جفت از جملات اتمی، کلی‌ترین یکسان‌ساز را در صورت وجود ارائه کنید:

الف. $P(A, B, B), P(x, y, z)$

ب. $Q(y, G(A, B)), Q(G(x, x), y)$

پ. $Older(Father(y), y), Older(Father(x), John)$

ت. $Knows(Father(y), y), Knows(x, x)$

۵. برای هر جفت از جملات اتمی زیر، کلی‌ترین یکسان‌ساز را در صورت وجود ارائه دهید:

۱. $P(A, B, B), P(x, y, z)$.

۲. $Q(y, G(A, B)), Q(G(x, x), y)$.

۳. $Older(Father(y), y), Older(Father(x), John)$.

۴. $Knows(Father(y), y), Knows(x, x)$.

۶. [subsumption-lattice-exercise]: شبکه‌های شمول شکل ۹-۲ را در نظر بگیرید.

الف. شبکه را برای جمله‌ی $Employs(Mother(John), Father(Richard))$ بسازید.

ب. شبکه را برای جمله‌ی $Employs(IBM, y)$ بسازید ("هر کسی برای IBM کار می‌کند"). به

یاد داشته باشید که هر نوع پرس‌وجویی را که با این جمله یکسان‌سازی می‌شود، در نظر بگیرید.

پ. فرض کنید STORE، هر جمله را زیر هر گره موجود در شبکه شمول، شاخص‌گذاری

می‌کند. توضیح دهید وقتی این جملات حاوی متغیرها باشند، FETCH چگونه عمل می‌کند. از

جملات بخش (الف) و (ب) و پرس‌وجوی $Employs(x, Father(x))$ به عنوان مثال استفاده کنید.

۷. [fol-horses-exercise]: برای جملات زیر، نمایش‌های منطقی بنویسید، به‌طوری‌که با GMP قابل استفاده باشد:

الف. اسب‌ها، گاوها و خوک‌ها پستاندار هستند.

ب. گُرّه‌ی یک اسب، اسب است.

پ. Bluebeard اسب است.

ت. ریش آبی والد چارلی است.

ث. گُرّه و والد بودن، روابط معکوس یکدیگر هستند.

ج. هر پستاندار دارای والد است.

۸. این پرسش‌ها به موضوعات مربوط به جایگزینی و اسکولم‌سازی مربوط می‌شود.

الف. با توجه به مقدم $\forall x \exists y P(x, y)$ ، این مقدم برای نتیجه‌گیری $\exists q P(q, q)$ معتبر نیست. مثالی از محمول P را ارائه دهید که اولی درست ولی دومی نادرست باشد.

ب. فرض کنید یک موتور استنتاج با حذف بررسی وقوع و به‌طور نادرست نوشته شده است، به‌طوری‌که اجازه می‌دهد لیتالی مثل $P(x, F(x))$ با $P(q, q)$ یکسان‌سازی شود. (همانطور که اشاره شد، اغلب پیاده‌سازی‌های استاندارد پرولوگ، این کار را اجازه نمی‌دهند.) نشان دهید که این نوع موتور استنتاج اجازه می‌دهد نتیجه‌ی $\exists y P(q, q)$ ، از مقدم $\forall x \exists y P(x, y)$ استنتاج شود.

پ. فرض کنید رویه‌ای که منطق مرتبه‌ی اول را به شکل بند تبدیل می‌کند، $\forall x \exists y P(x, y)$ را به $P(x, SK0)$ اسکولم می‌کند، (یعنی، y را با ثابت اسکولم جایگزین می‌کند نه با تابع اسکولم از x). نشان دهید که موتور استنتاجی که از چنین رویه‌ای استفاده می‌کند، به‌طور مشابه اجازه می‌دهد $\exists q P(q, q)$ از مقدم $\forall x \exists y P(x, y)$ استنتاج شود.

ت. یک خطای متداول بین دانشجویان این است که در یکسان‌سازی فرض می‌کنند که فرد اجازه دارد یک ترم را با ثابت اسکولم جایگزین کند نه با یک متغیر. برای مثال، آن‌ها خواهند گفت که فرمول‌های $P(SK1)$ و $P(A)$ می‌توانند تحت جایگزینی $\{SK1/A\}$ یکسان‌سازی شوند. مثالی ارائه دهید که این روش منجر به استنتاج نامعتبری می‌شود.

۹. این تمرین "Horn KB" هایی مثل موارد زیر را در نظر می‌گیرد:

$$P(F(x)) \Rightarrow P(x)$$

$$Q(x) \Rightarrow P(F(x))$$

$$P(A)$$

$$Q(B)$$

فرض کنید FC الگوریتم زنجیره‌ی پسرو عرضی باشد که به طور مکرر تمام نتایج قوانین ارضا شده‌ی فعلی را جمع می‌کند، BC الگوریتم زنجیره عقبگرد چپ به راست، عمقی باشد که بندها (کلازها) را به ترتیب در KB امتحان می‌کند. کدام یک از موارد زیر درست است؟

الف. FC لیترال $Q(A)$ را استنتاج می کند.

ب. FC لیترال $P(B)$ را استنتاج می کند.

پ. اگر FC نتواند یک لیترال مفروض را استنتاج کند، آن گاه توسط KB دنبال نمی شود.

ت. BC با توجه به پرس وجوی $P(B)$ ، مقدار true را برمی گرداند.

ث. اگر BC برای یک پرس وجوی لیترال، مقدار true را برنگرداند، توسط KB دنبال نمی شود.

۱۰. [csp-clause-exercise]: توضیح دهید که چگونه می توان یک مسأله ی 3-SAT با اندازه ی دلخواه

را با استفاده از یک بند معین مرتبه ی اول و نه بیش از ۳۰ حقیقت پایه، نوشت.

۱۱. فرض کنید اصول موضوعی زیر داده شده است:

1. $0 \leq 3$.

2. $7 \leq 9$.

3. $\forall x x \leq x$.

4. $\forall x x \leq x + 0$.

5. $\forall x x + 0 \leq x$.

6. $\forall x, y x + y \leq y + x$.

7. $\forall w, x, y, z w \leq y \wedge x \leq z \Rightarrow w + x \leq y + z$.

8. $\forall x, y, z x \leq y \wedge y \leq z \Rightarrow x \leq z$

الف. یک اثبات زنجیره ی عقبگرد برای جمله ی $7 \leq 3 + 9$ ارائه دهید (البته دقت کنید که فقط از

این اصول موضوعی استفاده کنید، نه چیز دیگری که احتمالاً درباره ی حساب می دانید). فقط

مراحل دستیابی به موفقیت را نشان دهید و بقیه ی مراحل نامرتبط را نشان ندهید.

ب. یک اثبات زنجیره ی پیشرو برای جمله ی $7 \leq 3 + 9$ ارائه دهید. فقط مراحل دستیابی به

موفقیت را نشان دهید.

۱۲. فرض کنید اصول موضوعی زیر به شما داده شده است:

1. $0 \leq 4$.

2. $5 \leq 9$.

3. $\forall x x \leq x$.

4. $\forall x x \leq x + 0$.

5. $\forall x x + 0 \leq x$.

6. $\forall x, y x + y \leq y + x$.

7. $\forall w, x, y, z w \leq y \wedge x \leq z \Rightarrow w + x \leq y + z$.

8. $\forall x, y, z x \leq y \wedge y \leq z \Rightarrow x \leq z$

الف. یک اثبات زنجیره ی عقبگرد برای جمله $5 \leq 4 + 9$ ارائه دهید (البته اطمینان حاصل کنید که

فقط از اصول موضوعی داده شده در اینجا استفاده شد، نه چیزهایی که از ریاضیات به خاطر

دارید). فقط مراحل را نشان دهید که منجر به موفقیت می شوند و مراحل نامرتبط را نشان ندهید.

ب. یک اثبات زنجیره‌ی پیشرو برای جمله $5 \leq 4 + 9$ ارائه دهید. فقط مراحل را نشان دهید که منجر به موفقیت می‌شوند.

۱۳. معمای معروف فرزندان به این صورت است "برادر و خواهری ندارم، اما پدر آن مرد، پسر پدر من است." با استفاده از قوانین دامنه‌ی خانواده (فصل ۸)، مشخص کنید آن مرد کیست. ممکن است هر یک از روش‌های مطرح شده در این فصل را به کار گیرید. چرا این معما دشوار است؟

۱۴. فرض کنید بخشی از سرشماری داده‌ها در مورد سن، شهر اقامت، تاریخ تولد و مادر هر فرد را با استفاده از شماره امنیتی به‌عنوان شاخص هر فرد، در پایگاه داده ذخیره کردیم. لذا، سن جُرج با $Age(443-65-1282,56)$ مشخص می‌شود. کدام یک از طرح‌های S1-S5 که در ادامه می‌آید، جواب مؤثری را برای پرس‌وجوهای Q1-Q4 ارائه می‌دهد (از زنجیره‌ی عقبگرد معمولی استفاده کنید):

- < S1 : شاخصی برای هر اتم در هر موقعیت.
- < S2 : شاخصی برای اولین آرگومان.
- < S3 : شاخصی برای هر اتم محمول.
- < S4 : شاخصی برای هر ترکیب محمول و اولین آرگومان.
- < S5 : شاخصی برای هر ترکیبی از محمول و آرگومان دوم، و شاخصی برای هر آرگومان اول (غیر استاندارد).

- > Q1: $Age(443-44-4321,x)$
- > Q2: $ResidesIn(x, Houston)$
- > Q3: $Mother(x,y)$
- > Q4: $Age(x,34) \wedge ResidesIn(x, TinyTownUSA)$

۱۵. [standardize-failure-exercise] : ممکن است فکر کنید که با استانداردسازی تمام جملات در پایگاه دانش، در اثنای زنجیره‌ی عقبگرد می‌توان از مسأله تضاد (برخورد) متغیرها در یکسان‌سازی اجتناب کرد. نشان دهید، برای بعضی از جملات، این روش کار نمی‌کند. (راهنمایی: جمله‌ای را در نظر بگیرید که بخشی از آن با بخش دیگر یکسان‌سازی می‌شود).

۱۶. در این تمرین، از جملات تمرین ۶ برای پاسخ به پرسش‌ها از طریق الگوریتم زنجیره‌ی عقبگرد استفاده می‌کنیم.

الف. درخت اثبات تولید شده توسط الگوریتم زنجیره‌ی عقبگرد جامع را برای پرس‌وجوی $\exists h \text{ Horse}(h)$ رسم کنید که در آن، بندها به ترتیب مشخص شده تطبیق می‌شوند:

ب. نظرتان در مورد این دامنه چیست؟

پ. چند جواب برای h دقیقاً از جملات شما به دست می‌آیند؟

ت. آیا می‌توانید راهی برای یافتن تمام آن‌ها فکر کنید؟

۱۷. [bc-trace-exercise]: اجرای الگوریتم زنجیره‌ی عقبگرد شکل ۹-۶ را وقتی برای مسأله‌ی مجرم به کار می‌رود، ردیابی کنید. دنباله‌ی مقادیری را نشان دهید که متغیرهای اهداف آن‌ها را می‌پذیرند و آن‌ها را در درخت منظم کنید.

۱۸. کد پرولوگ زیر، محمول P را تعریف می‌کند. (ترم‌هایی با حروف بزرگ، متغیرها هستند نه ثوابت.)

$P(X, [X|Y]).$
 $P(X, [Y|Z]) :- P(X, Z).$

الف. درخت‌های اثبات و جواب‌ها را برای پرس‌وجوهای $P(A, [2, 1, 3])$ و $P(2, [1, A, 3])$ نشان دهید.

ب. P چه عمل استاندارد لیست را نشان می‌دهد.

۱۹. کد پرولوگ زیر، محمول P را تعریف می‌کند. (به یاد داشته باشید که عبارات حروف بزرگ در پرولوگ متغیرها هستند نه ثابت.)

$P(X, [X|Y]).$
 $P(X, [Y|Z]) :- P(X, Z).$

الف. درخت‌های اثبات و جواب‌ها را برای پرس‌وجوهای $P(A, [1, 2, 3])$ و $P(2, [1, A, 3])$ نشان دهید.

ب. P چه عمل استاندارد لیست را نشان می‌دهد.

۲۰. در این تمرین، مرتب‌سازی را در پرولوگ در نظر می‌گیریم.

الف. یک عبارت در پرولوگ بنویسید که محمول $\text{Sorted}(L)$ را تعریف می‌کند که درست است اگر و فقط اگر لیست L به‌طور صعودی مرتب باشد.

ب. یک تعریف پرولوگ برای محمول $\text{perm}(L, M)$ بنویسید که درست است اگر و فقط اگر L جایگشت M باشد.

پ. $\text{Sort}(L, M)$ را با استفاده از perm و sorted تعریف کنید.

ت. sort را روی لیست‌های بلندتر و بلندتر اجرا کنید تا صبر شما تمام شود. پیچیدگی زمانی مسأله کدام است؟

ث. یک الگوریتم مرتب‌سازی سریع‌تر مثل درج یا مرتب‌سازی سریع در پرولوگ بنویسید.

۲۱. [diff-simplify-exercise]: در این تمرین، کاربرد بازگشتی قوانین بازنویسی را با استفاده از

برنامه‌نویسی منطقی در نظر می‌گیریم. قانون بازنویسی (یا مدولاسیون در اصطلاح OTTER) معادله‌ای با جهت خاص است. به‌عنوان مثال، قانون بازنویسی $x \rightarrow x + 0$ می‌گوید هر عبارتی که با $x + 0$ تطبیق می‌کند، با x جایگزین شود. کاربرد قوانین بازنویسی بخش اصلی سیستم‌های استدلال معادله‌ای است. با استفاده از محمول $\text{rewrite}(X, Y)$ ، قوانین را بازنویسی می‌کنیم. به‌عنوان مثال، قانون بازنویسی قبلی به صورت $\text{rewrite}(X + 0, X)$ نوشته می‌شود. بعضی از

ترم‌ها، ترم‌های اولیه هستند و نمی‌توانند بیشتر ساده شوند. لذا، با نوشتن (0) primitive می‌گوییم که 0 یک ترم اولیه است.

الف. تعریفی از محمول $simplify(X, Y)$ بنویسید که وقتی درست است که Y نسخه ساده شده‌ی X باشد، یعنی، وقتی که نتوان قوانین بازنویسی بیشتری را بر روی عبارات فرعی Y اعمال کرد.

ب. کلکسیونی از قوانین برای ساده‌سازی عبارات شامل عملگرهای حسابی بنویسید و الگوریتم ساده‌سازی خود را بر چند عبارت محاسباتی اعمال کنید.

پ. کلکسیونی از قوانین بازنویسی برای تمایز نمادها بنویسید و در قوانین ساده‌سازی خود به کار ببرید تا عبارات موجود در عبارات حسابی (از جمله توان) را متمایز و ساده کنید.

۲۲. در این تمرین، به پیاده‌سازی الگوریتم‌های جست‌وجو در پرولوگ می‌پردازیم. فرض کنید $successor(X, Y)$ وقتی درست است که Y جانشین حالت X باشد و $goal(X)$ وقتی درست است که X حالت هدف باشد. تعریفی برای $solve(X, P)$ بنویسید که معنایش این است P مسیری (لیستی از حالت‌ها) است که با X شروع می‌شود، به حالت هدف خاتمه می‌یابد و حاوی دنباله‌ای از مراحل قانونی است که توسط $successor$ تعریف شده است. جستجوی عمقی آسان‌ترین راه برای این کار است. اعمال کنترل جستجوی اکتشافی چقدر آسان خواهد بود؟

۲۳. فرض کنید یک پایگاه دانش فقط شامل بندهای هورن مرتبه‌ی اول است که در زیر آمده‌اند:

$$Ancestor(Mother(x), x)$$

$$Ancestor(x, y) \wedge Ancestor(y, z) \Rightarrow Ancestor(x, z)$$

یک الگوریتم زنجیره‌ی پیشرو را در نظر بگیرید که اگر KB شامل جمله‌ای باشد که با پرس‌وجو یکسان‌سازی شود، در تکرار j ام خاتمه می‌یابد، وگرنه آن جملات اتمی را به KB اضافه کنید که می‌تواند پس از تکرار $j-1$ ، از جملات موجود در KB استنتاج شود.

الف. برای هر یک از پرس‌وجوهای زیر، بررسی کنید که آیا الگوریتم (۱) پاسخی ارائه می‌کند (اگر ارائه می‌دهد، پاسخ را بنویسید)؛ یا (۲) بدون هیچ پاسخی خاتمه می‌یابد؛ (۳) هرگز خاتمه نمی‌یابد؛

$$Ancestor(Mother(y), John)$$

$$Ancestor(Mother(Mother(y)), John)$$

$$Ancestor(Mother(Mother(Mother(y))), Mother(y))$$

$$Ancestor(Mother(John), Mother(Mother(John)))$$

ب. آیا الگوریتم تحلیل می‌تواند جمله‌ی $\neg Ancestor(John, John)$ را از پایگاه دانش اصلی اثبات کند؟ توضیح دهید چگونه، یا چرا خیر.

پ. فرض کنید ادعایی را اضافه کردیم که $(Mother(x) = x) \rightarrow$ و الگوریتم تحلیل را با قوانین استنتاج برای "تساوی" ارتقا دادیم. اکنون پاسخ قسمت (ب) چه خواهد بود؟

۲۴. فرض کنید f یک زبان مرتبه اول با یک محمول $S(p, q)$ است که به معنای این است که "فرد p فرد q را آرایش می کند". دامنه‌ی افراد را در نظر بگیرید.

الف. این جمله را در نظر بگیرید: "فردی به نام P وجود دارد که فقط هر کسی را که خودشان را آرایش نمی کنند، آرایش می کند". این جمله را در f بیان کنید.

ب. جمله‌ی موجود در قسمت (الف) را به شکل یک بند بیان کنید.

پ. یک اثبات تحلیل ارائه دهید که نشان دهد بندهای قسمت (ب) ذاتاً ناسازگار است. (توجه: نیاز به بیان اصول موضوعی دیگر نیست).

۲۵. تحلیل چگونه می تواند نشان دهد که جمله‌ای معتبر است؟ ارضاناپذیر است؟

۲۶. مثالی از دو بند ارائه دهید که می توانند به دو روش مختلف با هم حل شوند و نتیجه‌ی مختلف ارائه دهند.

۲۷. از جمله‌ی "اسب‌ها حیوان هستند" نتیجه می گیریم که "رأس اسب، رأس یک حیوان است". توضیح دهید که این استنتاج با اجرای مراحل زیر معتبر است:

الف. مقدم و تالی را به زبان منطق مرتبه‌ی اول ترجمه کنید. از سه محمول استفاده کنید: $HeadOf(h, x)$ ("یعنی h رأس x است") $Hourse(x)$ و $Animal(x)$.

ب. یالی را نقیض کنید و مقدم و تالی نقیض را به شکل نرمال عطفی تبدیل کنید.

پ. با استفاده از جواب نشان دهید که تالی از مقدم پیروی می کند.

۲۸. از عبارت گوسفندها حیوانات هستند نتیجه می شود که سر گوسفند سر حیوانات است. با انجام مراحل زیر اثبات کنید که این نتیجه گیری معتبر است:

الف. مقدم و تالی را به زبان منطق مرتبه اوا ترجمه کنید. از سر محمول استفاده کنید: $HeadOf(h, x)$ و $Animal(x)$.

ب. تالی را نقیض کنید و مقدم را تبدیل کنید و نتیجه را به شکل نرمال عطفی نقض کنید.

پ. با استفاده از تحلیل نشان دهید که تالی از مقدم پیروی می کند.

۲۹. دو جمله‌ی زیر را در زبان منطق مرتبه‌ی اول در نظر بگیرید:

$$(A) \forall x \exists y (x \geq y)$$

$$(B) \exists y \forall x (x \geq y)$$

الف. فرض کنید متغیرها در بازه‌ی تمام اعداد طبیعی $0, 1, 2, \dots, \infty$ هستند و معنای محمول "≥" "بزرگ تر یا مساوی" است. براساس این تفسیر، A و B را به زبان فارسی ترجمه کنید.

ب. آیا (A) با این تفسیر درست است؟

پ. آیا (B) با این تفسیر درست است؟

ت. آیا (A) از نظر منطقی از (B) ایجاب می شود؟

ث. آیا (B) از نظر منطقی از (A) ایجاب می‌شود؟

ج. با استفاده از تحلیل، سعی کنید اثبات کنید که (A) از (B) پیروی می‌کند. حتی اگر فکر می‌کنید (B) از نظر منطقی از (A) ایجاب نمی‌شود، این کار را انجام دهید. ادامه دهید تا اثبات متوقف شود (امکان ادامه کار وجود نداشته باشد). برای هر مرحله از تحلیل، جایگزینی یکسان‌ساز را نشان دهید. اگر اثبات با شکست مواجه شود، مکان، علت و چگونگی شکست آن را شرح دهید.

چ. اکنون سعی کنید اثبات کنید که (B) از (A) پیروی می‌کند.

۳۰. تحلیل نمی‌تواند اثبات‌های غیرسازنده را برای پرس‌وجوهای حاوی متغیرها ایجاد کند، لذا باید راهکارهای خاصی برای استخراج پاسخ‌های معین معرفی کنیم. توضیح دهید چرا این موضوع در پایگاه‌های دانشی که فقط حاوی یک بند معین است، مطرح نمی‌شود.

۳۱. در این فصل گفتیم که تحلیل نمی‌تواند برای تولید تمام نتایج منطقی مجموعه‌ای از جملات به کار رود. آیا الگوریتمی وجود دارد که این کار را انجام دهد؟

تمرین‌های فصل ۱۰: برنامه‌ریزی کلاسیک

۱. روباتی طراحی کنید که عمل آن با عملگرهای PDDL زیر توصیف می‌شود:

$$\begin{aligned} &Op(Go(x,y), At(Robot,x), \neg At(Robot,x) \wedge At(Robot,y)) \\ &Op(Pick(o), At(Robot,x) \wedge At(o,x), \neg At(o,x) \wedge Holding(o)) \\ &Op(Drop(o), At(Robot,x) \wedge Holding(o), At(o,x) \wedge \neg Holding(o)) \end{aligned}$$

الف. اپراتورها به روبات اجازه می‌دهند بیش از یک شیء را نگه دارند. نشان دهید که چگونه می‌توان آن‌ها را با یک محمول *EmptyHand* برای روباتی تغییر داد که فقط یک شیء را نگه می‌دارد.

ب. با فرض این‌که این‌ها تنها اقدامات در این دنیا هستند، اصل موضوعی "حالت بعدی" را برای *EmptyHand* بنویسید.

۲. تفاوت‌ها و شباهت‌های بین حل مسأله و برنامه‌ریزی را شرح دهید.

۳. [strips-airport-exercise] : با توجه به شمای کنش و حالت شروع در شکل ۱۰-۱، تمام نمونه‌های قابل اجرای *Fly(p, from, to)* در حالتی که به صورت زیر توصیف می‌شود، کدامند؟

$$At(P1,JFK) \wedge At(P2,SFO) \wedge Plane(P1) \wedge Plane(P2) \wedge Airport(JFK) \wedge Airport(SFO)?$$

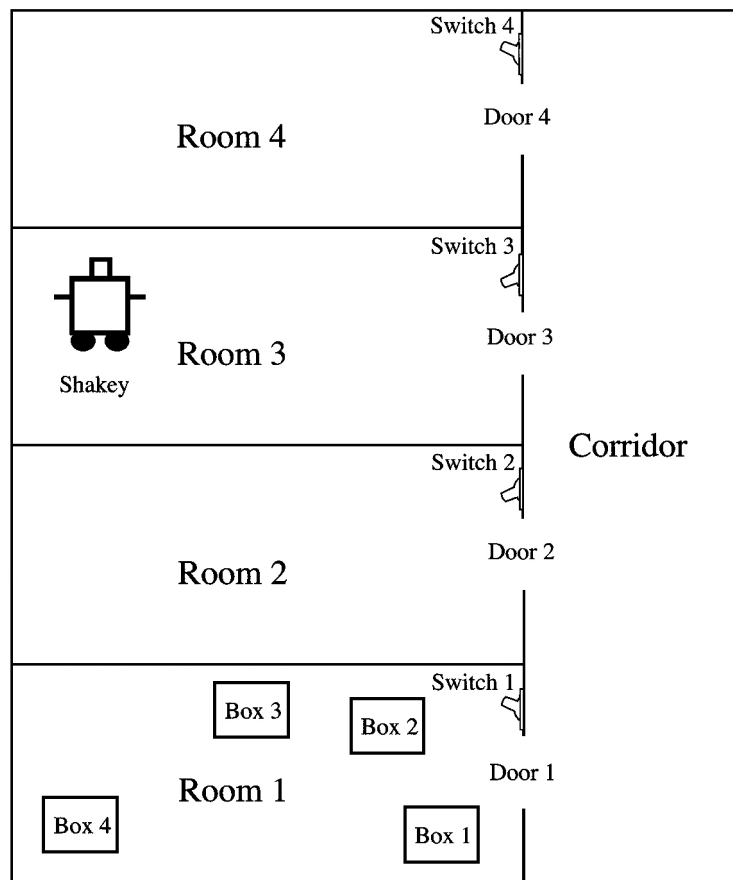
۴. مسأله‌ی میمون و موز این‌است که میمونی در آزمایشگاهی وجود دارد که به سقف آن چند موز آویزان است. جعبه‌ای در آزمایشگاه وجود دارد که اگر میمون روی آن قرار گیرد، می‌تواند به موز دستیابی داشته باشد. در ابتدا، میمون در *A* و موز در *B* و جعبه در *C* قرار دارد. قد میمون و جعبه کوتاه (*Low*) است، اما اگر میمون روی جعبه قرار گیرد قد آن بلند (*High*) خواهد بود و به موز می‌رسد. فعالیت‌های موجود برای میمون شامل رفتن (*Go*) از مکانی به مکان دیگر، قرار دادن (*Push*) شیء‌ای از مکانی به مکان دیگر، بالا رفتن (*ClimbUp*) یا پایین آمدن (*ClimbDown*) از یک شیء، به دست آوردن (*Grasp*) یا رها کردن (*Ungrasp*) شیء. اگر شیء و میمون در یک ارتفاع باشند، برداشتن شیء امکان‌پذیر است.

الف. حالت اولیه را توصیف کنید.

ب. شمایایی برای این شش کنش بنویسید.

پ. فرض کنید وقتی دانشمندان در حال چای خوردن هستند، میمون می‌خواهد آن‌ها را گول بزند، به‌طوری‌که موزها را بردارد و جعبه را به مکان اول برگرداند. این کار را در زبان حساب وضعیت به صورت یک هدف کلی بنویسید (یعنی فرض نکنید جعبه الزاماً در *C* است). آیا این هدف می‌تواند با یک سیستم برنامه‌ریزی کلاسیک حل شود؟

ت. شمایایی که برای *Push* می‌نویسید، احتمالاً نادرست خواهد بود، زیرا اگر شیء خیلی سنگین باشد، با اعمال *Push*، موقعیت آن تغییر نمی‌کند. شمای خود را طوری تغییر دهید که اشیای سنگین در نظر بگیرد.



دنیای Shakey. Shakey می‌تواند بین مکان‌های دیدنی داخل اتاق حرکت کند، می‌تواند از درب بین اتاق‌ها عبور کند، می‌تواند از اشیای بالارفتنی بالا برود و اشیای هل دادنی را هل دهد و کلید چراغ را روشن یا خاموش کند.

۵. برنامه‌ریز اصلی STRIPS برای کنترل روبات Shakey طراحی شد. شکل ۱۰-۱۴ نسخه‌ای از دنیای Shakey را نشان می‌دهد که شامل چهار اتاق و یک راهرو است و هر اتاق دارای یک درب و کلید لامپ است. کنش در دنیای Shakey شامل حرکت از مکانی به مکان دیگر، روی هم قرار دادن اشیا (مثل جعبه‌ها)، بالارفتن و پایین آمدن از اشیای سخت (مثل جعبه‌ها) و خاموش یا روشن کردن کلید است. روبات نمی‌توانست از جعبه بالا برود یا کلید را خاموش یا روشن کند، اما برنامه‌ریز STRIPS قادر به یافتن و چاپ برنامه‌ریزی‌هایی بود که خارج از توانایی‌های روبات بودند. شش کنش Shakey عبارتند از:

- ◀ $Go(x, y, r)$ که لازم است Shakey در x باشد و x و y مکان‌هایی در (In) یک اتاق r هستند. برای سهولت، درب بین دو اتاق، در هر دو وجود دارد.
- ◀ $Push(b, x, y, r)$ جعبه b را از مکان x به مکان y در همان اتاق می‌برد. به محمول Box و ثوابتی برای جعبه‌ها نیاز داریم.

۴. $ClimbUp(x, b)$ از موقعیت x به بالای جعبه می‌رود و $ClimbDown(b, x)$ از جعبه به مکان x پایین می‌آید. به محمول On و ثابت $Floor$ نیاز داریم.

۵. $TurnOn(s, b)$ کلید را روشن می‌کند و $TurnOff(s, b)$ کلید را خاموش می‌کند. برای خاموش یا روشن کردن لامپ، Shakey باید بالای جعبه و در مکان کلید لامپ باشد. برای شش عمل Shakey و حالت اولیه شکل ۱۰-۱۴ جملات PDDL بنویسید. یک برنامه‌ریزی برای Shakey بسازید که Box_2 را به $Room_2$ ببرد.

۶. موارد زیر را برای زبانی که در تمرین قبلی توسعه دادید، بیان کنید:

الف. در وضعیت S_0 ، پنجره‌ی W_1 پشت W_2 است ولی از بالا و پایین بیرون می‌زند. مختصات دقیق را برای این موارد بیان نکنید؛ فقط وضعیت کلی را توصیف کنید.

ب. اگر پنجره نمایش داده شود، آن‌گاه لبه‌ی بالایی آن بالاتر از لبه‌ی پایینی آن است.

پ. پس از تولید پنجره w ، نمایش داده می‌شود.

ت. پنجره فقط در صورتی می‌تواند کمینه شود که در حال نمایش باشد.

۷. ماشین متناهی تورینگ دارای سلول‌های متناهی از نوار یک‌بُعدی است که هر سلول شامل تعداد متناهی از نمادها است. هر سلول دارای یک هد خواندن و نوشتن در بالای خود است. یک مجموعه‌ی متناهی از حالت وجود دارد که ماشین می‌تواند در آن حالت‌ها باشد و یکی از آن‌ها حالت پذیرش است. در هر مرحله‌ی زمانی، بسته به نمادی که در سلول در مقابل هد قرار دارد و حالت ماشین، مجموعه‌ای از کنش‌ها وجود دارد که می‌توان آن‌ها را انتخاب کرد. هر کنش شامل نوشتن نماد در سلول زیر هد، تغییر ماشین به حالت جدید و حرکت هد به چپ یا راست است. نگاشتی که مشخص می‌کند کدام کنش‌ها مجازند، برنامه‌ی کامپیوتری ماشین تورینگ است. هدف این است که ماشین را به حالت هدف هدایت کنید. مسأله‌ی پذیرش در ماشین تورینگ را به صورت یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی نمایش دهید. اگر بتوانید این کار را انجام دهید، اثبات می‌شود که "تعیین این‌که آیا مسأله‌ی برنامه‌ریزی دارای جواب است یا خیر، حداقل به سختی مسأله‌ی پذیرش در تورینگ است"، که PSPACE-hard است.

۸. شکل ۱۰-۴ یک مسأله‌ی دنیای مکعب‌ها به نام **ناهنجاری ساسمان** را نشان می‌دهد. این مسأله به این دلیل ناهنجار نامیده شد که برنامه‌ریزان پیوسته در اوایل دهه ۱۹۷۰ نتوانستند آن را حل کنند. تعریفی از مسأله را بنویسید و آن را حل کنید (به روش دستی یا برنامه کامپیوتری برنامه‌ریزی کننده). برنامه‌ریز پیوسته، برنامه‌ریزی است که با استفاده از اهداف G_1 و G_2 ، یا یک برنامه‌ریزی برای G_1 تولید می‌کند که با برنامه‌ریزی مربوط به G_2 الحاق می‌شود، یا برعکس. توضیح دهید چرا برنامه‌ریز پیوسته، نمی‌تواند این مسأله را حل کند.

۹. ثابت کنید جستجوی عقبگرد با مسأله‌های PDDL، کامل است.

۱۰. سطوح ۰، ۱ و ۲ گراف برنامه‌ریزی مربوط به مسأله‌ی شکل ۱۰-۱ را بسازید.

۱۱. ادعاهای زیر را درباره گراف‌های برنامه‌ریزی اثبات کنید:

الف. لیترالی که در سطح نهایی گراف ظاهر نمی‌شود، قابل دسترس نیست.

ب. هزینه‌ی سطح یک لیترال در گراف پی‌درپی، بزرگ‌تر از هزینه‌ی واقعی یک برنامه‌ریزی بهینه برای دستیابی به آن نیست.

۱۲. دیدیم که گراف‌های برنامه‌ریزی فقط می‌توانند کنش‌های گزاره‌ای را اداره کنند. اگر بخواهیم از گراف‌های برنامه‌ریزی برای مسأله‌ای با متغیرها در هدف، مثل $At(P_1, x) \wedge At(P_2, x)$ استفاده کنیم که در آن x با یک سور وجودی مقید می‌شود که روی دامنه‌ی محدودی از مکان‌ها واقع است، چه اتفاقی می‌افتد؟ این مسأله را چگونه با گراف‌های برنامه‌ریزی نمایش می‌دهید.

۱۳. ابتکار سطح مجموعه، برای تخمین هزینه‌ی دستیابی به هدف عطفی از حالت کنشی، از گراف برنامه‌ریزی استفاده می‌کند. ابتکار سطح مجموعه، جواب کدام مسأله‌ی تعدیل شده است؟

۱۴. تعریف جست‌وجوی دوطرفه را در فصل ۳ در نظر بگیرید:

الف. آیا جست‌وجوی فضای حالت دوطرفه برای برنامه‌ریزی ایده خوبی است؟

ب. در مورد جست‌وجوی دودویی در فضای برنامه‌ریزی ترتیب جزیی چگونه است؟

پ. نسخه‌ای از برنامه‌ریزی ترتیب جزیی ارائه کنید که در آن، کنش وقتی می‌تواند به برنامه‌ریزی اضافه شود که پیش‌شرط آن توسط اثرات موجود در برنامه‌ریزی قابل حصول باشد. توضیح دهید که تناقض‌ها و محدودیت‌های مرتب‌سازی چگونه اداره می‌شوند؟ آیا این الگوریتم اساساً با جست‌وجوی فضای حالت پیشرو یکسان است؟

۱۵. این تمرین با مسأله‌ی برنامه‌ریزی یک مسیر برای روبات برای رفتن از شهری به شهر دیگر سروکار دارد. کنش اصلی روبات، $Go(x, y)$ است که آن را از شهر x به شهر y می‌برد. اگر مسیری بین آن دو شهر وجود داشته باشد، $Road(x, y)$ درست است. اگر و فقط اگر جاده‌ای در شهر x و y را به هم وصل کند؛ اگر جاده وجود داشته باشد، $distance(x, y)$ طول جاده را مشخص می‌کند. نقشه‌ی شکل رومانی را برای مثال ببینید. روبات از Arad شروع می‌کند و باید به Bucharest برسد.

الف. یک توصیف منطقی مناسب از وضعیت اولیه‌ی روبات بنویسید.

ب. یک پرس‌وجوی منطقی مناسب بنویسید که جواب‌های آن، مسیرهای ممکن به آن هدف را فراهم می‌کند.

پ. جمله‌ای برای توصیف کنش Go بنویسید.

ت. اکنون فرض کنید روبات سوخت را با نرخ 2% گالن در مایل مصرف می‌کند. روبات با 20 گالن سوخت شروع به کار می‌کند. نمایش خود را ارتقا دهید تا این شرایط را در برگیرد.

ث. اکنون فرض کنید برخی شهرها پمپ بنزین دارند که در آن‌ها روبات می‌تواند سوخت‌گیری کند. نمایش خود را بسط دهید و تمام قوانین مورد نیاز برای توصیف پمپ بنزین، از جمله کنش Fillup را بنویسید.

۱۶. تاکنون فرض کردیم برنامه‌ریزی‌هایی که ایجاد کردیم همیشه تضمین می‌کنند که پیش‌شرط‌های کنش ارضا می‌شوند. اکنون ببینیم که اصول گزاره‌ای "حالت پسین" مثل:

$$HaveArrow^{t+1} \Leftrightarrow (HaveArrow^t \wedge \neg Shoot^t)$$

راجع به کنش‌هایی که پیش‌شرط‌های آن‌ها ارضا نمی‌شوند، چه می‌گویند.

الف. نشان دهید که این اصول موضوعی پیش‌بینی می‌کنند که وقتی کنشی در حالتی اجرا می‌شود که پیش‌شرط‌های آن ارضا نمی‌شوند، چیزی اتفاق نمی‌افتد.

ب. برنامه‌ریزی p را در نظر بگیرید که شامل کنش‌های مورد نیاز برای رسیدن به یک هدف است ولی شامل کنش‌های نامعتبر نیز هست. آیا مورد زیر برقرار است؟

$$initial\ state \wedge successor - state\ axioms \wedge p \models goal?$$

پ. با "اصل حالت پسین" در حساب وضعیت، آیا می‌توان اثبات کرد که برنامه‌ریزی حاوی کنش نامعتبر، به هدف می‌رسد؟

۱۷. در نظر بگیرید که چگونه می‌توان مجموعه‌ای از شیماهای کنش را به "اصول حالت پسین" در حساب موقعیت تبدیل کرد:

الف. شیمای مربوط به $Fly(p, from, to)$ را در نظر بگیرید. یک تعریف منطقی برای محمول $Poss(Fly(p, from, to), s)$ بنویسید که در صورتی درست است که پیش‌شرط‌های مربوط به $Fly(p, from, to)$ در موقعیت s ارضا شوند.

ب. سپس با فرض این که $Fly(p, from, to)$ تنها شیمای کنش موجود برای عامل است، یک "اصل حالت پسین" برای $At(p, x, s)$ بنویسید که اطلاعاتی مشابه با شیمای کنش را دریافت می‌کند.

پ. فرض کنید روش دیگری برای سفر وجود دارد: $Teleport(p, from, to)$ این کنش دارای پیش‌شرط $\neg Warped(p)$ و اثر $Warped(p)$ است. توضیح دهید که پایگاه دانش "حساب موقعیت" چگونه باید اصلاح شود.

ت. سرانجام، یک رویه‌ی کلی و مشخصی را برای اجرای گذار از مجموعه‌ای از شیماهای کنش به مجموعه‌ای از "اصول حالت پسین" ارائه دهید.

۱۸. در الگوریتم SATPLAN در شکل ۷-۲۲، هر فراخوانی الگوریتم ارضاپذیری، هدف g^T را ادعا می‌کند که T از صفر تا T_{max} است. فرض کنید الگوریتم ارضاپذیری فقط یک بار فراخوانی می‌شود که هدف برابر با $g^0 \vee g^1 \vee \dots \vee g^{T_{max}}$ است.

الف. اگر هدفی با طول کمتر یا مساوی T_{max} وجود داشته باشد، آیا این الگوریتم آن را پیدا می‌کند؟ ب. آیا این روش "جواب‌های" کاذب را ارائه می‌کند؟

پ. بحث کنید که چگونه می‌توان الگوریتم ارضاپذیری مثل WALKSAT را اصلاح کرد، به طوری که با توجه به این نوع هدف فصلی، جواب‌های کوتاه را (در صورت وجود) بیابد.

تمرین‌های فصل ۱۱: برنامه‌ریزی و اجرا در دنیای واقعی

۱. اهدافی که تاکنون در نظر گرفتیم از برنامه‌ریزی می‌خواهند دنیایی بسازد که فقط در یک مرحله‌ی زمانی به هدف برسد. تمام اهداف نمی‌توانند به این روش بیان شوند: نمی‌توانید به هدف "آویزان کردن لوستر در بالای سقف با پرت کردن آن در هوا" نایل آیید. نمی‌توانید از سیستم تضمین حیات در فضاپیما بخواهید که یک روز تولید اکسیژن کند ولی روزهای بعد اکسیژنی تولید نکند. **اهداف نگهداری**^۱ وقتی حاصل می‌شود که برنامه‌ریزی عامل موجب شود شرطی به طور دائم از حالت خاصی به طرف جلو برآورده شود. توضیح دهید که چگونه می‌توان فرمول‌های این فصل را برای پشتیبانی از اهداف نگهداری بسط داد.
۲. تعدادی کامیون در اختیار دارید که مجموعه‌ای از بسته‌ها را با آن‌ها حمل می‌کنید. هر بسته در مکانی از یک نقشه‌ی شبکه‌ای شروع می‌شود، و مقصد آن در نقطه‌ای از نقشه است. هر کامیون مستقیماً با حرکت به طرف جلو و عقب، کنترل می‌شود. سلسله مراتبی از کنش‌های سطح بالا برای این مسأله بسازید. این سلسله مراتب چه دانشی را درباره‌ی جواب، کدگذاری می‌کند؟
۳. فرض کنید یک کنش سطح بالا دقیقاً یک پیاده‌سازی به عنوان دنباله‌ای از کنش‌های پایه^۲ دارد. با توجه به سلسله مراتب کامل پالایش و شیماها برای کنش‌های پایه، الگوریتمی برای محاسبه‌ی پیش‌شرط‌ها و آثار آن‌ها ارائه دهید.
۴. فرض کنید مجموعه‌ی قابل دسترس خوش‌بینانه از یک برنامه‌ریزی سطح بالا، فوق مجموعه‌ی مجموعه‌ی هدف است؛ آیا می‌توان نتایجی درباره‌ی رسیدن برنامه‌ریزی به هدف به دست آورد؟ اگر مجموعه‌ی قابل دسترس بدبینانه، مجموعه‌ی هدف را قطع نکند چگونه؟ شرح دهید.
۵. الگوریتمی بنویسید که یک حالت شروع (که با مجموعه‌ای از لیترال‌های گزاره‌ای مشخص شده است) و دنباله‌ی HLA ها را (که هر کدام با پیش‌شرط‌ها و مشخصات فرشته‌ای مجموعه‌های قابل دسترس خوش‌بینانه و بدبینانه تعریف شدند) می‌گیرد و توصیف‌های خوش‌بینانه و بدبینانه‌ی مجموعه‌ی قابل دسترس این دنباله را محاسبه می‌کند.
۶. در شکل ۱۱-۲ نشان دادیم که کنش‌ها را در مسأله‌ی زمان‌بندی چگونه می‌توان با استفاده از فیلدهای مجزایی برای DURATION، USE و CONSUME توصیف کرد. اکنون فرض کنید خواستیم زمان‌بندی را با برنامه‌ریزی غیرقطعی ترکیب کنیم که نیازمند آثار غیرقطعی و شرطی است. هر یک از سه فیلد را در نظر بگیرید و توضیح دهید که آیا آن‌ها باید فیلدهای جداگانه باقی بمانند یا باید به عنوان آثار کنش محسوب شوند. برای هر سه یک مثال ارائه دهید.
۷. بعضی از اعمال در زبان‌های برنامه‌سازی می‌توانند به صورت کنش‌هایی مدل‌سازی شوند که حالت دنیا را تغییر می‌دهند. برای مثال، عملیات انتساب، محتویات مکان حافظه را تغییر می‌دهد و عملیات چاپ، حالت استریم خروجی را تغییر می‌دهد. برنامه‌ی کامپیوتری حاوی این عملیات‌ها را

نیز می‌توان یک برنامه‌ریزی در نظر گرفت که هدف آن توسط مشخصات برنامه‌ی کامپیوتری مشخص می‌شود. بنابراین، الگوریتم‌های برنامه‌ریزی می‌توانند برای ساخت برنامه‌های کامپیوتری به کار روند که به مشخصات خاصی دستیابی دارند.

الف. یک شِمای کنش برای عملگر انتساب (انتساب مقدار یک متغیر به متغیر دیگر) بنویسید. به یاد داشته باشید که مقدار قبلی متغیر از بین می‌رود.

ب. توضیح دهید که برنامه‌ریز چگونه می‌تواند برای تولید برنامه‌ریزی‌ای برای تعویض مقادیر دو متغیر به کمک یک متغیر کمکی، از ایجاد اشیا استفاده کند.

۸. فرض کنید کنش Flip همیشه "مقدار درستی" متغیر L را تغییر می‌دهد. نشان دهید که چگونه می‌توان آثار آن را با استفاده از یک شِمای کنش همراه با آثار شرطی تعریف کرد. نشان دهید که علی‌رغم استفاده از آثار شرطی، نمایش حالت باور 1-CNF، پس از Flip در 1-CNF باقی می‌ماند.

۹. در دنیای مکعب‌ها مجبور بودیم دو شِمای کنش به نام‌های *Move* و *MoveToTable* را تعریف کنیم تا محمول *Clear* به طور مناسب نگهداری شود. نشان دهید که چگونه می‌توان با استفاده از آثار شرطی، تنها یک کنش را برای نمایش این دو حالت به کار برد.

۱۰. اثرات شرطی در دنیای جاروبرقی برای فعالیت *Suck* تشریح شدند که در آن، تمیز بودن مربع به مربعی بستگی دارد که روبات در آن واقع است. آیا می‌توانید مجموعه جدیدی از متغیرهای گزاره‌ای را برای تعریف حالت‌های دنیای جاروبرقی در نظر بگیرید، به‌طوری‌که *Suck* دارای توصیف غیرشرطی باشد؟ با استفاده از توصیف خود، توصیف‌هایی برای *Left*، *Suck*، و *Right* بنویسید و ثابت کنید که آن‌ها برای توصیف تمام حالت‌های ممکن آن دنیا، کافی هستند.

۱۱. یک فرش کاملاً کثیف و عاری از مانع را پیدا کرده آن را جارو کنید. مسیری را که جاروبرقی طی می‌کند به طور دقیق رسم کنید. با مراجعه به شکل‌های برنامه‌ریزی که در این فصل بحث شد، آن را شرح دهید.

۱۲. مسأله‌ی زیر را در نظر بگیرید: مریضی وارد دفتر پزشک می‌شود که نشانه‌ی بیماری آن می‌تواند ناشی از کم‌آبی بدن یا بیماری D (نه هر دو) باشد. دو فعالیت ممکن وجود دارد: *Drink* که کم‌آبی بدن را درمان می‌کند و *Medicate* که بیماری D را درمان می‌کند، اما اگر بیمار دچار کم‌آبی بدن شده باشد یک اثر جانبی دارد. توصیف مسأله را در PDDL بنویسید، و یک برنامه بدون حسگر ارائه دهید که مسأله را حل کند. برای این منظور، باید تمام دنیاها را ممکن مرتبط را شمارش کند.

۱۳. در مسأله پزشکی تمرین ۱۲، یک فعالیت *Test* اضافه کنید که وقتی *Disease* درست است دارای اثر شرطی *CulturGrowth* است و در بقیه موارد دارای اثر ادراکی *Know(CultureGrowth)* است. یک برنامه‌ریزی شرطی ارائه دهید که مسأله را حل کند و استفاده از فعالیت *Medicate* را به حداقل برساند.