

بسمه تعالی

هوش مصنوعی

مسائل ارضاء محدودیتها - ۱

نیمسال اول ۱۴۰۳-۱۴۰۲

دکتر مازیار پالهنک

آزمایشگاه هوش مصنوعی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

■ در یک م.ا.م. حالات بوسیله مقادیر مجموعه ای از متغیرها تعریف می شوند و آزمون هدف مجموعه ای از محدودیتهاست که متغیرها باید ارضا کنند.

■ مثال:

■ ۸ وزیر

■ متغیرها X_1, X_2, X_3, \dots که هر یک از دامنه ای D_1, D_2, D_3, \dots انتخاب می شوند و مجموعه ای از محدودیتها C_1, C_2, C_3, \dots را باید ارضا کنند.

■ مجموعه X : متغیرها

■ مجموعه D : دامنه ها

■ مجموعه C : محدودیتها

■ هر محدودیت C_i بصورت $\langle \text{scope}, \text{rel} \rangle$

- یک حالت مسئله بوسیله **انتساب** مقادیر به همه یا برخی از متغیرها تعریف می شود.
- یک انتساب که هیچ یک از محدودیتها را نمی شکند یک **انتساب سازگار** یا قانونی نامیده می شود.
- **انتساب کامل** وقتی که همه متغیرها مقدار گرفته اند.
- یک **حل** یک انتساب کامل و سازگار است.
- **انتساب جزئی** هنگامی فقط برخی از متغیرها مقدار گرفته اند.

مثال - رنگ آمیزی نقشه



متغیرها: $\{WA, NT, SA, QL, NSW, V, T\}$ ■

هوش مصنوعی

مازیار پالهنک

■ دامنه ها: {قرمز، سبز، آبی}

■ محدودیتها: هیچ دو ایالت مجاوری هم رنگ نباشند.

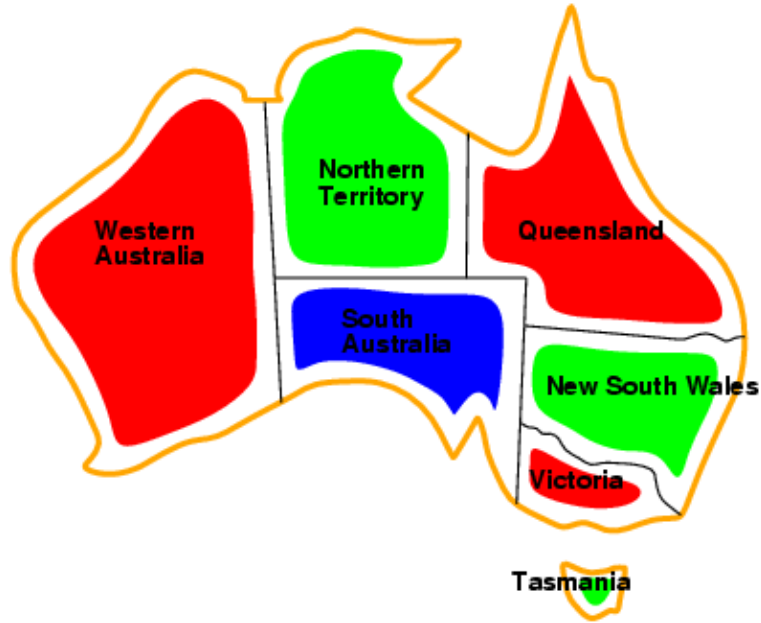
$$C = \{SA \neq WA, SA \neq NT, SA \neq Q, SA \neq NSW, SA \neq V, \\ WA \neq NT, NT \neq Q, Q \neq NSW, NSW \neq V\}.$$

■ مثلاً $WA \neq NT$ کوتاه شده $\langle (WA, NT), WA \neq NT \rangle$

■ یا

■ (WA, NT) در مجموعه $\{(قرمز، سبز)، (سبز، قرمز)،\}$

يک حل

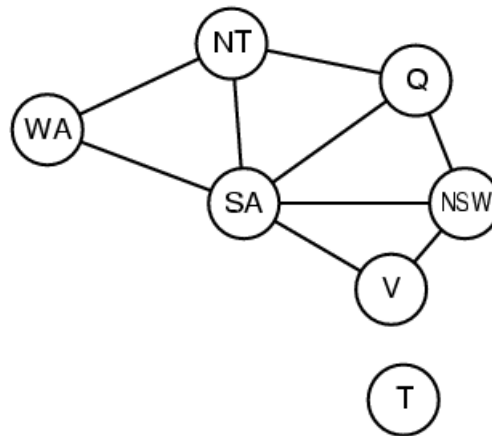


مازيار پالهنګ

هوش مصنوعي

■ می توان یک م.ا.م. را بوسیله یک گراف محدودیت به تصویر کشید.

■ رئوس: متغیرها، یالها: محدودیتها



- یک م.ا.م. را می توان بصورت یک مسئله جستجوی عمومی با تدوین افزایشی بیان نمود:
- حالت اولیه: انتساب تهی
- تابع تالی: انتساب مقداری به یک متغیر بی مقدار به شرطی که با متغیرهای مقدار گرفته برخورد نداشته باشد.
- آزمون هدف: انتساب فعلی کامل و سازگار باشد.
- هزینه مسیر: ثابت (مثلاً ۱) برای هر مرحله

- هر حل باید یک انتساب کامل باشد بنابر این در عمق n ظاهر خواهد شد اگر n متغیر وجود داشته باشد.
- چون عمق به n محدود است، بصورت امن می توان جستجوی عمق نخست را استفاده کرد.
- چون مسیر حل مهم نیست تدوین حالت کامل رامی توان استفاده کرد.
- هر حالت یک انتساب کامل که سازگار هست یا نیست.
- جستجوهای محلی برای این روش مناسب است.

تنوع متغیرها

■ متغیرها گسسته

- دامنه محدود (رنگ آمیزی نقشه - هشت وزیر)
 - اگر اندازه دامنه هر متغیر d ، تعداد انتسابهای کامل $O(d^n)$
 - حالت خاص: م.ا.م. بولی
- دامنه نامحدود (زمانبندی کارها)
 - مثلاً مجموعه اعداد صحیح
 - متغیرها زمان شروع/پایان هر کار
 - نمی توان همه ترکیبات مجاز را فهرست کرد. به یک زبان محدودیت نیاز است. بطور مثال: $StartJob_1 + 5 \leq StartJob_3$

■ متغیرها پیوسته

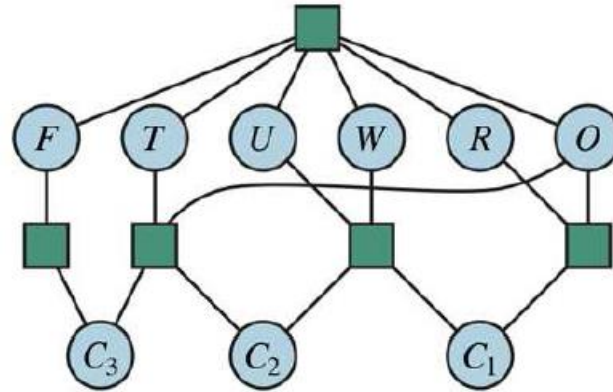
- زمانهای شروع/پایان رصد کردن توسط تلسکوپ هابل

تنوع محدودیتها

- **یکتائی** – مثلاً مردم یک استان از رنگ خاصی بدشان می آید:
 $NT \neq \text{green}$
- با یک پیش پردازش می توان این مقدار را از دامنه متغیر متناظر حذف نمود.
- **دوتائی** – بین دو متغیر $WA \neq NT$
- بیشتر – همانند معمای ریاضی
- محدودیتی شامل تعدادی دلخواه متغیر، **محدودیت جهانی** نامیده می شود.

مثال محدودیت چندتائی – معماری ریاضی

$$\begin{array}{r} T \quad W \quad O \\ + \quad T \quad W \quad O \\ \hline F \quad O \quad U \quad R \end{array}$$



■ متغیرها: $\{F, T, U, W, R, O, C_1, C_2, C_3\}$

■ دامنه ها: $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$

■ محدودیتها: $\text{Alldiff}(F, T, U, W, R, O)$

$$O + O = R + 10 \cdot C_1$$

$$C_1 + W + W = U + 10 \cdot C_2$$

$$C_2 + T + T = O + 10 \cdot C_3$$

$$C_3 = F,$$

- ابرگراف محدودیت برای محدودیتهای چندتائی (همانند شکل قبل)
- **محدودیت مطلق:** شکستن آن یک حل بالقوه را از بین می برد.
- **محدودیت ترجیحی:** بهتر است اینگونه باشد
- مثلاً در زمان بندی
- محدودیتهای ترجیحی را معمولاً می توان با افزودن هزینه به انتساب متغیرها حل نمود.

جستجوی عقبگرد

- فرض کنید از عرض نخست استفاده کنیم.
- ضریب انشعاب در عمق ۱ برابر nd است.
- ضریب انشعاب در عمق ۲ برابر $d(n-1)$ است.
- در انتها دارای $n!d^n$ برگ خواهیم بود در حالیکه کلاً d^n انتساب کامل داریم.
- انتساب متغیرها جابجائی است یعنی $\{WA=green, NT=red\}$ با $\{NT=red, WA=green\}$ یکسان است.
- بنابر این در هر مرحله فقط یک متغیر را مقدار می دهیم.
- حال d^n برگ خواهیم داشت.

- جستجوی عمق نخستی که هر بار فقط یک متغیر را مقدار می دهد، جستجوی عقبگرد نامیده می شود.
- جستجوی بنیادی م.ا.م. بصورت ناآگاهانه
- مسئله n وزیر تا $n=25$

جستجوی عقبگرد

function BACKTRACKING-SEARCH(*csp*) **returns** a solution or *failure*
 return BACKTRACK(*csp*, { })

function BACKTRACK(*csp*, *assignment*) **returns** a solution or *failure*
 if *assignment* is complete **then return** *assignment*
 var ← SELECT-UNASSIGNED-VARIABLE(*csp*, *assignment*)
 for each *value* **in** ORDER-DOMAIN-VALUES(*csp*, *var*, *assignment*) **do**
 if *value* is consistent with *assignment* **then**
 add {*var* = *value*} to *assignment*

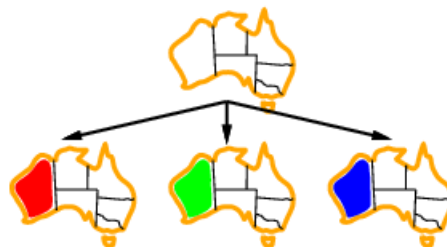
result ← BACKTRACK(*csp*, *assignment*)
 if *result* ≠ *failure* **then return** *result*

 remove {*var* = *value*} from *assignment*
 return failure

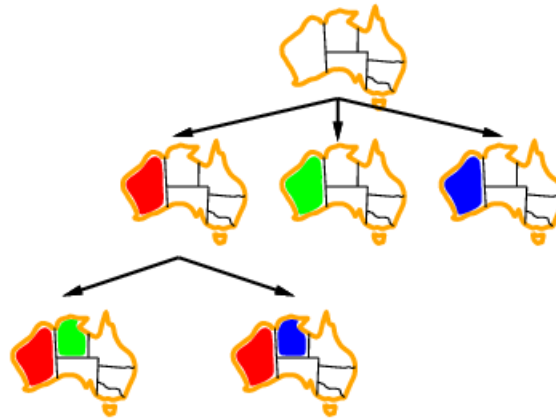
مثال جستجوی عقبگرد



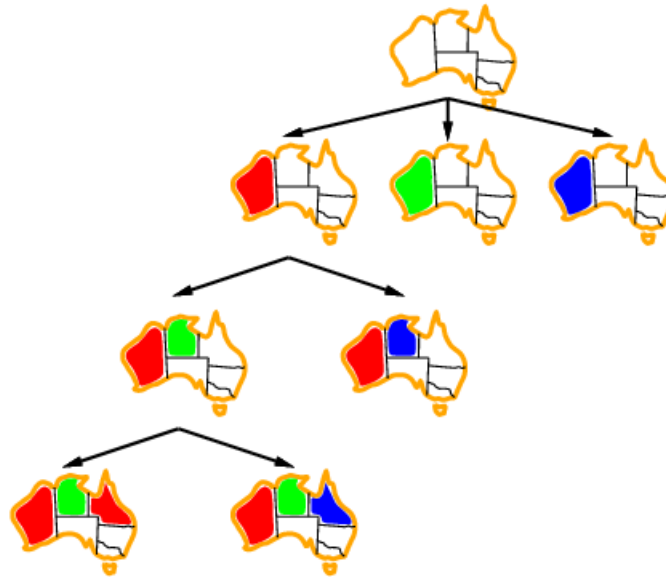
مثال جستجوی عقبگرد



مثال جستجوی عقبگرد



مثال جستجوی عقبگرد



بهبود کار آئی جستجوی عقبگرد

- چه تغییری باید بعداً انتساب داده شود؟
- به چه ترتیبی مقادیر آن باید آزموده شوند؟
- آیا می توانیم شکستهای اجتناب ناپذیر را زودتر متوجه شویم؟

متغیر محدود شده بیشینه most constrained variable

انتخاب کن که کمترین مقادیر قانونی را دارد.

انتساب SA قبل از Q

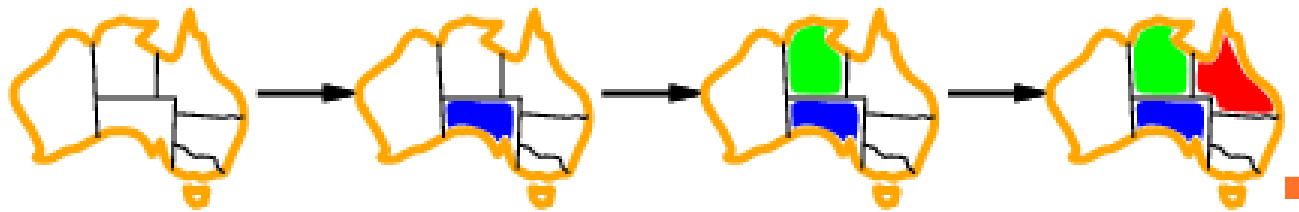


■ مکاشفه کمترین مقادیر باقیمانده (minimum remaining value): یک شکست اول

■ اگر تغییری هیچ مقادیر باقیمانده ای نداشته باشد زودتر انتخاب شده، و زودتر شکست می خوریم.

متغیر محدود کن بیشینه most constraining variable

- کدام متغیر **ابتدا** انتخاب شود؟
- متغیری را ابتدا انتخاب کن که کمترین مقدار را برای سایر متغیرها باقی می گذارد. (مکاشفه درجه)
- ضریب انشعاب را برای گزینه های آتی می کاهد



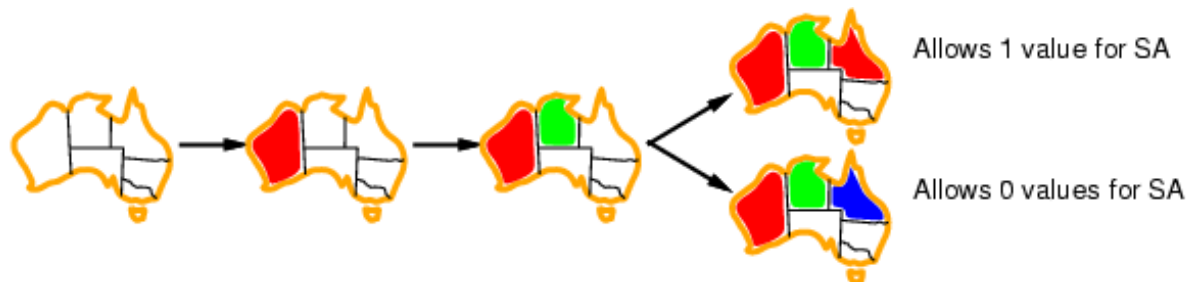
- قابل استفاده هنگامی که چند متغیر محدود شده بیشین قابل انتخاب هستند (و می خواهیم بین آنها انتخاب کنیم).

مقدار محدود کن کمینه

least constraining value

■ هنگامی که متغیر انتخاب شد، ترتیب انتخاب مقادیر متغیر مهم است.

■ متغیری که کمترین مقادیر را از متغیرهای باقیمانده حذف می کند.



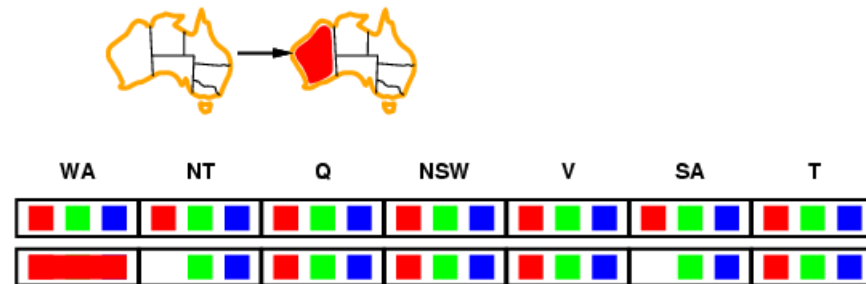
■ ترکیب مکاشفه های گفته شده ۱۰۰۰ وزیر را نیز امکان پذیر می سازد.

چک جلو

- دنبال کردن مقادیر متغیرهای باقیمانده انتساب نشده
- خاتمه جستجو هنگامی که تغییری هیچ مقدار قانونی نداشته باشد.



چک جلو

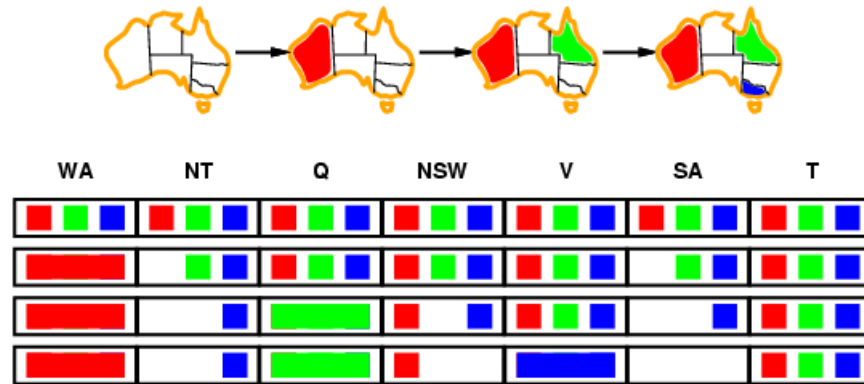


چک جلو



WA	NT	Q	NSW	V	SA	T

چک جلو



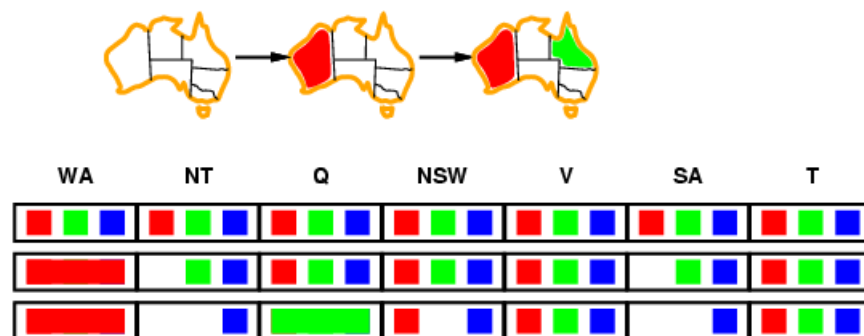
مازیار پالهنک

هوش مصنوعی

28

انتشار محدودیت

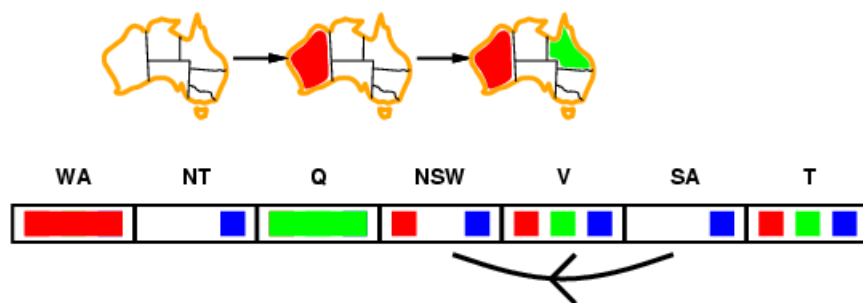
- چک جلو اطلاعات را از متغیرهای انتساب شده به نشده انتقال می دهد ولی اجازه تشخیص همه ناسازگاریهای زود هنگام را نمی دهد.



- NT و SA نمی توانند هر دو آبی باشند.

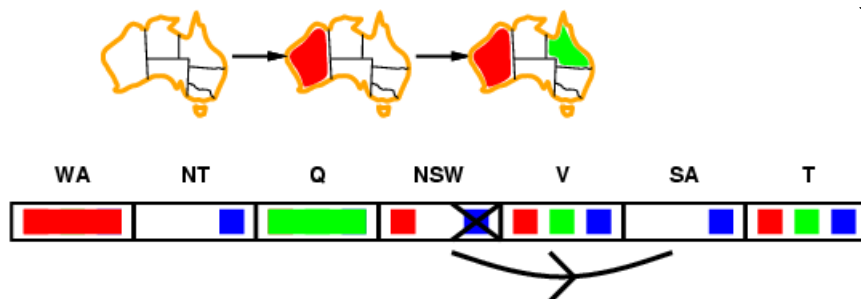
سازگاری کمان

- کمان منظور یالی است در گراف محدودیت
- کمان $X \rightarrow Y$ سازگار گفته می شود اگر برای هر مقدار X در دامنه X مقدار Y در دامنه Y وجود داشته باشد که با آن سازگار باشد.
- مثال کمان سازگار



سازگاری کمان

- کمان منظور یالی است در گراف محدودیت
- کمان $X \rightarrow Y$ سازگار گفته می شود اگر برای هر مقدار X در دامنه X مقدار Y در دامنه Y وجود داشته باشد که با آن سازگار باشد.
- مثال کمان ناسازگار





- دقت نمائید که پاورپوینت ابزاری جهت کمک به یک ارائه شفاهی می باشد و به هیچ وجه یک جزوه درسی نیست و شما را از خواندن مراجع درس بی نیاز نمی کند.
- لذا حتماً مراجع اصلی درس را مطالعه نمائید.
- در تهیه اسلایدها از سایت کتاب استفاده شده است.
- حضور فعال در کلاس دارای امتیاز است.