جَامعة
المَنارة
MANARA UNIVERSITY

كلية الهندسة
قسم الهندسة المعلوماتية

خوارزميات بحث ذكية

محاضرات الأسبوع الأول

Dr. Ghazwan Ali Raya

مقدمة إلى الذكاء الصنعي وخوارزميات البحث (صياغة المسألة)

1. الذكاء الصنعي
   - 1-1 الغاية من الذكاء الصنعي
   - 1-2 المسائل والألعاب
2. خوارزميات البحث
   - 2-1 معايير خوارزميات البحث
   - 2-2 كيفية صياغة المسألة
     - 2-2-1 الحالة البدائية
     - 2-2-2 طرق التغيير
     - 2-2-3 اختبار الهدف
     - 2-2-4 تابع تكلفة الطريق
     - 2-2-5 مسائل شهيرة
       - مسألة 1
       - مسألة أبراج هانوي
       - مسألة البائهع الجوال
       - مسألة رومانيا
       - مسألة المنظفة الكهربائية
       - مسألة المربعات المنزلقة

مقدمة إلى الذكاء الصنعي وخوارزميات البحث (صياغة المسألة)

1. الذكاء الصنعي:

يمكن تعريف الذكاء الصنعي على أنه مجال يستعمل عدة مناهج مختلفة cross-disciplinary يهتم بتطوير واستيعاب كيف تعمل النظم التي تفكر وتعمل بذكاء، يستعمل الذكاء الصنعي المناهج التالية: العلوم العصبية، رياضيات، نظرية المعلومات، ونظرية التحكم.

1-1 الغاية من الذكاء الصنعي:

1. تطوير أنظمة تفكر مثل البشر وتحاكي في عملها خصائص تحليل المعلومات الإدراكية عند البشر.

2. تطوير نظم تقوم بمهام معينة يقوم بها البشر ويتضمن هذا مجالات عدة مثل: اختبار تورينغ، تحليل اللغات الطبيعية، المحاكمة المؤتمتة، تمثيل المعرفة، الرؤية الحاسوبية، وعلوم الروبوتات.

3. تطوير نظم تفكر بعقلانية وتتبع قوانين المنطق والفكر المُنظَم كما في الاستنتاجات المنطقية والعلماء العقلانيين.

4. تطوير نظم تتصرف بعقلانية تقوم بتصرفات معينة مثل أن تحقق أفضل استخدام متوقع، أو أن تتصرف كما العملاء العقلانيين.

فيمكن القول أن الهدف الأساسي للذكاء الصنعي هو حل المسائل مثل البشر وتُستعمل تقنيات الذكاء الصنعي لأتمتة نظم تستعمل الموارد والجهد بكفء.

2-1 المسائل والألعاب:

نظراً لكون المسائل الشهيرة في الحياة اليومية هي ألعاب وألغاز، يهتم الذكاء الصنعي بها وباستعمال تقنياته يمكن حل هذه المسائل بطرق فعالة.

بعض الأمثلة على المسائل الشائعة: البائع الجوال، أبراج هانوي، مسألة إبريق الماء، مسألة الملكات، لعبة السودوكو، لعبة الشطرنج، مسائل التشفير الحسابية، المربعات السحرية، مسائل منطقية.....الخ

يمكن حل المسائل السابقة بعدة طرق منها خوارزميات البحث، التحسيب التطوري، تمثيل المعرفة....

وخطوات حل المشكلة باستخدام خوارزميات البحث هي: صياغة المشكلة، تحليل المشكلة، تحديد الحلول الممكنة، اختيار الحل الأفضلي، ثم التحقيق Implementation.

2. خوارزميات البحث:

يمكن تعريف خوارزميات البحث ببساطة على أنها طريقة لإيجاد المعلومات التي يحتاجها الفرد، وبشكل أدق خوارزميات البحث هي طريقة لحل المسائل عبر توليد فضاء لمجموعة احتمالات المسألة من موقع بدء معين بحثاً عن موقع هدف حيث هذا الهدف هو الحل، والطريقة التي نعبر بها الفضاء الاحتمالي مختبرين الاحتمالات تسمى خوارزمية البحث أو إستراتيجية البحث.

2-1 ومعايير خوارزمية البحث هي:

1. التمام أو مراعاة كل الحالات:

حيث أنه من أجل أي دخل يجب أن تعطي الخوارزمية حل صحيح.

مثال:

لنعتبر أننا نقوم بلعبة والهدف منها ذكر كلمات مشتقة من جذر مثلاً إن كان الجذر نتج يمكن أن نذكر: ناتج، نتيجة، إنتاج، استنتج.... الخ وعند ذكر اشتقاق خاطئ أو غير موجود يخسر الشخص اللعبة.

قد يطرح أحدهم إستراتيجية تعتمد على طبيعة اللغة العربية ونتائج إحصائية تقول "ضع است-قبل الجذر" وهي إستراتيجية جيدة فكم كبير من الاشتقاقات والتي تمثل الفضاء الاحتمالي يمكن تشكيلها بهذه الطريقة مثلاً: كتب-استكتب، حضر-استحضر، علم-استعلم،..... وبالرغم من أن هذه الإستراتيجية أو هذه الطريقة بعبور الفضاء الاحتمالي تعطي نتائج جيدة إلا أنها ليست تامة فليس هناك كلمات مثل نور-استنور أي أنها تعطي اشتقاقات غير سليمة وبالتالي بحكم أن الإستراتيجية لم تعطي حلاً صحيحاً من أجل الدخل نور فهي غير تامة.

بالمقارنة حل معادلة من الدرجة الثانية عبر المميز أو حتى عبر تجريب كل القيم الممكنة هي إستراتيجية تامة.

2. الأفضلية:

إن كان هنالك عدة حلول ممكنة وبينها حلول أفضل (مثلاً حلول أقل تكلفة أو بعدد خطوات أقل) فالخوارزمية تحقق الخاصية الأفضلية إن كانت تجد حل أفضلي **دائماً**.

مثال:

عند حل معادلة من الدرجة الثانية يمكن أن نقوم بتجريب جميع القيم الممكنة وبالرغم من أن هذا الحل في النهاية سيؤدي لنتيجة (يحقق خاصية التمام) إلا أنه قد يلزمنا أن نجرب 10 أو 100 أو في بعض الحالات ملايين الاحتمالات وإن كانت كلفة المسألة مقدرة بعدد الخطوات فبالرغم من كون الحل تام إلا أنه ليس أفضلي. بينما استخدام المميز يحل المعادلة بأقل عدد ممكن دائماً من الخطوات ويحقق خاصية الأفضلية.

3. التعقيد الزمني:

كما درسنا في مادة الخوارزميات فإنّ عدد العمليات التي تطلبها الخوارزمية عامل مهم في اختيار الخوارزمية فالخوارزميات التي تحل المسائل بعمليات أقل تعمل بشكل أسرع بالنسبة للخوارزميات التي تحتاج عمليات أكثر.

4. التعقيد الفضائي/المساحي:

عندما يتم تنفيذ خوارزمية يتم حجز المتحولات سواء كانت من معطيات المسألة أو نتائج عمليات وسيطة أو .... في ذاكرة الوصول العشوائي، فالمساحة التي تحجزها الخوارزمية من الذاكرة تعرف بالتعقيد الفضائي، بالرغم من أن أثر هذا التعقيد غير ملحوظ إلا أنه عند استمرار الحجز في الذاكرة قد تمتلئ الذاكرة ما يؤدي لتراجع ملحوظ في أداء البرنامج قد يكون كارثياً.

نرى هذا بشكل واضح في البرامج التي تتعامل مع المجسمات ثلاثية الأبعاد وفي برامج المحاكاة الهندسية أحياناً وبشكل خاص في الألعاب الالكترونية حيث يشكل عامل التعقيد الفضائي عاملاً مهماً قد يكون أهم من التعقيد الزمني أحياناً.

نستعمل هذه المعايير لمقارنة كفاءة الخوارزميات.

2-2 كيفية صياغة المسألة:

نعرف المسألة على أنها تتألف من أربع عناصر:

1. الحالة البدائية:

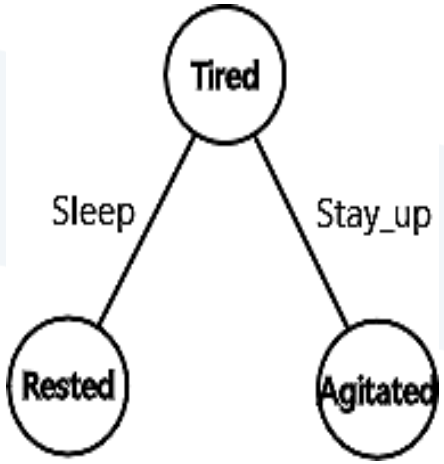
الحالة التي يبدأ بها العميل مثلاً في الشطرنج الحالة الابتدائية هي عندما تكون القطع مرتبة، في الطرنيب تكون الحالة الابتدائية مباشرةً بعد توزيع الأوراق، في لعبة X-O تكون عندما كل المربعات فارغة، وكما ذُكِر سابقاً الحالة هي عبارة عن عقدة وغالباً ما تكون جذر البيان.

2. طرق التغيير:

وهي عبارة عن تابع يرد الحالة الناتجة نتيجة القيام بفعل ينقل من الحالة القديمة للجديدة بالشكل:

$$State \rightarrow (Action, State)$$

حيث أن ال Action أو الفِعل هو الضلع في البيان الذي يسبب التغيير مثلاً:



في المثال جانباً إن كان الشخص يشعر بالنعاس ونام فسيكون يشعر أنه حصل على كم كاف من الراحة في اليوم التالي ونعبر عن هذا الانتقال بالشكل:

$$Tired \rightarrow (Sleep, Rested)$$

حيث كما نرى أننا انتقلنا من الحالة Tired إلى الحالة Rested عبر الفعل Sleep.

هناك انتقال آخر هو في حال قرر الشخص السهر سيشعر بالقلق في اليوم التالي ونعبر عن هذا الانتقال بالشكل:

$$Tired \rightarrow (Stay_up, Agitated)$$

نسمي فِعل الحالة والذي ينقلنا عن طريق عبور ضلع واحدة لحالة أخرى بالتابع اللاحق Successor function، فكما نرى أن الطريق في فضاء الحالة هو عبارة عن تتالٍ للحالات التي تحددها مجموعة من الأفعال.

3. اختبار الهدف:

هو الآلية التي نحدد بها إن كانت الحالة هي حالة الهدف، أحياناً تكون مجموعة ذات تعريف واضح Explicit set فيقوم تابع اختبار الهدف فقط باختبار إن كانت الحالة هي أحد عناصر المجموعة ذات التعريف الواضح، ولكن يمكن أن يكون أحياناً خاصية مبهمة أو مجردة Abstract فمثلاً الهدف في الشطرنج هو "كش ملك" والتي تعني محاصرة الملك ليصبح عاجزاً عن التحرك وهناك عدد حالات مختلفة تمثل هذا الهدف.

4. تابع تكلفة الطريق:

يقوم هذا التابع بإعطاء قيمة رقمية لكل طريق، ويختار العميل الذي يحل المشكلة تابعاً يناسب معايير أدائه، فمثلاً في الشطرنج قد تكون الكلفة عدد الحركات اللازمة لكش الملك، ونعبر عن كلفة مسار أنها مجموع الكلف المكونة لعناصر المسار.

نعبر عن الكلف للانتقال من حالة S إلى حالة S' عبر فعل ما a بالشكل:

$$c(s, a, s')$$

مثلاً:

$$c(Tired, Sleep, Rested) = 8$$

حيث يمكن أن نعتبر أن كلفة النوم لشخص ما حتى يستريح هي عبارة عن إضاعة 8 ساعات.

ملاحظة:

التكاليف هي مقادير موجبة.

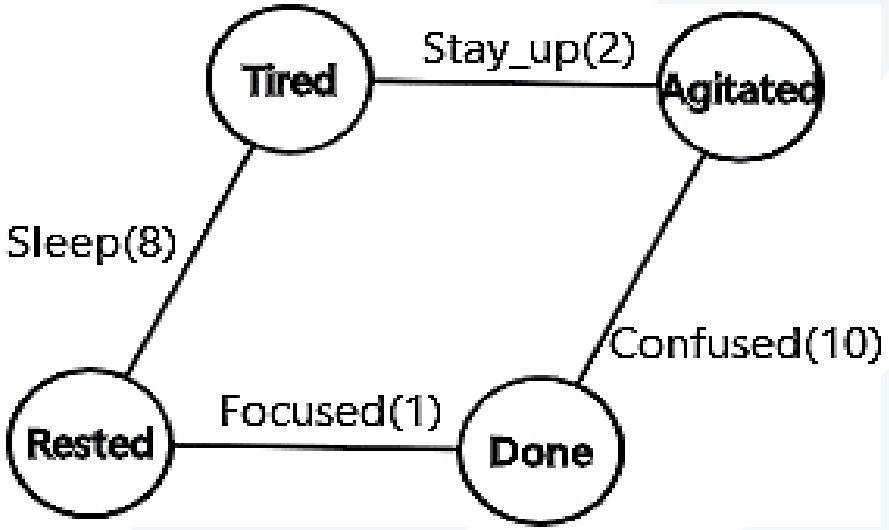
ومنه يمكننا تعريف **الحل** أنه: تتالٍ من الأفعال التي تؤدي من الحالة البدائية للحالة النهائية والتي تُقاس جودتها عبر تابع تكلفة الطرق، ونعرف الحال المثالي على أنه حل لديه أقل تكلفة مقارنة بباقي الحلول.

في الفقرات التالية ستُعطى عدة أمثلة وتبدأ بمثال خارجي بسيط لفهم كيفية صياغة المسألة.

مسألة 1:

لتكن لدينا المسألة التالية الممثلة بالبيان حيث يريد شخص إنجاز مهمة في الليل وهو يشعر بالنعاس، يستطيع هذا الشخص أن ينام لليوم التالي ويستيقظ وهو يشعر أنه حصل على نوم كاف أو أن يواصل العمل بكفاءة أقل، الهدف هو إنجاز المهمة بأقل وقت ممكن، **المطلوب:**

صياغة المسألة وهل تتالي الحالات الآتي Tired Agitated Done يمكن اعتباره حلاً أفضلي؟ علل إجابتك؟ وإن لم يكن فاذكر الحل الأفضلي.



بداية سنقوم بوصف المسألة وبشكل واضح من الفرض

بدأ هذا الشخص الليل وهو يشعر بالنعاس فالحالة الابتدائية هي Initial state = Tired

ثاني خطوة سنذكر الانتقالات الممكنة:

$$Tired \rightarrow (Sleep, Rested)$$
$$Tired \rightarrow (Stay_up\ , Agitated)$$
$$Rested \rightarrow (Focused, Done)$$
$$Agitated \rightarrow (Confused, Done)$$

ثم نقوم بذكر المجموعة التي نختبر بها الهدف وتتألف في هذا المثال من عنصر وحيد Goal = Done

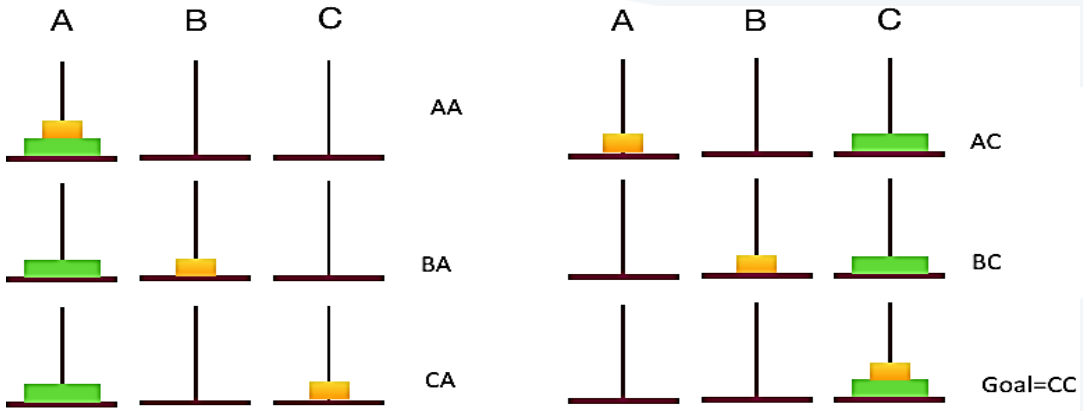
في النهاية نكتب تابع تكلفة الطريق:

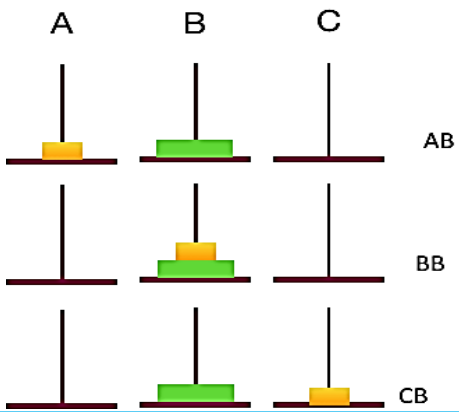
$$c(Tired, Stay_up, Agitated) = 2$$
$$c(Tired, Sleep, Rested) = 8$$
$$c(Rested, Focused, Done) = 1$$
$$c(Agitated, Confused, Done) = 10$$

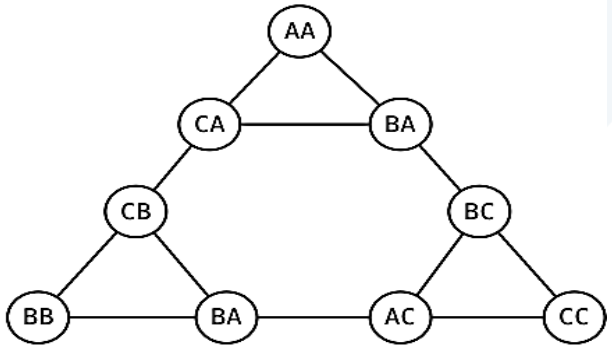
لدينا بشكل واضح حلين نتحقق من كلفة Tired Agitated Done ونلاحظ أن كلفتها 10 = 2 + 10 وبالمقارنة مع الحل Tired Rested Done نلاحظ أن التكلفة 9 = 1 + 8 فالحل Tired Agitated Done ليس حلاً أفضلي والحل Done هو الحل الأفضلي.

مسألة 2:

أبراج هانوي هي لعبة تعتمد على تحريك الحلقات من الوتد اليساري إلى الوتد اليميني والشرط الوحيد هو ألا تكون هناك حلقة أكبر فوق حلقة أصغر على نفس الوتد، المطلوب إذا علمت أن الفضاء الاحتمالي يمثل بالشكل الآتي، صغ مسألة البحث.







نظراً لضخامة الفضاء الاحتمالي يمكن في الامتحان أن نكتفي بثلاثة انتقالات في حال كان الفضاء الاحتمالي ضخماً.

يشير الحرف الأول لموقع الحلقة الصغيرة والحرف الثاني لموقع الحلقة الكبيرة

الحالة الابتدائية AA

$$AA \rightarrow CA$$

تحريك الحلقة الصغيرة للوتد الثالث

$$AA \rightarrow BA$$

تحريك الحلقة الصغيرة للوتد الثاني

$$CA \rightarrow AA$$

تحريك الحلقة الصغيرة للوتد الأول من الوتد الثالث

$$BA \rightarrow AA$$

$$CA \rightarrow BA$$

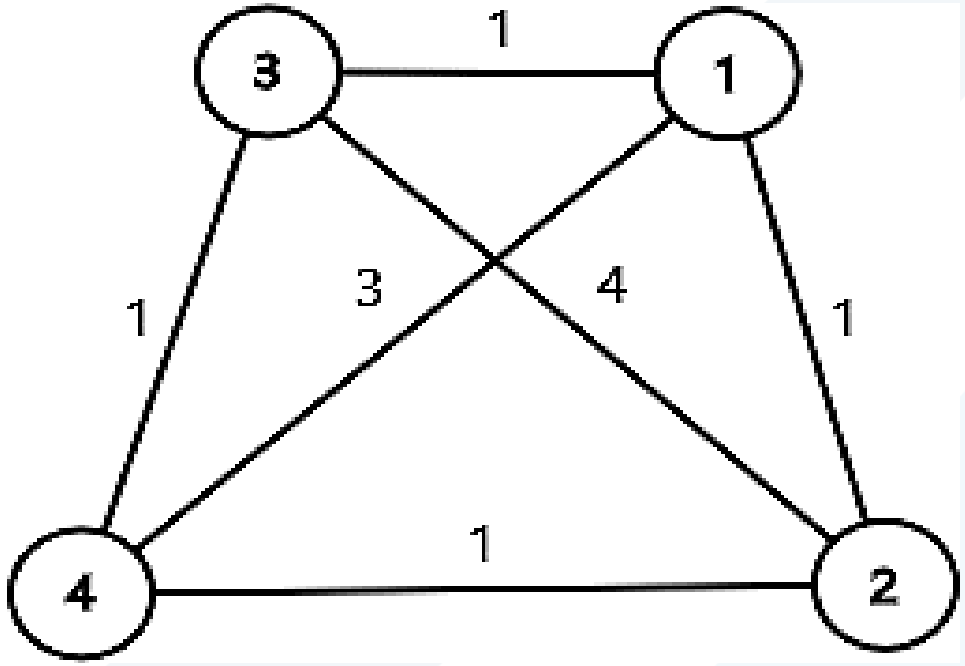
وهكذا ....

الحالة الهدف هي CC، قد نعتبر أنه ليست هناك كلفة ويهم الوصول للهدف أو أن الكلفة هي عدد الانتقالات اللازمة للوصول للهدف.

في حال اعتبرنا أن الكلفة هي عدد الانتقالات اللازمة للوصول للهدف يصبح الطريق AA BA BC CC هو الحل المثالي.

مسألة 3:

مسألة البائع الجوال، باعتبار لدينا بيان تام (هناك وصلة بين أي عقدتين) والأضلاع موزونة بكلف، نريد إيجاد حلقة هاملتون (حلقة تمر على جميع عقد البيان دون تكرار عقدة) بأقل تكلفة ممكنة. قم بصياغة المسألة وإيجاد الحل المثالي باعتبار أن حالة البداية هي العقدة 1.



الحالة الابتدائية بشكل واضح هي 1

الانتقالات الممكنة (يكفي ذكر ثلاثة)

$$1 \rightarrow 2$$

$$1 \rightarrow 3$$

$$1 \rightarrow 4$$

بعض الكلف هي:

$$c(1,2) = 1$$

$$c(1,3) = 1$$

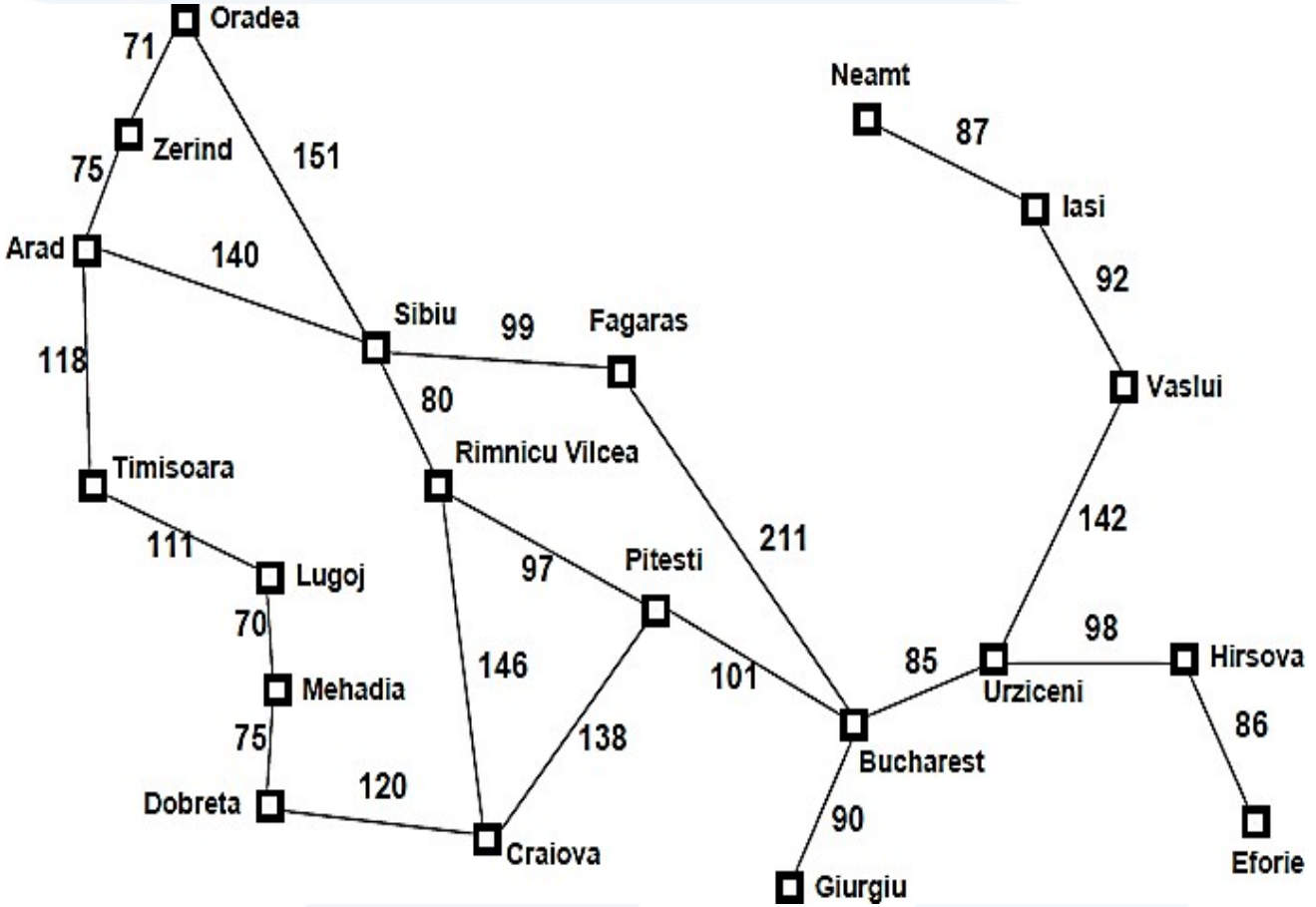
$$c(1,4) = 3$$

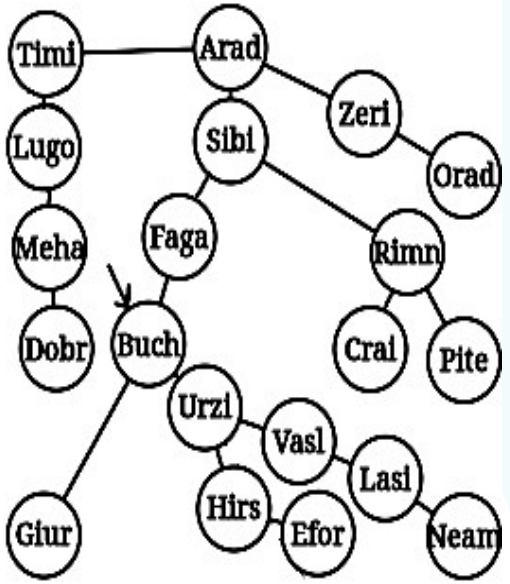
الهدف هو إيجاد حلقة تمر على كل عقد دون تكرار (ليس هدف صريح التعريف)

الحل الأفضلي هو 1 2 4 3 1 بتكلفة $1 + 1 + 1 + 1 = 4$

مسألة 4:

مسألة رومانيا هي مسألة تطلب منا الانطلاق من مدينة Arad حتى نصل ل Bucharest الطرق المؤدية تملك تكاليف، المطلوب عبر عن هذه المسألة.





الحالة البدائية بشكل واضح هي In(Arad) وبعض الانتقالات الممكنة هي

$$In(Arad) \rightarrow (Go(Zerind), In(Zerind)),$$

$$In(Arad) \rightarrow (Go(Sibiu), In(Sibiu)),$$

$$In(Arad) \rightarrow (Go(Timisoara), In(TimiSoara))$$

بعض الكلف الممكنة:

$$c(In(Arad), Go(Zerind), In(Zerind)) = 75$$

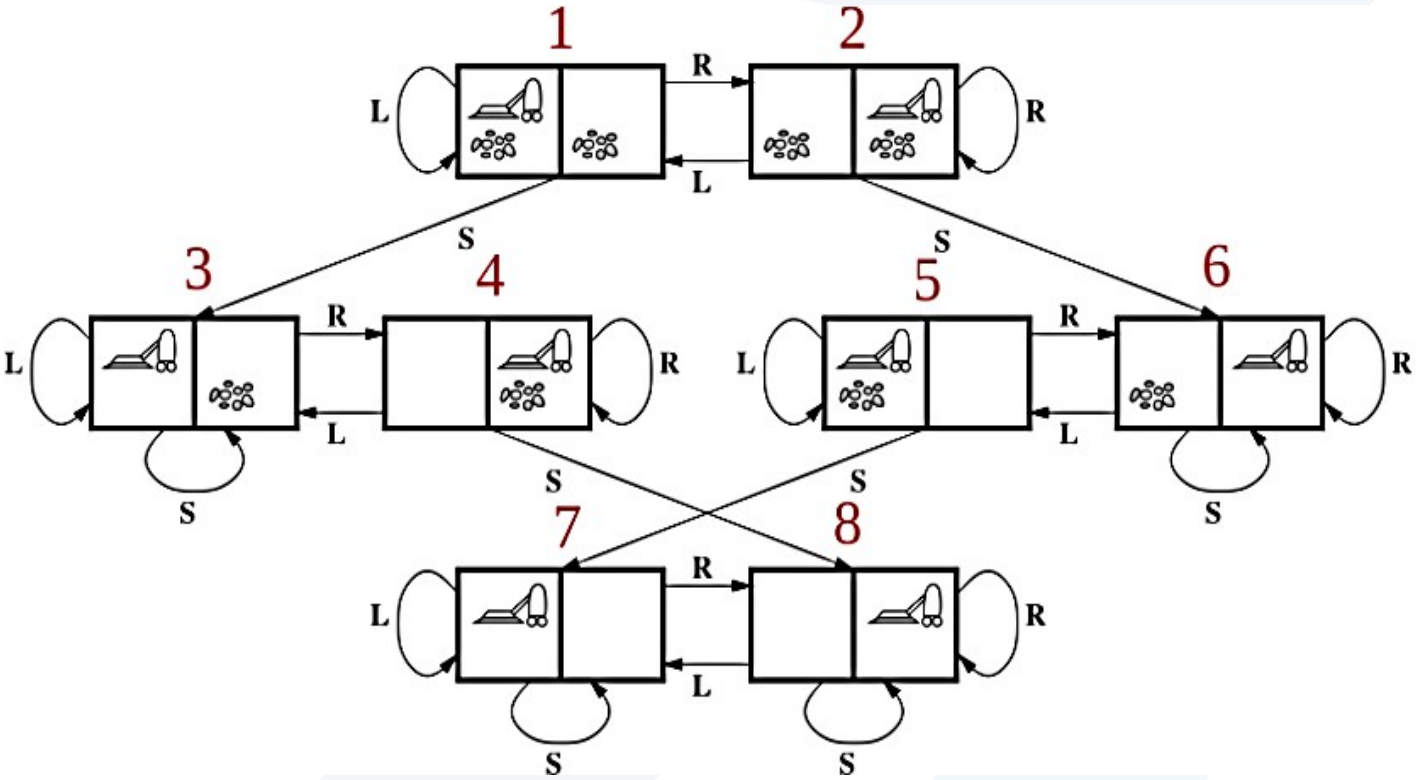
$$c(In(Arad), Go(Sibiu), In(Sibiu)) = 140$$

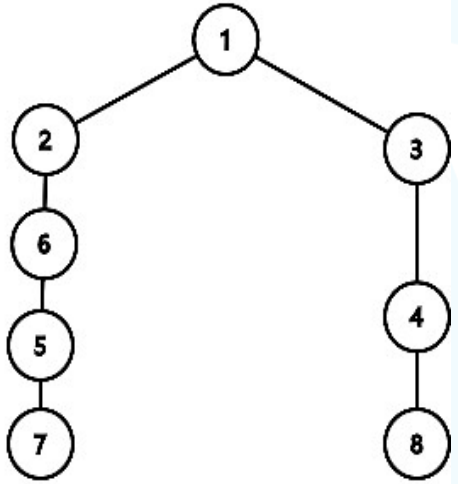
$$c(In(Arad), Go(Timisoara), In(Timisoara)) = 118$$

الهدف هو Bucharest، الحل الأفضلي هنا هو Arad Sibiu Rimnicu Pitesti Bucharest بكلفة 140 + 80 + 97 + 101 = 418.

مسألة 5:

لتكن لدينا منظفة كهربائية آلية تستطيع هذه المنظفة أن تذهب لليمين أو اليسار وأن تقوم بالشفط ، في حال قامت بالشفط تصبح المنطقة نظيفة، باعتبار أن المنطقة بدأت بالموقع 1، صغ المسألة.





الحالة البدائية هي الحالة 1 حسب الفرض يبقى كتابة بعض الانتقالات:

$$1 \rightarrow (R, 2)$$

$$1 \rightarrow (S, 3)$$

$$3 \rightarrow (\mathrm{R}, 4)$$

$$2 \rightarrow (L, 1)$$

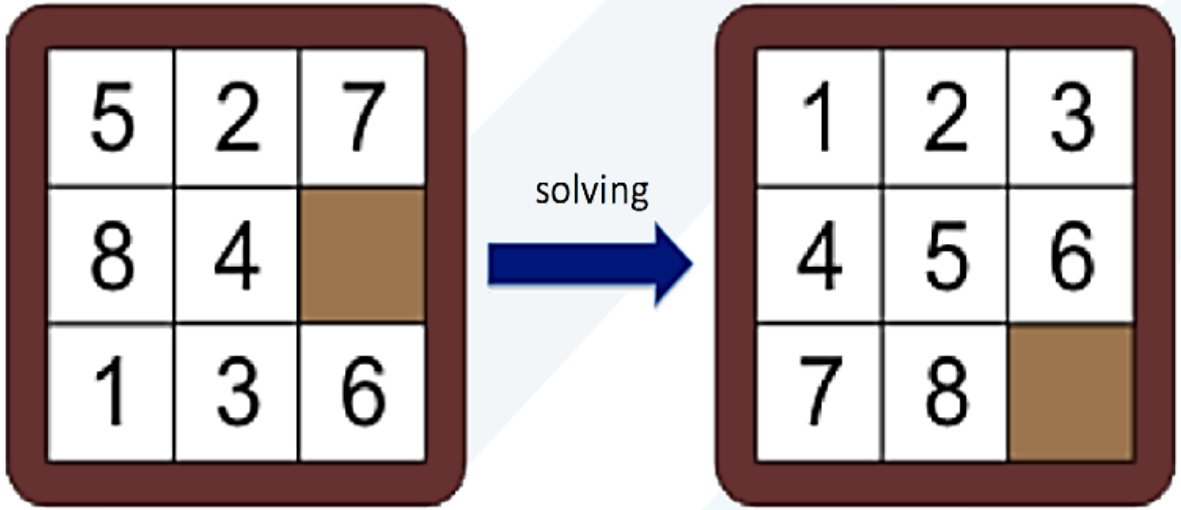
الهدف هو إما الحالة 7 أو 8، يمكن أن نعتبر أنه ليست هناك تكلفة أو أن التكلفة هي عدد الخطوات اللازمة لتنظيف المساحتين، في هذه الحالة الحل الأفضلي هو 1 3 4 8

ملاحظة هامة:

فرضنا في هذه المسألة أن الحالة 1 هي الحالة البدائية لتبسيطها لكن في الواقع هناك حالتين بدائيتين هما 1,2 فيمكن أن تكون هناك أكثر من حالة بدائية وفي حال لم يعطى في المسألة نقطة بداية وكان هناك أكثر من احتمال بداية فيجب ذكر كل حالات البداية.

مسألة 6:

المربعات المنزلقة هي عبارة عن مجموعة أرقام (غالباً من 1 حتى 8) ومكان فارغ نهدف لوضع المربعات بترتيب معين وغالباً هو ترتيب تصاعدي، يمكننا نقل الفراغ للأعلى أو الأسفل أو اليمين أو اليسار وعندما نقوم بنقله نستبدله مع المربع الذي تم نقله، صغ مسألة البحث.



الفضاء الاحتمالي هنا هو ضخم جداً فعدد الاحتمالات الممكنة هو $9!$ وفقط $\frac{9!}{2}$ من هذه الاحتمالات يمكن حلها.

ملاحظة:

يمكن أن نبدأ المسألة بحالة مستحيلة الحل أو أن تكون المسألة غير قابلة للحل أي ليس بالضرورة أن تكون كل المسائل قابلة للحل.

نظراً لضخامة الفضاء الاحتمالي سنكتفي بذكر احتمالات تحريك الفراغ في الصورة اليسارية

$$S \rightarrow (Up, S')$$

$$S \rightarrow (Down, S'')$$

$$S \rightarrow (Left, S''')$$

الانتقال $S \rightarrow (Right, S'''')$ مسموح به نظراً لأنه ليس هناك شيء في اليمين لكي نستبدل الفراغ معه. $\cdot$ ١٩

الهدف هو الصورة اليمينية، ويمكن أن نعتبر عدم وجود تكلفة أو أن التكلفة هي عدد الخطوات للوصول للهدف.