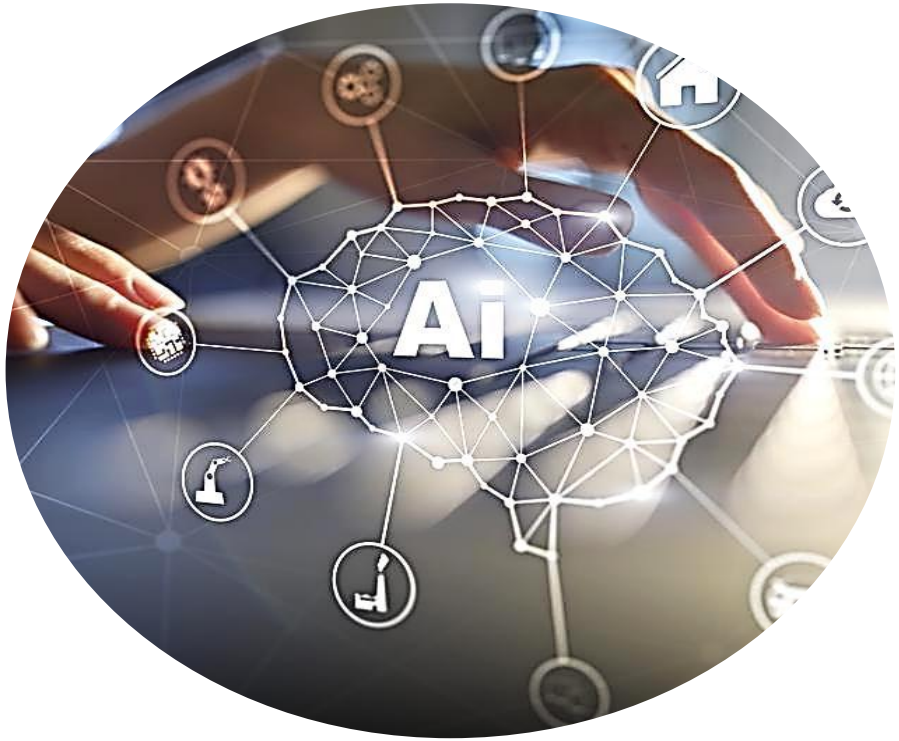
مقدمة في الذكاء الصنعي

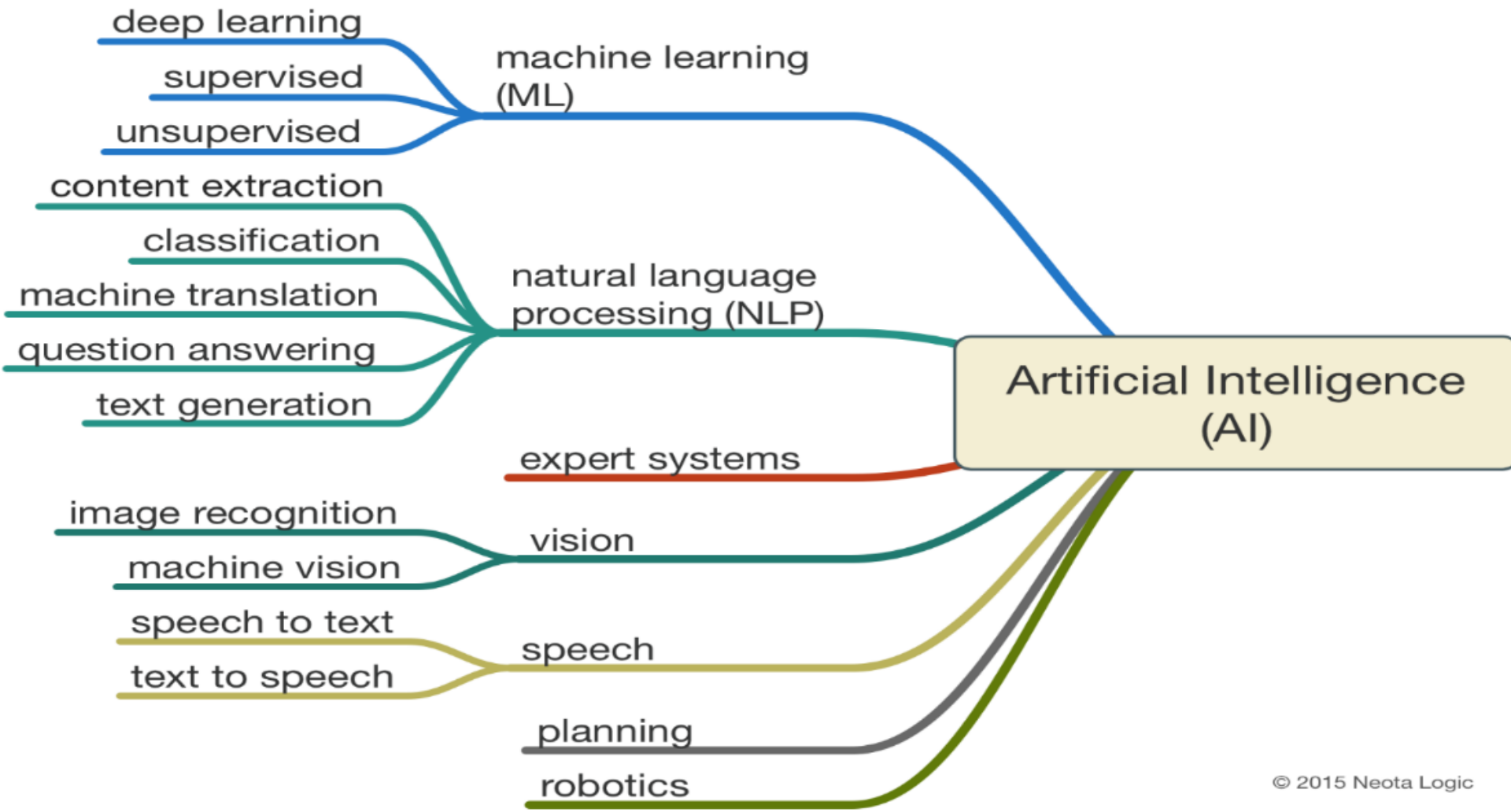
الهندسة المعلوماتية



مدرس المقرر

د.بلال شيحا

Typical AI Application Areas



© 2015 Neota Logic

Typical AI Application Areas

Machine learning	تعلم الآلة
natural language processing - understanding, generating, translating	معالجة وفهم اللغات الطبيعية توليدها وترجمتها
Expert systems	النظم الخبيرة.
vision - scene recognition, object recognition, face recognition	الرؤية الحاسوبية والتعرف على المشاهد والنماذج والكائنات والوجوه
speech recognition	التعرف على الكلام
planning	التخطيط
robotics	التحكم بالروبوت

الدماغ وَ الذكاء وَ الذكاء الصنعي

- لطالما اعتبر الدماغ **الملهم** الرئيسي لمجال الذكاء الصنعي، بالنسبة للعديد من الباحثين في الذكاء الصنعي.
- يتمثل الهدف النهائي للذكاء الصنعي في **محاكاة** قدرات الدماغ البشري. ولكنها مهمة شاقة للغاية بالنظر إلى أنه :

ما زال علماء الأعصاب يحاولون فهم الآلية المعرفية التي تغذي أدمغتنا.

الدماغ وَ الذكاء وَ الذكاء الصنعي

بعض عمليات الدماغ

١ - **الانتباه** : **(Attention)** الانتباه هو أحد تلك القدرات السحرية للدماغ البشري.

- ما هي آليات الدماغ التي تسمح لنا بالتركيز على مهمة محددة وتجاهل بقية البيئة المحيطة ؟

٢- **الذاكرة العرضيّة** : **(Episodic Memory)**

- تستخدم عند تذكر أحداث السيرة الذاتية مثل الأحداث أو الأماكن .

٣- **التعلم المستمر** : **(Continual Learning)**

- كبشر لدينا القدرة على تعلم مهام جديدة دون نسيان المعرفة السابقة.

٤- **الخيال والتخطيط** : **(Imagination and Planning)**

- الوعي يرتبط بقدرة البشر على التنبؤ والتفكير في المستقبل.

٥- **الإستنباط** : **(Inference)**

- الإدراك البشري معروف بقدرته على تعلم مفاهيم جديدة من المعرفة السابقة من خلال الاستدلالات الاستقرائية .

الذكاء الصنعي ينجح في معالجة المعضلات التي تتميز بما يلي:

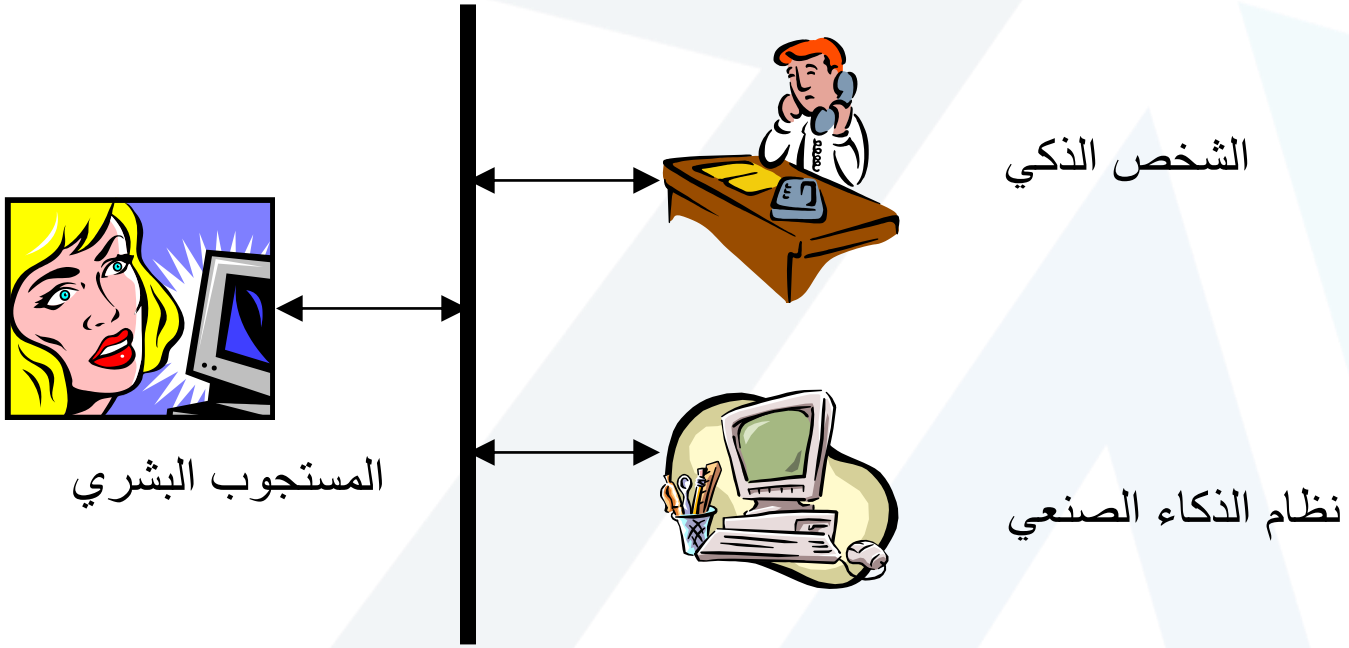
- عدم وجود خوارزمية واضحة لحل المعضلة.
- تحتاج عمليات حسابية هائلة.
- تتطلب حدسية عالية (لعبة الشطرنج).

Turing test اختبار تورينغ

- **The computer passes the “test of intelligence” if a human, after posing some written questions, cannot tell whether the responses were from a person or not.**

يطرح **المستجوب** سؤالاً (كتابياً) على كل من **الشخص الذكي والآلة (الحاسوب)** المعزولين عن المستجوب، ويحصل على جواب (كتابي) من كل منهما. فإذا لم يستطع التمييز بين الجوابين (أي جواب هو الصادر عن الشخص الذكي وأي هو الصادر عن الألة (البرنامج على الحاسوب)) عدت الآلة (البرنامج) ذكيةً.

Turing test اختبار تورينغ



searching

- An agent needs to perform *actions* to get from its current *state* to a *goal*.
- يحتاج الوكيل إلى تنفيذ إجراءات للانتقال من حالته الحالية إلى الهدف.
- This process is called *searching*.
- هذه العملية تسمى البحث.
- Central in many AI systems:
  - Theorem proving, game playing, navigation, scheduling, etc.
  - مركزية في العديد من أنظمة الذكاء الاصطناعي:
    - إثبات النظرية ، ولعب الألعاب ، والتنقل ، والجدولة ، .....

Requirements for searching

1-Define the problem

١-عرف المشكلة

- **Represent the search space by states**
- **تمثيل فضاء البحث بواسطة الحالات**

- **Define the actions the agent can perform and their cost**
- **حدد الإجراءات التي يمكن أن يقوم بها الوكيل وتكلفتها**

Requirements for searching

2-Define a goal

٢-حدد هدفًا

- **What is the agent searching for?**

- **ما الذي يبحث عنه الوكيل؟**

Requirements for searching

3-Define the solution

٣-عرف الحل

- **The goal itself?**
- **الهدف نفسه؟**

- **The path (i.e. sequence of actions) to get to the goal?**

- المسار (أي تسلسل الإجراءات) للوصول إلى الهدف؟

Formulating problems

- A well-defined problem has:
- المشكلة محدد ة بشكل جيد هذا يتطلب:
  - An initial state
  - حالة ابتدائية
  - A set of actions
  - مجموعة من الاجراءات
  - A goal test
  - اختبار الوصول للهدف
  - A concept of cost
  - مفهوم التكلفة

State-space searching

- Most problems in AI can be cast as searches on a state space
  - يمكن اعتبار معظم المشكلات في AI على أنها عمليات بحث في فضاء الحالة
- The space can be tree-shaped or graph-shaped
  - يمكن أن يكون الفضاء على شكل شجرة أو على شكل بيان
    - If a graph, need some way to keep track of where you have been, so as to avoid loops
      - إذا كان بيان، فأنت بحاجة إلى طريقة ما للمتابعة من حيث أنت، وذلك لتجنب الحلقات
- The state space is often very, very large
  - غالبًا ما يكون فضاء الحالة كبير جدًا
- We can minimize the size of the search space by careful choice of operators
  - يمكننا تقليل حجم فضاء البحث عن طريق الاختيار الدقيق للإجراءات
- Exhaustive searches don't work—we need *heuristics*
  - عمليات البحث الشاملة لا تجدي نفعًا، فنحن بحاجة إلى الاستدلال.

State-space searching

Terminology	
State	الحالة
State Space	فضاء الحالة
Goal	الهدف
Action	الإجراء
Cost	التكلفة
State Change Function	دالة تغير الحالة
State-Space Search	البحث في فضاء الحالة

Example
The Missionaries and Cannibals Problem
مسألة المبشرين/المتوحشين (أكلة لحوم البشر)

- Three missionaries and three cannibals are on one side of a river, along with a boat that can hold one or two people.

- يوجد ثلاثة مبشرين وثلاثة أكلة لحوم البشر على جانب واحد من النهر، و قارب يتسع لشخصين على الأكثر.

Example
The Missionaries and Cannibals Problem

مسألة المبشرين/المتوحشين (أكلة لحوم البشر)

- If there are ever more cannibals than missionaries on one side of the river, the cannibals will eat the missionaries. (We call this a “dead” state.)

- إذا كان هناك أكلة لحوم بشر أكثر من المبشرين على جانب واحد من النهر، فإن أكلة لحوم البشر سوف تأكل المبشرين. (نسميها حالة "ميتة").

Example
The Missionaries and Cannibals Problem

مسألة المبشرين/المتوحشين (أكلة لحوم البشر)

- Find a way to get everyone to the other side, without anyone getting eaten.

- جد طريقة لإيصال الجميع إلى الجانب الآخر، دون أن يُأكل أحد.

The Missionaries and Cannibals Problem

مسألة المبشرين/المتوحشين (أكلة لحوم البشر)

المسألة باختصار:

- ثلاث مبشرين وثلاث متوحشين على ضفة نهر يجب أن ينتقلوا إلى الضفة اليمنى.
- يوجد قارب يتسع لشخصين فقط.
- لا يجوز أن يزيد عدد المتوحشين عن المبشرين على أي ضفة للنهر في أية مرحلة لأنه في هذه الحالة سيقوم المتوحشين بالقضاء على المبشرين.

The Missionaries and Cannibals Problem
States

- A *state* can be represented by the number of missionaries and cannibals on each side of the river
- يمكن تمثيل الحالة بعدد المبشرين وأكلي لحوم البشر على كل جانب من النهر

  - Initial state: 3m,3c,canoe / 0m,0c (الحالة الابتدائية)
  - Goal state: 0m,0c / 3m,3c,canoe (حالة الهدف)
  - We assume that crossing the river is a simple procedure that always works (so we don't have to represent the canoe being in the middle of the river)
  - نفترض أن عبور النهر هو إجراء بسيط يتم بشكل دائم (لذلك لا يتعين علينا تمثيل الزورق في وسط النهر)

The Missionaries and Cannibals Problem
States

- However, this is redundant; we only need to represent how many missionaries/cannibals are on *one* side of the river
- ومع ذلك ، يعتبر هذا زيادة. نحتاج فقط إلى تمثيل عدد المبشرين / آكلي لحوم البشر الموجودين على جانب واحد من النهر

  - Initial state: 3m,3c,canoe
  - Goal state: 0m,0c

The Missionaries and Cannibals Problem
Operations(Acts)

- An *operation* takes us from one state to another
- الإجراء (العملية) يأخذنا من حالة إلى أخرى

- Here are five possible operations:
- فيما يلي خمس عمليات ممكنة:
  - Canoe takes 1 missionary across river (1m)
  - Canoe takes 1 cannibal across river (1c)
  - Canoe takes 2 missionaries across river (2m)
  - Canoe takes 2 cannibals across river (2c)
  - Canoe takes 1 missionary and 1 cannibal across river (1m1c)
- We don't have to specify "west to east" or "east to west" because only one of these will be possible at any given time

- لا يتعين علينا تحديد "من الغرب إلى الشرق" أو "من الشرق إلى الغرب" لأن واحدًا منهما سيكون ممكنًا فقط

LEFT BANK الضفة اليسرى			RIGHT BANK الضفة اليمنى		
M	C	BOAT	M	C	BOAT
0	0	YES	3	3	NO
0	1	YES	3	2	NO
0	2	YES	3	1	NO
0	3	YES	3	0	NO
1	0	YES	2	3*	NO
1	1	YES	2	2	NO
1	2*	YES	2	1	NO
1	3*	YES	2	0	NO
2	0	YES	1	3*	NO
2	1	YES	1	2*	NO
2	2	YES	1	1	NO
2	3*	YES	1	0	NO
3	0	YES	0	3	NO
3	1	YES	0	2	NO
3	2	YES	0	1	NO
3	3	YES	0	0	NO
0	0	NO	3	3	YES
0	1	NO	3	2	YES
0	2	NO	3	1	YES
0	3	NO	3	0	YES
1	0	NO	2	3*	YES
1	1	NO	2	2	YES
1	2*	NO	2	1	YES
1	3*	NO	2	0	YES
2	0	NO	1	3*	YES
2	1	NO	1	2*	YES
2	2	NO	1	1	YES
2	3*	NO	1	0	YES
3	0	NO	0	3	YES
3	1	NO	0	2	YES
3	2	NO	0	1	YES
3	3	NO	0	0	YES

الحالة	LEFT BANK الضفة اليسرى			RIGHT BANK الضفة اليمنى		
	M	C	BOAT	M	C	BOAT
	0	0	YES*	3	3	NO
s1	0	1	YES	3	2	NO
s2	0	2	YES	3	1	NO
s3	0	3	YES	3	0	NO
s4	1	1	YES	2	2	NO
s5	2	2	YES	1	1	NO
	3	0	YES*	0	3	NO
s6	3	1	YES	0	2	NO
s7	3	2	YES	0	1	NO
s8	3	3	YES	0	0	NO
s9	0	0	NO	3	3	YES
s10	0	1	NO	3	2	YES
s11	0	2	NO	3	1	YES
	0	3	NO*	3	0	YES
s12	1	1	NO	2	2	YES
s13	2	2	NO	1	1	YES
s14	3	0	NO	0	3	YES
s15	3	1	NO	0	2	YES
s16	3	2	NO	0	1	YES
	3	3	NO*	0	0	YES

حالة لا يجوز أن توجد (تتنافى مع الفرض)*

الحالة	الضفة اليسرى LEFT BANK			الضفة اليمنى RIGHT BANK		
الموجودة	M	C	BOAT	M	C	BOAT
S1	0	1	YES	3	2	NO
S2	0	2	YES	3	1	NO
S3	0	3	YES	3	0	NO
S4	1	1	YES	2	2	NO
S5	2	2	YES	1	1	NO
S6	3	1	YES	0	2	NO
S7	3	2	YES	0	1	NO
S8	3	3	YES	0	0	NO
S9	0	0	NO	3	3	YES
S10	0	1	NO	3	2	YES
S11	0	2	NO	3	1	YES
S12	1	1	NO	2	2	YES
S13	2	2	NO	1	1	YES
S14	3	0	NO	0	3	YES
S15	3	1	NO	0	2	YES
S16	3	2	NO	0	1	YES

العمليات الممكنة

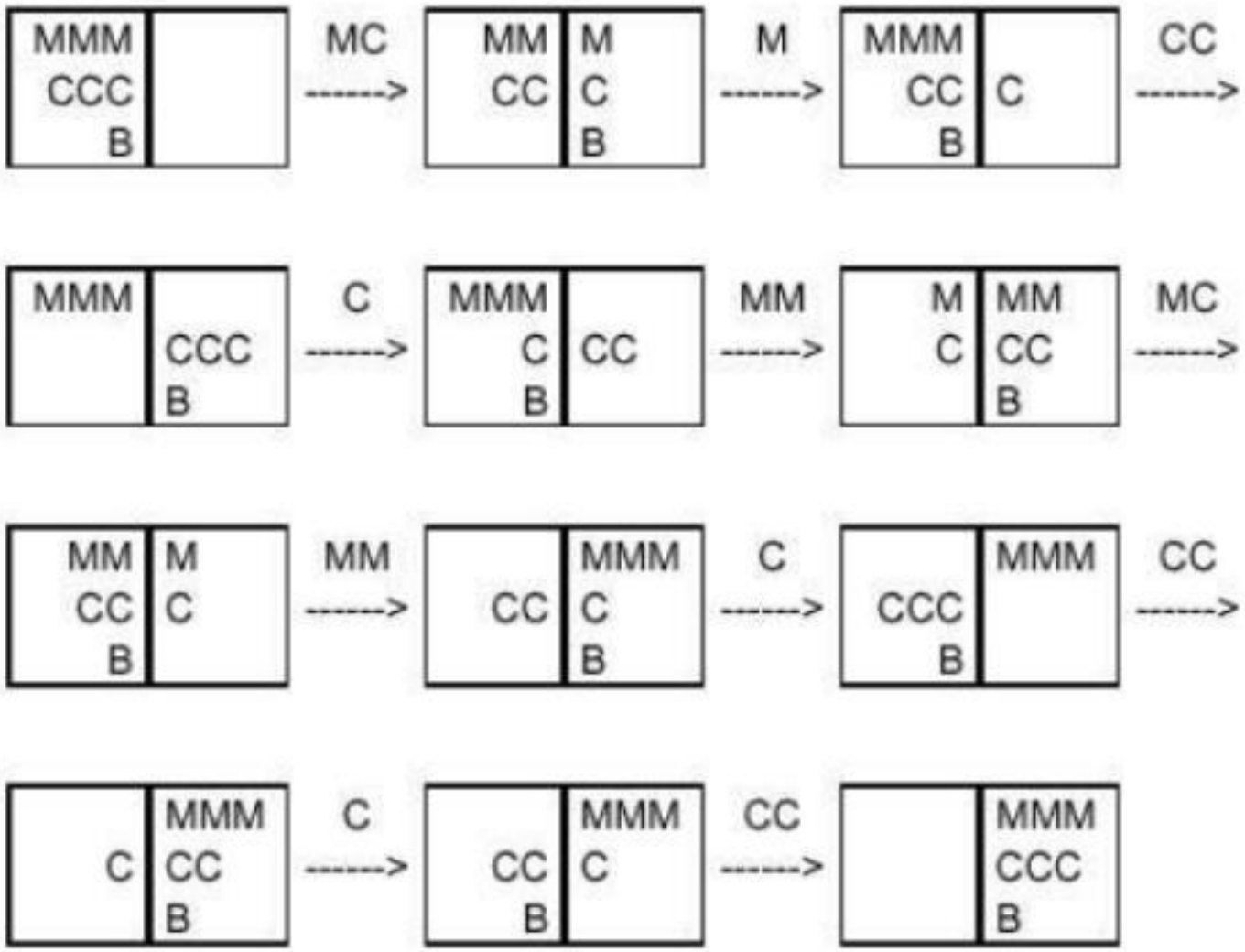
العملية	العمليات الممكنة
O1	انقل مبشراً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O2	انقل متوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O3	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O4	انقل مبشرين من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O5	انقل متوحشين من الضفة اليسرى إلى اليمنى

العملية	العمليات الممكنة
O6	انقل مبشراً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O7	انقل متوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O8	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O9	انقل مبشرين من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O10	انقل متوحشين من الضفة اليمنى إلى اليسرى

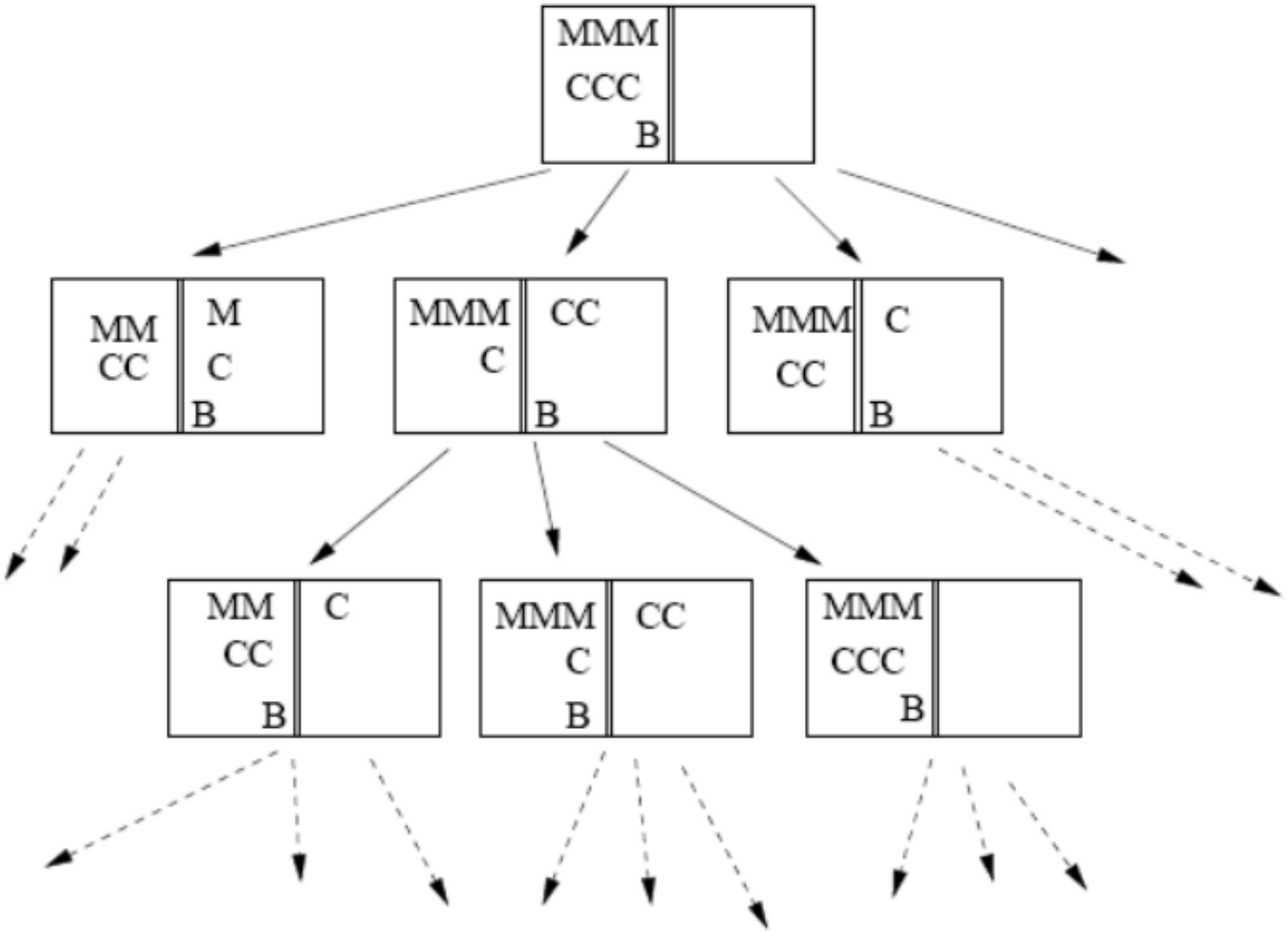
الحل

الحالة الموجودة		الضفة اليسرى LEFT BANK			الضفة اليمنى RIGHT BANK		
		M	C	BOAT	M	C	BOAT
O3	S8	3	3	YES	0	0	NO
O6	S13	2	2	NO	1	1	YES
O5	S7	3	2	YES	0	1	NO
O7	S14	3	0	NO	0	3	YES
O4	S 6	3	1	YES	0	2	NO
O8	S12	1	1	NO	2	2	YES
O4	S 5	2	2	YES	1	1	NO
O7	S11	0	2	NO	3	1	YES
O5	S3	0	3	YES	3	0	NO
O7	S10	0	1	NO	3	2	YES
O5	S 2	0	2	YES	3	1	NO
G	S9	0	0	NO	3	3	YES

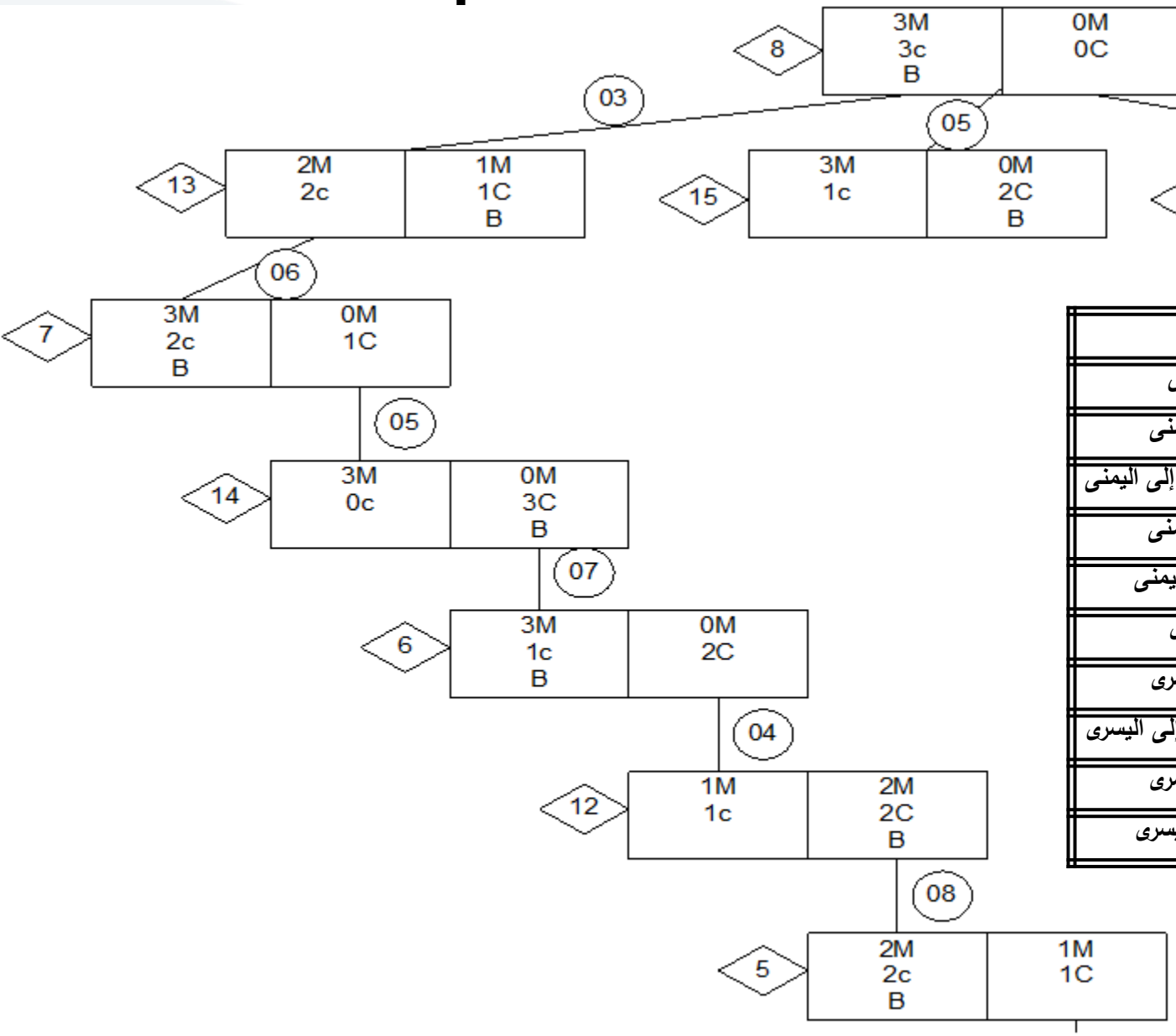
State Space


MMM
CCC
B
MC
MM
CC
M
C
B
M
MMM
CC
B
C
CC
MMM
CCC
B
C
MMM
C
B
CC
MM
M
C
MM
CC
B
MC
MM
CC
B
M
C
MM
CC
MMM
C
B
C
CCC
B
MMM
CC
MMM
C
B
C
MMM
CC
B
C
CC
MMM
CCC
B

State Space



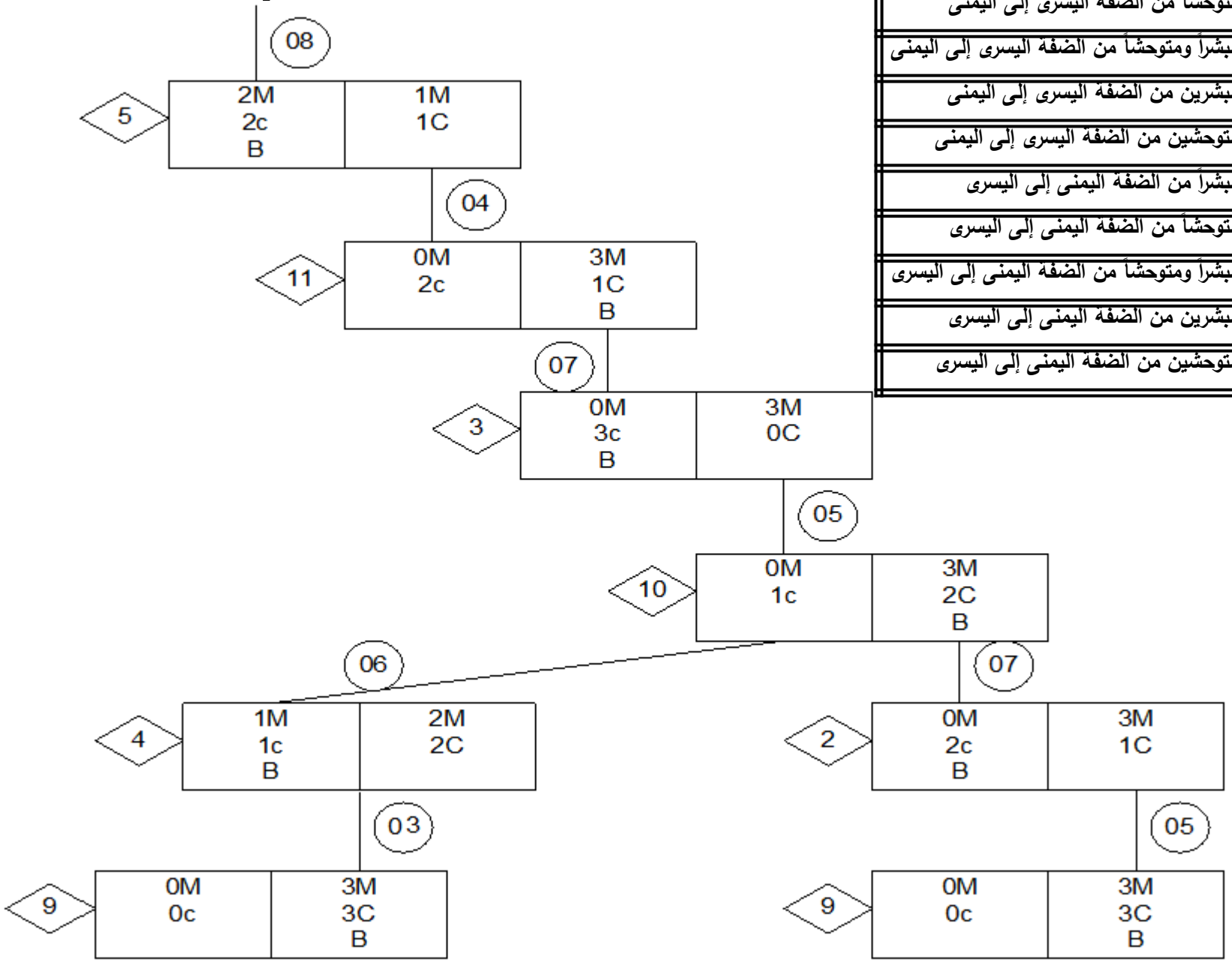
State Space



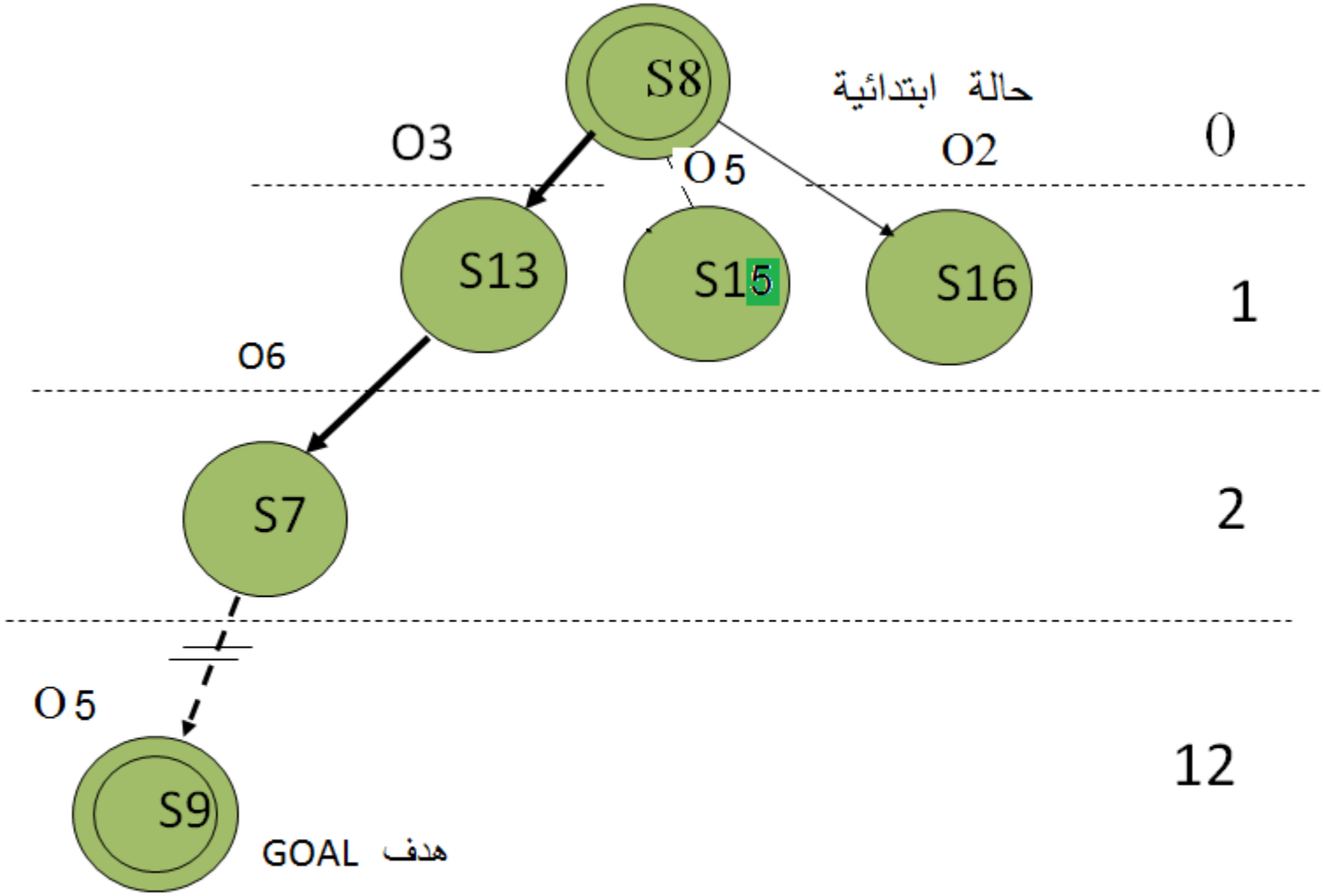
العملية	العمليات الممكنة
O1	انقل مبشراً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O2	انقل متوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O3	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O4	انقل مبشرين من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O5	انقل متوحشين من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O6	انقل مبشراً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O7	انقل متوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O8	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O9	انقل مبشرين من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O10	انقل متوحشين من الضفة اليمنى إلى اليسرى

State Space

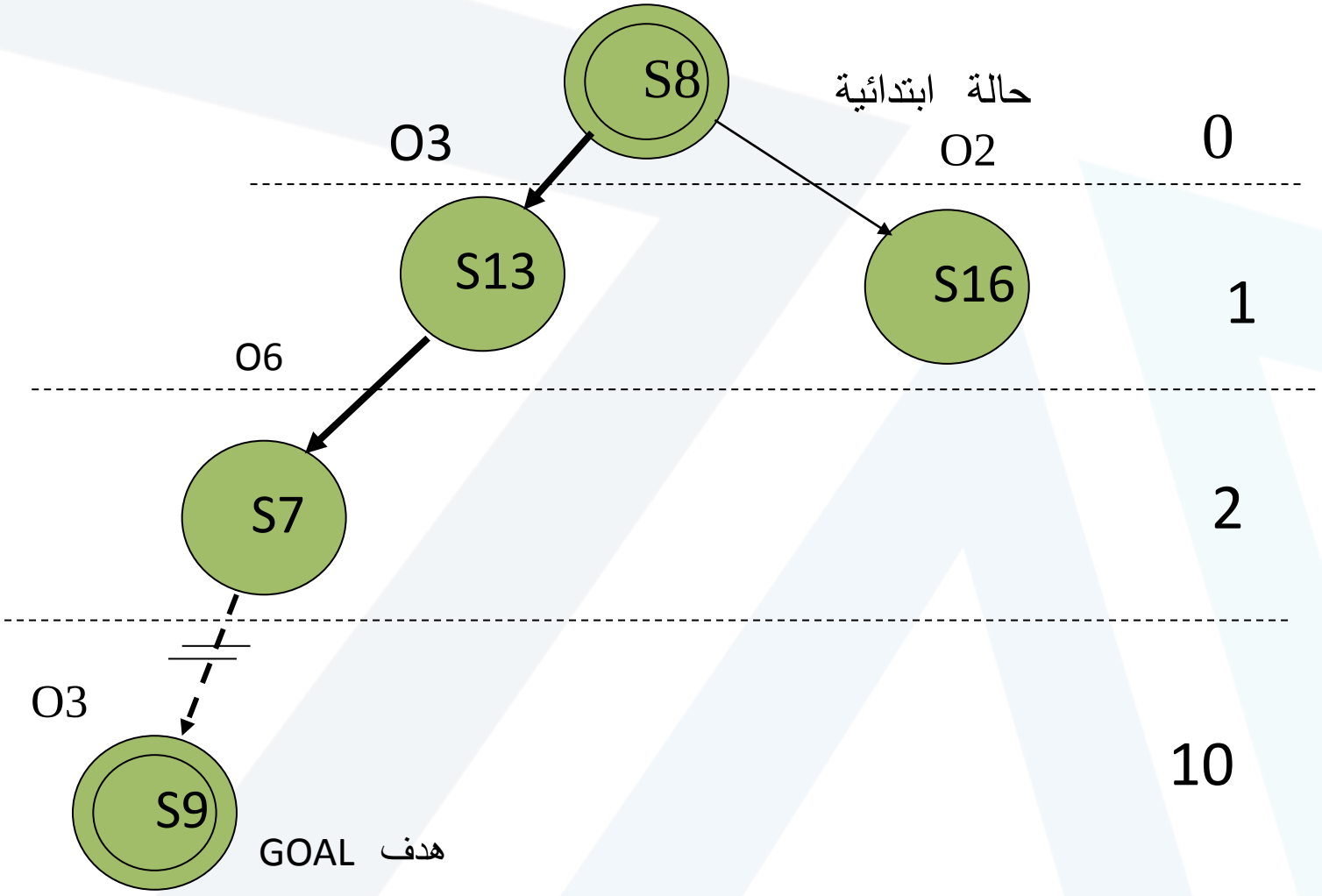
العملية	العمليات الممكنة
O1	انقل مبشراً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O2	انقل متوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O3	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O4	انقل مبشرين من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O5	انقل متوحشين من الضفة اليسرى إلى اليمنى
O6	انقل مبشراً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O7	انقل متوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O8	انقل مبشراً ومتوحشاً من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O9	انقل مبشرين من الضفة اليمنى إلى اليسرى
O10	انقل متوحشين من الضفة اليمنى إلى اليسرى



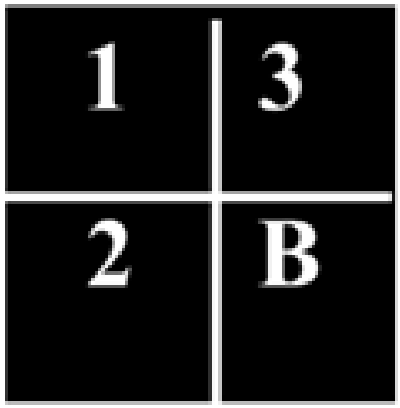
مخطط الحالة



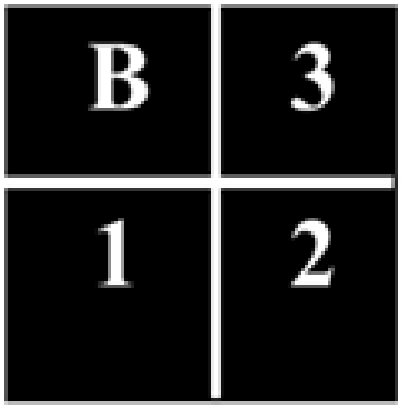
مخطط الحالة



Example Consider a 4-puzzle problem, where in a 4-cell board there are 3 cells filled with digits and 1 blank cell. The initial state of the game represents a particular orientation of the digits in the cells and the final state to be achieved is another orientation supplied to the game player. The problem of the game is to reach from the given initial state to the goal (final) state, if possible, with a minimum of moves. Let the initial and the final state be as shown in figures (a) and (b) respectively.



(a) initial state



(b) final state

The initial and the final states of the Number Puzzle game, where B denotes the blank space.

We now define two operations, blank-up (BU) / blank-down (BD) and blank-left (BL) / blank-right (BR) [9], and the state-space (tree) for the problem is presented below using these operators.

The algorithm for the above kind of problems is straightforward. It consists of three steps, described by steps 1, 2(a) and 2(b) below.

- نعرف الآن عمليتين: الفراغ للأعلى (BU)/ الفراغ للأسفل (BD) و الفراغ لليمين (BR)/ الفراغ لليسار (BL)
- و فضاء الحالة لهذه المسألة مبين في الشكل.
- و خوارزمية هذا النوع من المسائل هي للأمام مباشرة، و هي تتألف من ثلاث خطوات موصوفة بواسطة الخطوات ١و ٢(a) و ٢(b).

Algorithm for solving state-space problems

Begin

1. state: = initial-state; existing-state:=state;
2. **While** state ≠ final state **do**
   Begin

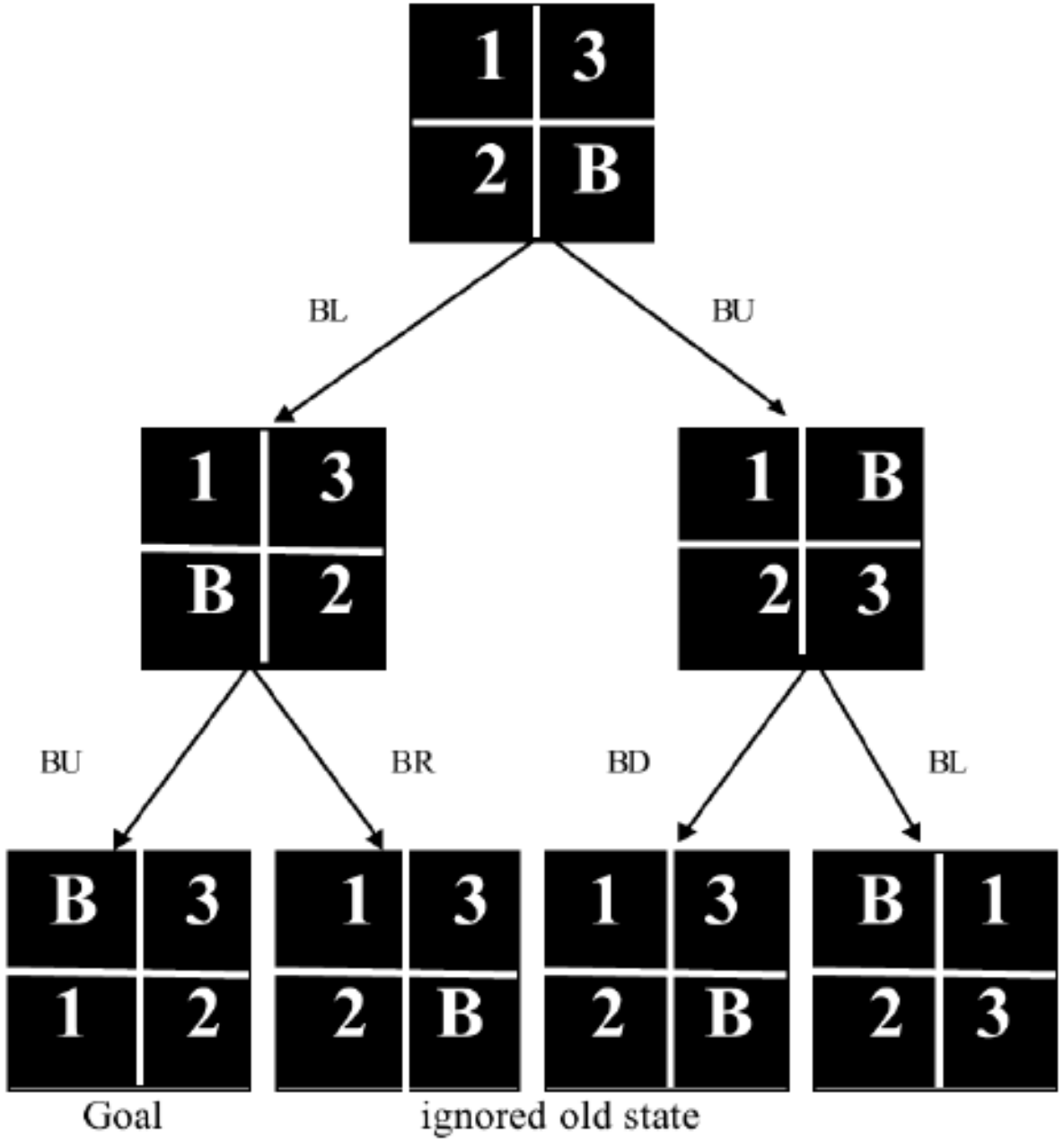
   a. Apply operations from the set {BL, BR, BU, BD} to each state so as to generate new-states;

   b. **If** new-states ∩ the existing-states ≠ ϕ

   Then do

Begin state := new-states – existing-states;
Existing-states := existing-states ∪ {states}
End;
End while;

End.

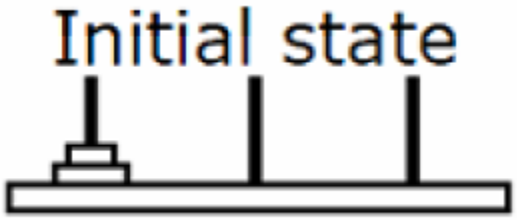

1 3
2 B
BL
BU
1 3
B 2
1 B
2 3
BU
BR
BD
BL
B 3
1 2
1 3
2 B
1 3
2 B
B 1
2 3
Goal
ignored old state

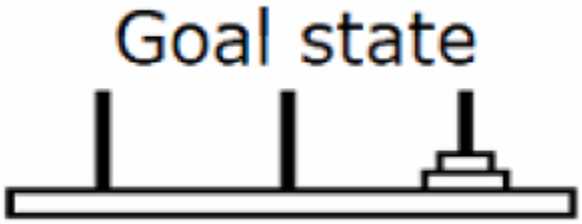
It is thus clear that the main trick in solving problems by the state-space approach is to determine the set of operators and to use it at appropriate states of the problem.

Researchers in AI have segregated the AI problems from the non-AI problems. Generally, problems, for which straightforward mathematical / logical algorithms are not readily available and which can be solved by intuitive approach only, are called AI problems.

مثال توضيحي
State Space Approach
(منهجية فضاء الحالة)

- Puzzle of towers of Hanoi with only 2 disks
- لعبة أبراج هانوي بقرصين أثنين فقط.





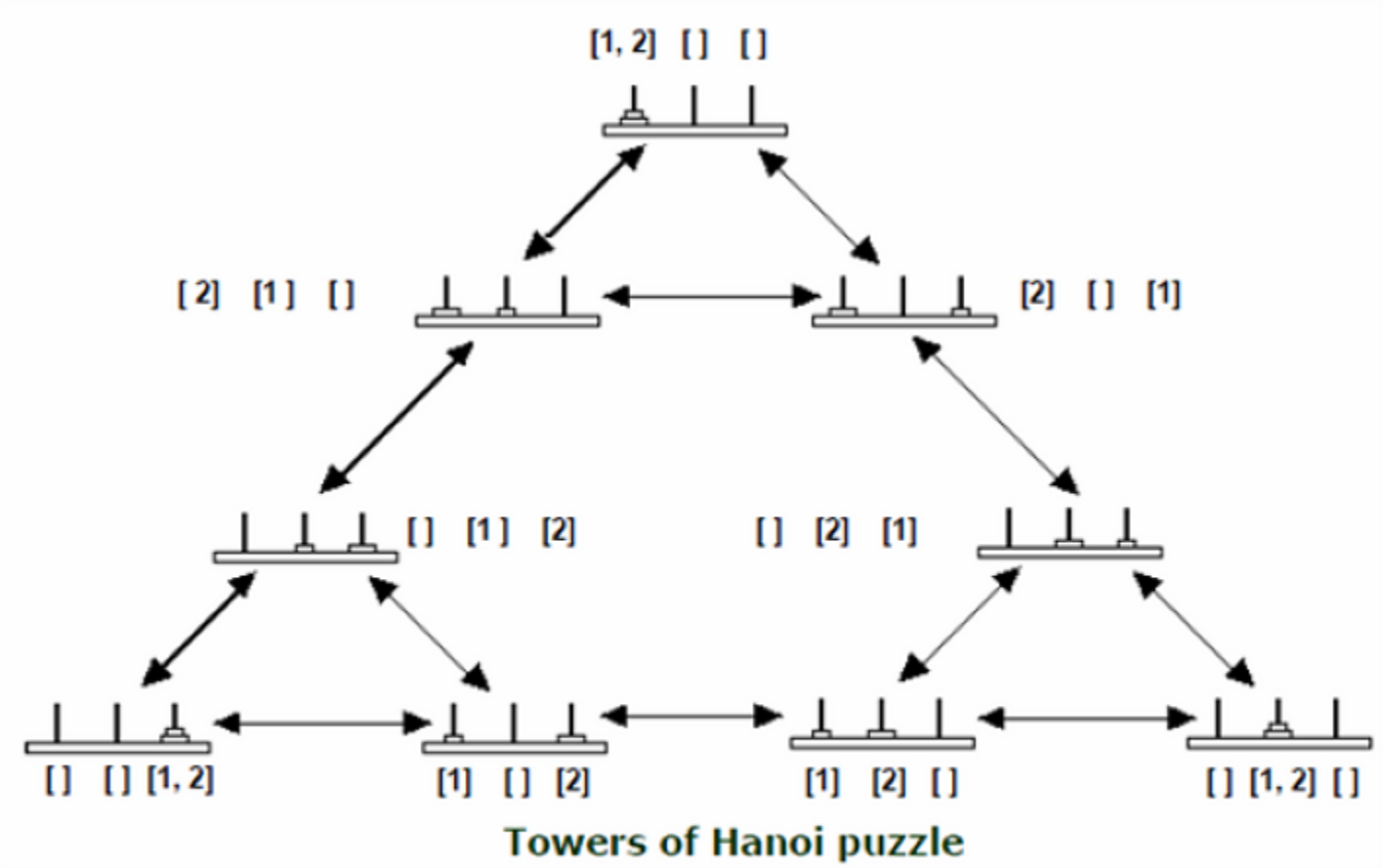
مثال توضيحي
State Space Approach
(منهجية فضاء الحالة)

- الشروط:

- لا تضع القرص الأكبر فوق القرص الأصغر.
- حرك قرص واحد في كل مرة من وتد إلى وتد.
- الوتد الأوسط يمكن أن يستخدم كمخزن متوسط.
- المطلوب: نفذ اللعبة لتحقق الهدف بأقل عدد ممكن من الخطوات.

فيما يلي جميع حالات الانتقال المحتملة في لعبة أبراج هانوي:

مثال توضيحي
State Space Approach
(منهجية فضاء الحالة)



Towers of Hanoi puzzle

وأقصر الحلول Shortest Solution هو متسلسلة من الحالات الانتقالية ابتداء من الحالة العليا في الشجرة (الحالة الابتدائية) لأسفل الشجرة وصولا الجزء الأدنى يسارا.

- من أهم منهجيات حل المسائل في الذكاء الصنعي تحويل المسألة الى مسألة البحث في فضاء الحالة والتي سنسميها لاحقا (البحث في بيان)

Search Algorithm

- Is the problem solver guaranteed to find a solution?
  - هل حل المشكلة يضمن إيجاد حل ؟
- Will the problem solver always terminate or can it become caught in an infinite loop?
  - هل سينتهي حل المشكلة دائمًا أم يمكن أن يدور في حلقة لا نهائية؟
- When a solution is found, is it guaranteed to be optimal?
  - عندما يتم العثور على حل ، هل هو مضمون أن يكون الأمثل؟
- What is the complexity of the search process in terms of time usage? Memory usage?
  - ما مدى تعقيد عملية البحث من حيث استخدام الوقت؟ استخدام الذاكرة؟
- How can the interpreter most effectively reduce search complexity?
  - كيف يمكن للمفسر أن يقلل من تعقيد البحث بأكبر قدر من الفعالية؟
- How can an interpreter be designed to most effectively utilize a representation language?
  - كيف يمكن تصميم مفسر يمكن من استخدام لغة التمثيل بأكبر قدر من الفعالية؟

State Space Search

- Theory of the state space search is a tool for answering these questions.
- نظرية البحث في فضاء الحالة هي أداة للإجابة على هذه الأسئلة.
- A problem will be represented as a state space graph
- سيتم تمثيل المشكلة كبيان فضاء الحالة
- Using graph theory can analyze the structure and complexity of both the problem and the search procedures that we employ to solve it
- يمكن أن يؤدي استخدام نظرية البيان إلى تحليل بنية وتعقيد كل من المشكلة وإجراءات البحث التي نستخدمها لحلها
- Graph consists of a set of nodes and a set of arcs or links connecting pairs of nodes
- يتكون البيان من مجموعة من العقد ومجموعة من الأقواس أو الروابط التي تربط أزواج العقد

State Space and Graph Theory

- In state space model of problem solving, nodes of the graph represent as discrete *states* in a problem-solving process such as the results of logical inferences or the different configurations of a game board
  - في نموذج فضاء الحالة لحل المشكلة، تمثل عُقد البيان حالات منفصلة في عملية حل المشكلة مثل نتائج الاستدلالات المنطقية أو التشكيلات المختلفة للوحة اللعبة
- arcs of the graph represent transitions between states
  - أقواس البيان تمثل انتقالات بين الحالات
- transitions correspond to logical inferences or legal moves of a game
  - تمثل الانتقالات الاستدلالات المنطقية أو التحركات القانونية (المسموحة) للعبة
- In expert systems, states describe knowledge of a problem instance at some stage of a reasoning process
  - في الأنظمة الخبيرة ، تصف الحالات المعرفة في جزء من المشكلة عند مرحلة ما من عملية التفكير
- the act of applying a rule is represented as an arc between states
  - يتم تمثيل فعل تطبيق القاعدة كقوس بين الحالات

Why state space representation?

- Any problem can be represented in the same form, formally
- يمكن تمثيل أي مشكلة بنفس الشكل بشكل قياسي
- Any problem can be solved by finding the target state via state transition, using the available operations → search problem !
- يمكن حل أي مشكلة من خلال إيجاد الحالة المستهدفة عبر انتقال الحالة ، باستخدام العمليات المتاحة ← مشكلة البحث!
- The results （i.e. the state transition process）can be reused as knowledge.
- يمكن إعادة استخدام النتائج (أي عملية انتقال الحالة) كمعرفة
- Problem: the computation cost can be large !
- المشكلة: تكلفة الحساب يمكن أن تكون كبيرة!

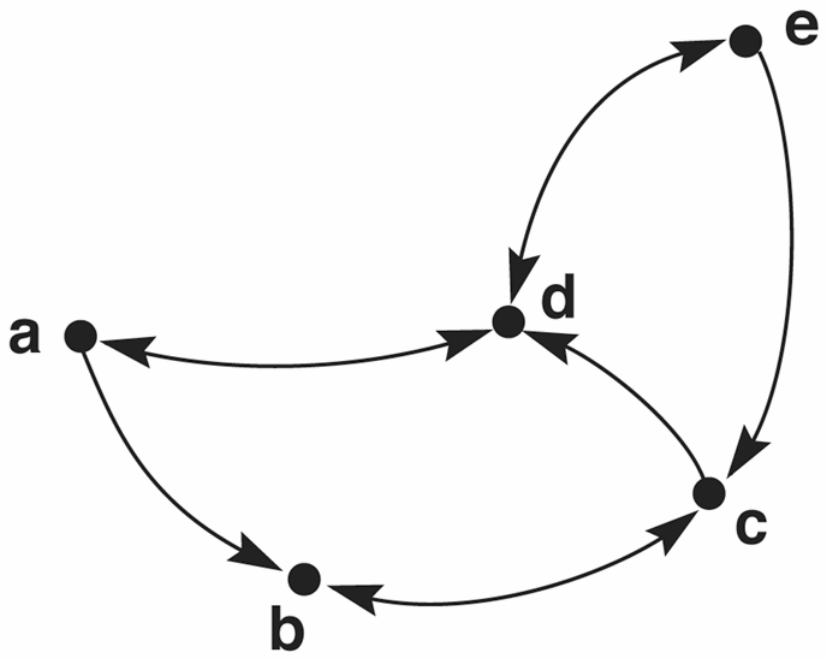
Graph Theory

- **Graph:** a set of nodes and arcs that connect them
  - البيان: مجموعة من العقد والأقواس التي تربطها ببعضها البعض
- **labeled graph:** one or more descriptors(labels) attached to each node
  - البيان المعنون: واحد أو أكثر من الواصفات (التسميات) المرفقة بكل عقدة
- **directed graph:** if arcs have an associated directionality
  - البيان الموجه: إذا كان للأقواس اتجاه مرتبط

Graph Theory

- **Path:** a sequence of nodes through successive arcs
  - المسار: سلسلة من العقد عبر أقواس متتالية
- **rooted graph:** there is a path from the root to all nodes within the graph
  - البيان المتجذر: يوجد مسار من الجذر إلى جميع العقد داخل البيان
- **Tree:** two nodes have at most one path between them
  - شجرة: عقدتان لهما مسار واحد على الأكثر بينهما

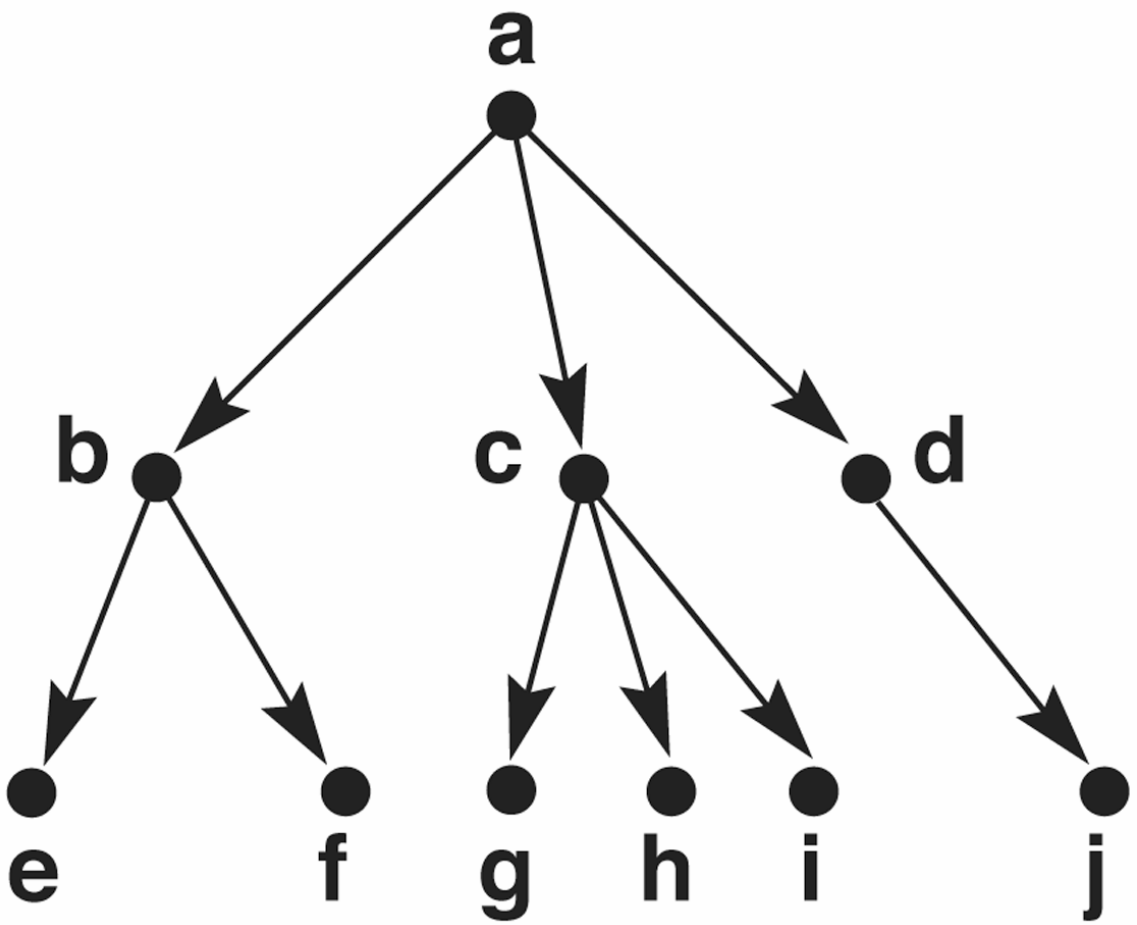
A labeled directed graph



Nodes = **{a,b,c,d,e}**

Arcs = **{(a,b),(a,d),(b,c),(c,b),(c,d),(d,a),(d,e),(e,c),(e,d)}**

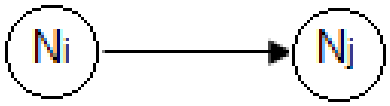
A rooted tree, exemplifying family relationships



Definition Graph

- مجموعة منتهية من العقد Nodes $N_1, N_2, N_3, \ldots\ldots N_n$
- مجموعة من الأحرف Edges أو الأقواس Arcs التي تصل بين العقد.
- ترتب الأقواس لتعبر عن الاتصال الموجه directed بين أزواج من العقد مثل $arc(N_2, N_3)$ لتعبر عن اتصال العقدة N_2 إلى العقدة N_3 و العكس غير صحيح.
- فإذا أردنا أن نعبر عن الوصل باتجاهين توجب علينا أن نكتب $arc(N_3 , N_2)$ و نقول عندها عن الوصل أنه غير موجه undirected و نستخدم المستقيم غير الموجه للتعبير عن الاتصال ثنائي الاتجاه أو السهم المؤشر من الجهتين للتعبير عن ذلك.

العقدة i عقدة أب (Parent Node) والعقدة j عقدة ابن (Child Node)،

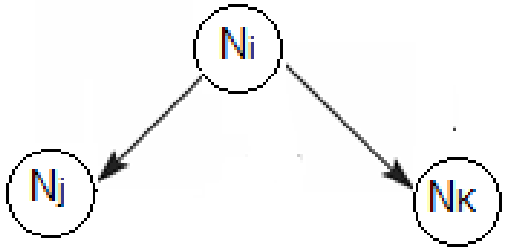


إذا كان اتجاه السهم من N_i إلى N_j (أي N_i أب للعقدة N_j و N_j ابن للعقدة N_i).

والعقدة N_i تشكل العقدة السلف ancestor لجميع العقد التي تليها. فإذا كان لدينا عقدة أخرى N_k

فإننا نقول عن N_k أنها حفيد للعقدة Ni. وتشكل هي و العقد التي تليها ما يطلق عليه بالخلف descendant.

وإذا كان لدينا عقدة أخرى N_k كما يلي



فإننا نقول عن N_j و N_k أنهما عقد أخوة (Sibling).

- **بعد تعريف فضاء المسألة (تمثيل الحالات ، الأفعال، الحالة الابتدائية، الحالة النهائية) يبدأ البحث!**
- **انطلاقا من الحالة الابتدائية نعاود تطبيق الأفعال الممكنة حتى الوصول الى الحالة النهائية، الا ان فضاء البحث عادة ضخم جدا و بالتالي نحتاج الى منهجيات تقود البحث .**