كلية العلوم

القسم : **الرياضيات**

السنة : **الرابعة**

المادة : ذكاء صنعي

المحاضرة : الثانية /نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2026

17

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

Artificial Intelligence

Chapter 2

Intelligent Agents

Intelligent Agents

Introduction

Agents and Environments

Rationality

Agent Structure

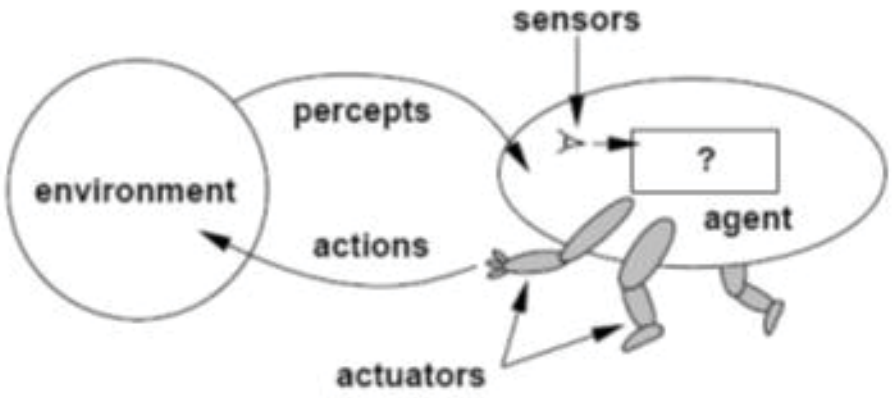
Agent Types

- Simple reflex agent
- Model-based reflex agent
- Goal-based agent
- Utility-based agent
- Learning agent

Agents and **environment**

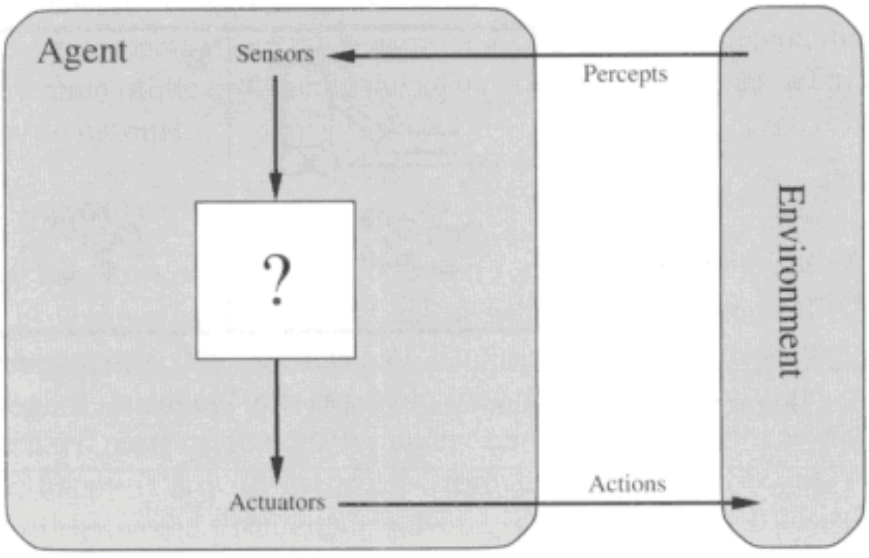
An **AI system** can be defined as the study of the **rational agent** and **its environment**.

The agents **sense** the environment through **sensors** and **act** on their environment through **actuators**.



يستشعر الوكلاء البيئة من خلال أجهزة الاستشعار ويتصرفون في بيئتهم من خلال المحركات.

- What is an agent ?
  - An **agent** is anything that **perceiving** its environment through **sensors** and **acting** upon that environment through **actuators**



عامل هو أي شيء يدرك بيئته من خلال أجهزة الاستشعار ويتصرف على تلك البيئة من خلال المحركات

Simple Terms

Percept

المدخلات الإدراكية للوكيل في أي لحظة معينة

- Agent's perceptual inputs at any given instant

Percept sequence

التاريخ الكامل لكل ما أدركه الوكيل على الإطلاق

- Complete history of everything that the agent has ever perceived.

Sensor:

المستشعر هو جهاز يكتشف التغيير في البيئة ويرسل المعلومات إلى أجهزة إلكترونية أخرى.
يراقب الوكيل بيئته من خلال أجهزة الاستشعار.

- Sensor is a device which detects the change in the environment and sends the information to other electronic devices. An agent observes its environment through sensors.

Actuators:

المحركات هي الأجهزة التي تؤثر على البيئة.
يمكن أن تكون المحركات أرجلًا أو عجلات أو أذرعًا أو أصابعًا أو أجنحة أو زعانف أو شاشة عرض

- Actuators are the devices which affect the environment. Actuators can be legs, wheels, arms, fingers, wings, fins, and display screen

Example of Agents

Human Agent

Sensors: Eyes, ears, nose, skin,..
Actuators: Hands, legs, mouth,..

عيون، آذان، جلد، براعم تذوق، إلخ. لأجهزة الاستشعار
أيدي، أصابع، أرجل، فم، إلخ. لأجهزة التشغيل

Robotic Agent

Sensors: Cameras, infrared ,...
Actuators: Various motors, wheels,..

كاميرا، الأشعة تحت الحمراء، مصد (للصدمات)، إلخ.
لأجهزة الاستشعار

مقابض، عجلات، أضواء، مكبرات صوت، إلخ. لأجهزة التشغيل

A software Agent

Sensors: Keystrokes, file contents, received network ...packages
Actuators: ,displaying on the screen, writing files ...,sending network packets

غالبًا ما تعمل بمحركات

Agent function & program

An agent's **behavior** is described by the agent function

يتم وصف سلوك العميل بواسطة دالة العميل

AGENT FUNCTION that maps any given percept sequence to an action.

التي تربط أي تسلسل إدراكي معين بالاجراء

F now maps *percept sequences* to actions

$F: P^* \rightarrow A$

where p0 p1 p2 …pk is the sequence of percepts observed to date

هو تسلسل الإدراكات التي لوحظت حتى الآن

Agent program is a concrete implementation, running within some physical system.

برنامج العميل هو تنفيذ ملموس، يعمل داخل بعض الأنظمة المادية

الوكيل العقلاني:

هو عبارة عن وحدة تقوم باستقبال المعلومات من الحساسات لديها ، والتصرف على أساس تلك المعلومات المستقبلة.

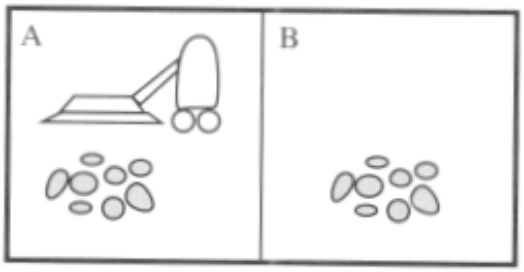
وبشكل تجريدي فإن العميل(الوكيل) هو عبارة عن تابع ينطلق من المعلومات التي تلقاها في الماضي والحاضر ومستقر (خرج) هذا التابع هو التصرف الناتج عن تلقي المعلومات.

بمعنى آخر:

الوكيل : يعمل ضمن بيئة ما محيطة به، مهمته التعرف بشكل جيد على هذه البيئة

Vacuum-cleaner world

Percepts: location and contents
Clean or Dirty? where it is in? , e.g., [A,Dirty]
Actions: *Left*, *Right*, *Suck*, *NoOp*
Agent's function → *look-up table*



Percept sequence	Action
[A, Clean]	Right
[A, Dirty]	Suck
[B, Clean]	Left
[B, Dirty]	Suck
[A, Clean], [A, Clean]	Right
[A, Clean], [A, Dirty]	Suck
⋮	⋮
[A, Clean], [A, Clean], [A, Clean]	Right
[A, Clean], [A, Clean], [A, Dirty]	Suck
⋮	⋮

Function Reflex-Vacuum-Agent([*location,status*]) return an action

If *status = Dirty* **then return** *Suck*
else if *location = A* **then return** *Right*
else if *location = B* **then return** *left*

Vacuum Cleaner Agent

Table

Percept sequence	Action
[A, Clean]	Right
[A, Dirty]	Suck
[B, Clean]	Left
[B, Dirty]	Suck
[A, Clean], [A, Clean]	Right
[A, Clean], [A, Dirty]	Suck
⋮	⋮

Function

```
Input: location, status
Output: action
1: if status = Dirty then
2:     return Suck
3: end if
4: if location = A then
5:     return Right
6: end if
7: if location = B then
8:     return Left
9: end if
```

- What is the right function?
- Can it be implemented in a small agent program?

Agents and Their Environment

A *rational agent* does “the right thing”

An *agent function* maps percept sequences to actions

An *agent program* is a concrete implementation of the respective function

Problems:

What is “ the right thing”

How do you measure the “best outcome”

Rationality

A **rational agent** chooses whichever action **maximizes the expected** value of the **performance measure** given the percept sequence to date

يختار الوكيل العقلاني الإجراء الذي يزيد القيمة المتوقعة لمقياس الأداء مع الأخذ في الاعتبار تسلسل الإدراك حتى الآن

- Concept of Rationality — مفهوم العقلانية
  - Rational ≠ omniscient — ليس العلم بكل شيء
  - Rational ≠ clairvoyant — قد لا تكون نتائج العمل كما هو متوقع
    - Action outcomes may not be as expected
  - Rational ≠ successful
  - **Rationality vs Perfection**
    - Rationality maximizes expected performance — لعقلانية مقابل الكمال
    - Perfection maximizes actual performance — العقلانية تُعظم الأداء المتوقع / الكمال يُعظم الأداء الفعلي
  - Rational → exploration, learning, autonomy — استقلالية

Rational agent: Maximizing the Expected Utility

- For each possible percept sequence, a rational agent should select an **action** that is expected to **maximize its performance measure**, given the evidence provided by the percept sequence and whatever built-in knowledge the agent has.

الوكيل العقلاني: تعظيم المنفعة المتوقعة

- بالنسبة لكل تسلسل إدراكي ممكن، يجب على الوكيل العقلاني اختيار إجراء من المتوقع أن يعمل على تعظيم مقياس أدائه، مع الأخذ في الاعتبار الأدلة المقدمة من خلال تسلسل الإدراك وأي معرفة مدمجة يمتلكها الوكيل.

الوكيل العقلاني : هو وكيل تعطي استجابته اكبر قيمة ممكنة لمعيار الاداء اذا اخذ بعين الاعتبار معلوماته السابقة عن البيئة وكذلك معلوماته اللاحقة القادمة من المستشعرات

العوامل التي تحدد عقلانية الوكيل:

(performance measure value) قيمة معيار الاداء

يجب ان نلاحظ الوكيل يقدم مجموعة من ردود الفعل بعد استشعاره للبيئة
وهذه الردود تؤثر في البيئة المحيطة ،ان مقدار تطابق حالة البيئة مع ما يتوقعه الوكيل يحدد فعالية اداء الوكيل .

(environment) معلومات الوكيل السابقة عن البيئة المحيطة

(actuator) ردود فعل الوكيل وتجاوبه مع تغييرات الحادثة في البيئة او بشكل اخر آليات التنفيذ

(sensor) . سلسلة احداث الادراك التي تسجلها ادوات الاستشعار

).

Task environments

To design a rational agent, we must specify the task environment.

لتصميم وكيل عقلاني، يجب علينا تحديد بيئة المهمة.

Specifying the task environment

•العوامل التي تحدد عقلانية الوكيل

PEAS description as fully as possible

Performance

Environment

Actuators

Sensors

PEAS: Specifying an automated taxi driver

***P*erformance measure**:

?–

***E*nvironment**:

?–

***A*ctuators**:

PEAS: Specifying an automated taxi driver

Performance measure:

آمنة، سريعة، قانونية، مريحة، تعظيم الأرباح

safe, fast, legal, comfortable, maximize profits–

Environment:

الطرق، حركة مرورية أخرى، المشاة، العملاء التوجيه

roads, other traffic, pedestrians, customers–

Actuators:

دواسة الوقود، الفرامل، الإشارة، البوق

steering, accelerator, brake, signal, horn–

Sensors:

Cameras, LIDAR, speedometer, GPS –

PEAS: Internet Shopping

Agent: Internet Shopping

السعر والجودة والملاءمة والكفاءة

Performance measure: price, quality, appropriateness, – efficiency

مواقع الويب الحالية والمستقبلية، والموردون، والشاحنون

Environment: current and future WWW sites, vendors, – shippers

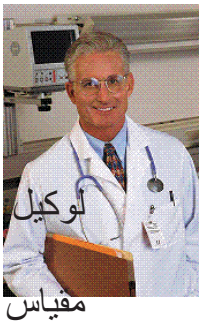
عرض للمستخدم، اتبع عنوان، املأ النموذج

Actuators: display to user, follow URL, fill in form–

النصوص والرسومات والبرامج النصية

Sensors: HTML pages (text, graphics, scripts) –

PEAS: Medical diagnosis



Agent: Medical diagnosis

لوكيل: التشخيص الطبي

Performance measure: Healthy patient, minimize costs, avoid lawsuits, . . .

مقياس الأداء: المريض السليم، تقليل التكاليف، تجنب الدعاوى القضائية، . .

Environment: patient, hospital, staff, . . .

البيئة: المريض، المستشفى، الموظفون، . .

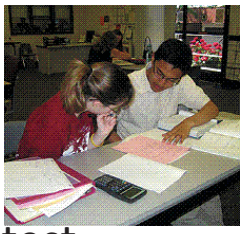
Actuators: questions, tests, diagnoses, treatments, referrals, . .

المشغلات: الأسئلة، الاختبارات، التشخيصات، العلاجات، الإحالات، .

Sensors: keyboard (symptoms, test results, answers), . . .

المستشعرات: لوحة المفاتيح (الأعراض، نتائج الاختبارات، الإجابات)، . . .

PEAS: Interactive English tutor



Agent: Interactive English tutor

لوكيل: مدرس تفاعلي للغة الإنجليزية

Performance measure: Maximize student's score on test

مقياس الأداء: زيادة درجة الطالب في الاختبار إلى أقصى حد

Environment: Set of students

البيئة: مجموعة من الطلاب

Actuators: Screen display (exercises, suggestions, corrections)

المحركات: شاشة عرض (تمارين، اقتراحات، تصحيحات)

Sensors: Keyboard

الاستشعار: لوحة المفاتيح

PROPERTIES OF ENVIRONMENT
خواص البيئة المحيطة

An **environment** is everything in the world which surrounds the agent, but it is not a part of an agent itself.

Fully observable vs **Partially Observable**

Static vs **Dynamic**

Discrete vs **Continuous**

Deterministic vs **Stochastic**

Single-agent vs **Multi-agent**

Episodic vs **sequential**

Fully observable vs Partially Observable: الوضوح / الضبابية

هل يمكن للوكيل ملاحظة جميع الجوانب ذات الصلة بالبيئة باستخدام أجهزته الاستشعارية؟

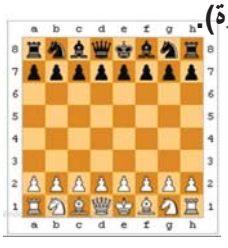
If an agent sensor can **sense** or access the **complete state** of an environment at each point of time then it is a **fully observable** environment, else it is partially observable.
إذا كان بإمكان مستشعر الوكيل استشعار الحالة الكاملة للبيئة أو الوصول إليها في كل نقطة زمنية، فهذه بيئة قابلة للملاحظة بالكامل، وإلا فهي قابلة للملاحظة جزئيًا.

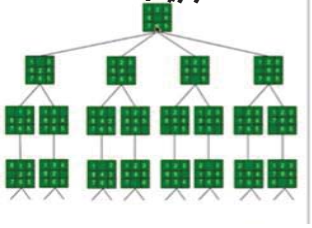
An agent with **no sensors** in all environments then such an environment is called as **unobservable**.

الشطرنج – يمكن ملاحظة اللوحة بالكامل، وكذلك تحركات الخصم
Example: chess – the board is fully observable, as are opponent's moves.

ما هو موجود حول المنحنى التالي غير قابل للملاحظة وبالتالي يمكن ملاحظته جزئيًا.
Driving – what is around the next bend is **not observable** and hence **partially** observable.

ضبابية: اذا كانت المعلومات المتوفرة جزئية (قيادة السيارة).





الوضوح / الضبابية Fully observable vs Partially Observable:

يمكن ملاحظتها بالكامل مقابل يمكن ملاحظتها جزئيًة(ضبابية):
يمكن ملاحظتها بالكامل إذا أتاحت أجهزة استشعار العميل الوصول إلى الحالة الكاملة للبيئة

أي الوكيل يملك تصور واضح عن بيئته مثل(حل الكلمات المتقاطعة)

قد تكون البيئة قابلة للملاحظة جزئيًا بسبب أجهزة الاستشعار الصاخبة وغير الدقيقة أو لأن أجزاء من الحالة مفقودة ببساطة من بيانات المستشعر

اذا كانت المعلومات المتوفرة جزئية
على سبيل المثال:
- لا يمكن **للمكنسة** الذي يحتوي على مستشعر أوساخ محلي فقط أن يحدد ما إذا كان هناك أوساخ في مربعات أخرى
- ولا يمكن **لسيارة أجرة آلية** أن ترى ما يفكر فيه السائقون الآخرون. إذا لم يكن لدى العميل أي أجهزة استشعار على الإطلاق
- لا يمكن ان تستشعر ما هو موجود باليمين قبل دخولها الشارع اليمين
- **النظام الطبي**: يرى المريض من خلال الاسئلة التي يوجهها للمريض فقط او من خلال صور الأشعة. لكنه لا يرى حالة المريض كاملة او العوامل التي تؤثر فيه

التحديد(الحتمية) / الاحتمالية Deterministic vs Stochastic /strategic

• If an agent's current state and selected action can completely determine the **next state** of the environment, then such environment is called a deterministic environment.

إذا كانت الحالة الحالية للوكيل والإجراء المختار يمكن أن يحددا تمامًا الحالة التالية للبيئة، فإن هذه البيئة تسمى بيئة حتمية.

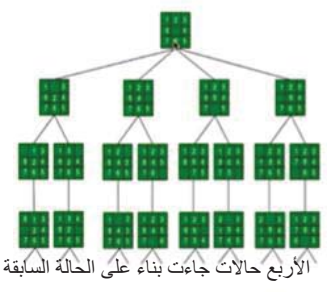
A **stochastic** environment is **random** in nature and cannot be determined completely by an agent.
البيئة الاحتمالية عشوائية بطبيعتها ولا يمكن تحديدها تمامًا بواسطة وكيل.

• In a deterministic, fully observable environment, agent does not need to worry about **uncertainty**.
غير مؤكدة
في بيئة حتمية وقابلة للملاحظة بالكامل، لا يحتاج الوكيل إلى القلق بشأن عدم اليقين أو الشك

البيئة حتمية باستثناء تصرفات الوكلاء الآخرين(وضع خطة يوجد خصم.)

strategic : environment is deterministic except for the actions of other agents.

vs.


الأربع حالات جاءت بناء على الحالة السابقة وهكذا

الحتمية مقابل العشوائية(احتمالية):

• إذا كانت الحالة الحالية للوكيل والإجراء المختار يمكن أن يحددا تمامًا الحالة التالية للبيئة، فإن هذه البيئة تسمى بيئة حتمية.

البيئة الاحتمالية عشوائية بطبيعتها ولا يمكن تحديدها تمامًا بواسطة وكيل.

محددة

اذا كنا نعرف الحال الذي تؤول اليه البيئة next state انطلاقا current state

ومن ردة فعل الوكيل حل الكلمات المتقاطعة

احتمالية

اذا لم نكن نعرف الحال الذي تؤول اليه انطلاقا من الوضع الراهن

النرد ، قيادة السيارة(فجأة يظهر شخص يعبر الطريق)

Episodic vs Sequential

متسلسلة/ متقطعة

• In an **episodic** environment, there is a series of one-shot actions, and only the **current percept** is required for the action.

في بيئة متقطعة، توجد سلسلة من الإجراءات التي يتم تنفيذها لمرة واحدة، ولا يتطلب الإجراء سوى الإدراك الحالي.

مثال: مهام التصنيف

Examples: classification tasks

اذا لم تكن ردود الفعل تعتمد على ردود الفعل السابقة

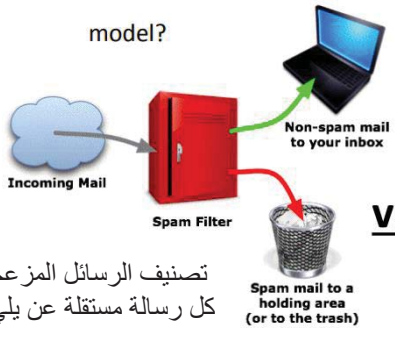
• However, in **Sequential** environment, an agent requires **memory** of past actions to determine the next best actions.

في البيئة المتسلسلة، يحتاج العميل إلى ذاكرة الإجراءات السابقة لتحديد أفضل الإجراءات التالية.

the current decision could affect all future decisions

• **Examples: chess and taxi driver**

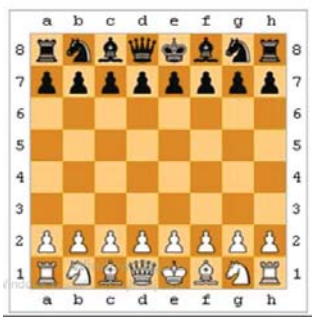
في البيئات المتسلسلة، يمكن أن يؤثر القرار الحالي على جميع القرارات المستقبلية



فحص المعلبات اليا

تصنيف الرسائل المزعجة
كل رسالة مستقلة عن يلي بعدها او يلي قبلها

VS.



اذا كانت ردود فعل الوكيل فيها تعتمد على ردود الفعل السابقة

Episodic vs Sequential

متسلسلة/متقطعة

في بيئة المهام غير المتتالية، تنقسم تجربة العميل إلى حلقات مستقلة. في كل حلقة، يتلقى العميل إدراكًا ثم يقوم بعمل واحد.
والأمر الحاسم هو أن الحلقة التالية لا تعتمد على الإجراءات المتخذة في الحلقات السابقة.

على سبيل المثال، يقوم العميل الذي يتعين عليه اكتشاف الأجزاء المعيبة على خط التجميع بتأسيس كل قرار على الجزء الحالي، بغض النظر عن القرارات السابقة؛ وعلاوة على ذلك، لا يؤثر القرار الحالي على ما إذا كان الجزء التالي معيبًا أم لا.

من ناحية أخرى، في البيئات المتسلسلة، يمكن أن يؤثر القرار الحالي على جميع القرارات المستقبلية.

الشطرنج وقيادة سيارة الأجرة متسلسلة

البيئات المتقطعة أبسط بكثير من **البيئات المتسلسلة** لأن العميل لا يحتاج إلى التفكير مقدمًا.

في بيئة متقطعة، توجد سلسلة من الإجراءات التي تتم لمرة واحدة، ولا يتطلب الإجراء سوى الإدراك الحالي.أمثلة: مهام التصنيف

في البيئة المتسلسلة، يحتاج العميل إلى ذاكرة الإجراءات السابقة لتحديد أفضل الإجراءات التالية

Static vs Dynamic

بيئة ساكنة / ديناميكية

هل تتغير البيئة أثناء تفكير العميل؟

إذا كانت البيئة قابلة للتغيير أثناء تفكير الوكيل، تُسمى هذه البيئة بيئة ديناميكية، وإلا تُسمى بيئة ثابتة..

• If the environment **can change itself** while an agent is deliberating then such environment is called **a dynamic** environment else it is called a static environment.

تبقى البيئات الثابتة ثابتة أثناء عملية اتخاذ القرار لدى العميل.

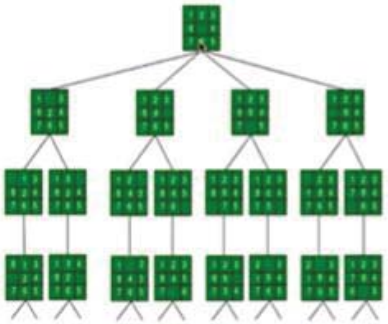
Static environments remain unchanged during the agent's decision-making process.
Example: Crossword puzzles

Dynamic environments evolve over time, requiring the agent to adapt.
Example: Traffic systems, where the agent must respond to changing traffic conditions.

تتطور البيئات الديناميكية بمرور الوقت، مما يتطلب من العميل التكيف.
مثال: أنظمة المرور، حيث يجب على العميل الاستجابة لظروف المرور المتغيرة.

اذا كانت البيئة تتغير اثناء اتخاذ القرار

اذا لم تكن البيئة تتغير اثناء اتخاذ القرار

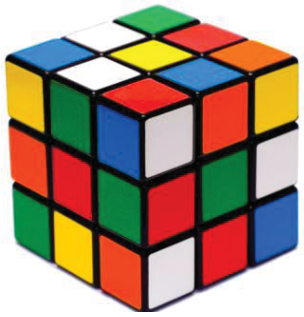


The environment is semi-dynamic if the environment itself does **not change** with the passage of time but the agent's **performance score does**

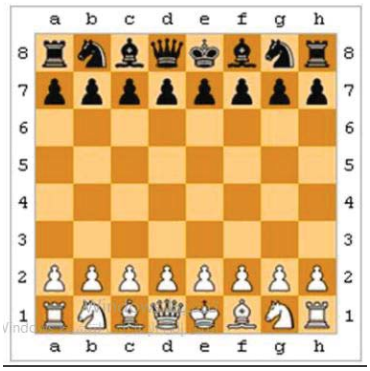
تكون البيئة شبه ديناميكية إذا لم تتغير البيئة نفسها بمرور الوقت ولكن درجة أداء العميل تتغير

من الواضح أن **قيادة سيارة الأجرة** ديناميكية(البيئة المحيطة بالسيارة تتغير الاشخاص وعدد السيارات حولها تتغير من طريق لاخر

الشطرنج، عندما يتم لعبه بالساعة، يكون شبه ديناميكي.الأداء يتأثر بالوقت كلما العبت اسرع وحصلت على نقاط اكثر واربحت.



vs.



Discrete vs Continuous

متصل / منفصل

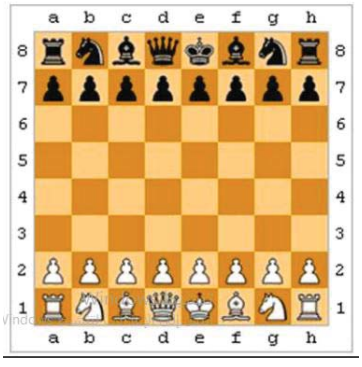
كيف يمكننا نمذجة البيئة؟

- If in an environment there are a finite number of precepts and **actions** that can be performed within it, then such an environment is called a **discrete** environment else it is called continuous environment.

إذا كان في بيئة عدد محدود من المدخلات والأفعال التي يمكن القيام بها داخلها، فإن هذه البيئة تسمى بيئة منفصلة وإلا تسمى بيئة مستمرة.

- A **chess** game comes under **discrete environment** as there is a **finite** number of moves that can be performed.

- **A self-driving** car is an example of a **continuous** environment.



Single-agent vs Multi-agent بيئة احادية الوكلاء / متعددة الوكلاء

- If only one agent is involved in an environment, and operating by itself then such an environment is called single agent environment.

اذا كان هناك وكيل واحد يؤثر في البيئة برنامج تشخيص طبي

اذا كان هناك اكثر من وكيل

- However, if multiple agents are operating in an environment, then such an environment is called a multi-agent environment.

إذا كان هناك عدة وكلاء يعملون في بيئة ما، فإن هذه البيئة تسمى بيئة متعددة الوكلاء.

Environment Examples

Environment	partially Observable	stochastic / strategic Deterministic	sequential Episodic	dynamic Static	continuous Discrete	Single / multiagent Agents
Chess with a clock						
Chess without a clock						

Fully observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. multiagent

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi

Fully observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. multiagent

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker						

observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. multiagent

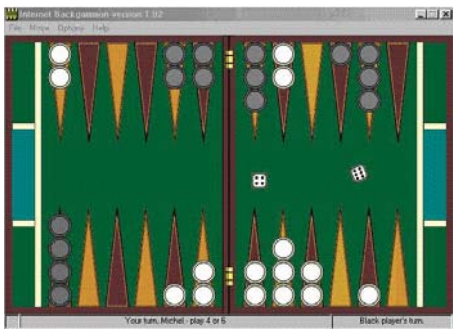
Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi

observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. multiagent

Environment Examples

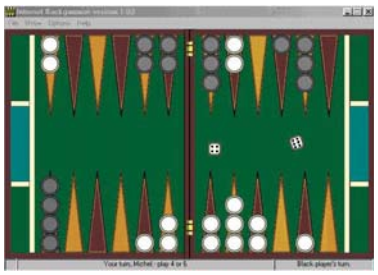
	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon						



Fully observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. multiagent

Environment Examples

Environment	partially Observable	stochastic / strategic Deterministic	sequential Episodic	dynamic Static	continuous Discrete	Single / multiagent Agents
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi



observable vs. partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent

Environment Examples

Environment	partially Observable	stochastic / strategic Deterministic	sequential Episodic	dynamic Static	continuous Discrete	Single / multiagen Agents
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi

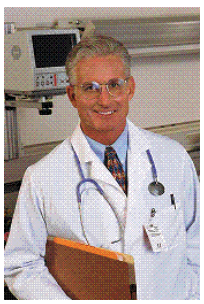
partially observable
Deterministic vs. stochastic / strategic
Episodic vs. sequential
Static vs. dynamic
Discrete vs. continuous
Single agent vs. m

Environment Examples

		partially	stochastic / strategic		sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
	Environment	**Observable**	**Deterministic**		**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
	Chess with a clock	Fully	Strategic		Sequential	Semi	Discrete	Multi
	Chess without a clock	Fully	Strategic		Sequential	Static	Discrete	Multi
	Poker	Partial	Strategic		Sequential	Static	Discrete	Multi
	Backgammon	Fully	Stochastic		Sequential	Static	Discrete	Multi
	Taxi driving	Partial	Stochastic		Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
	Medical diagnosis							

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic		sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**		**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic		Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic		Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic		Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic		Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic		Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic		Episodic	Static	Continuous	Single



Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis						

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Robot part picking						

Environment Examples

	partially	stochastic / strategic	sequential	dynamic	continuous	Single / multiagent
Environment	**Observable**	**Deterministic**	**Episodic**	**Static**	**Discrete**	**Agents**
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Robot part picking	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single

Environment Examples

Environment	partially Observable	stochastic / strategic Deterministic	sequential Episodic	dynamic Static	continuous Discrete	Single / multiagent Agents
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Robot part picking	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Interactive English tutor						

Environment Examples

Environment	partially Observable	stochastic / strategic Deterministic	sequential Episodic	dynamic Static	continuous Discrete	Single / multiagent Agents
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Chess without a clock	Fully	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Poker	Partial	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partial	Stochastic	Episodic	Static	Continuous	Single
Image analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Robot part picking	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Discrete	Single
Interactive English tutor	Partial	Stochastic	Sequential	Dynamic	Discrete	Multi

Examples of task environments

Task Environment	Observable	Deterministic	Episodic	Static	Discrete	Agents
Crossword puzzle	Fully	Deterministic	Sequential	Static	Discrete	Single
Chess with a clock	Fully	Strategic	Sequential	Semi	Discrete	Multi
Poker	Partially	Strategic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Backgammon	Fully	Stochastic	Sequential	Static	Discrete	Multi
Taxi driving	Partially	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Multi
Medical diagnosis	Partially	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Single
Image-analysis	Fully	Deterministic	Episodic	Semi	Continuous	Single
Part-picking robot	Partially	Stochastic	Episodic	Dynamic	Continuous	Single
Refinery controller	Partially	Stochastic	Sequential	Dynamic	Continuous	Single
Interactive English tutor	Partially	Stochastic	Sequential	Dynamic	Discrete	Multi

Figure 2.6 Examples of task environments and their characteristics.

المفتاح في تصميم تطبيقات الذكاء الاصطناعي الناجحة هو فهم كيف يمكننا جعل البيئات أبسط للعميل!

البيئات غير المعروفة، والقابلة للملاحظة جزئيًا، وغير الحتمية، والعشوائية، والديناميكية، والمستمرة، ومتعددة العملاء هي الأكثر تحديًا: Environments that are unknown, partially observable, nondeterministic, stochastic, dynamic, continuous, and multi-agent are the most challenging.

The Structure of Intelligent Agents

Agent = architecture + program

العميل = الهندسة المعمارية + البرنامج

Architecture = some sort of computing device (sensors +actuators)

الهندسة المعمارية = نوع من أجهزة الحوسبة (أجهزة استشعار + مشغلات)

Program = some function that implements the agent mapping

(الوكيل) البرنامج = بعض الوظائف التي تنفذ خريطة الوكيل

Agent Program = Job of AI

برنامج الوكيل = وظيفة الذكاء الاصطناعي

Agent functions and programs

Agent program:

– Takes the current percept as input from the sensors
Return an action to the actuators

يأخذ الإدراك الحالي كدخل من المستشعر ويقوم بإعادة إجراء إلى المحركات

While **agent function** takes the whole percept history, agent program takes just the current percept as input which the only available input from the environment

يأخذ التابع تاريخ الإدراك بالكامل، ويأخذ برنامج العميل الإدراك الحالي فقط كدخل، وهو الدخل الوحيد المتاح من البيئة

– The agent need to remember the whole percept sequence, if it needs it

يحتاج العميل إلى تذكر تسلسل الإدراك بأكمله، إذا كان يحتاج إليه

Types of Agents differ in their capabilities

يختلف الوكلاء في قدراتهم

Exploration: explorative actions for information gathering

- الاستكشاف: إجراءات استكشافية لجمع المعلومات-

Learning: as much as possible from the percepts

التعلم: قدر الإمكان من المدركات

Autonomy: improve partial or incorrect knowledge

- الاستقلال: تحسين المعرفة الجزئية أو غير الصحيحة

5 Types

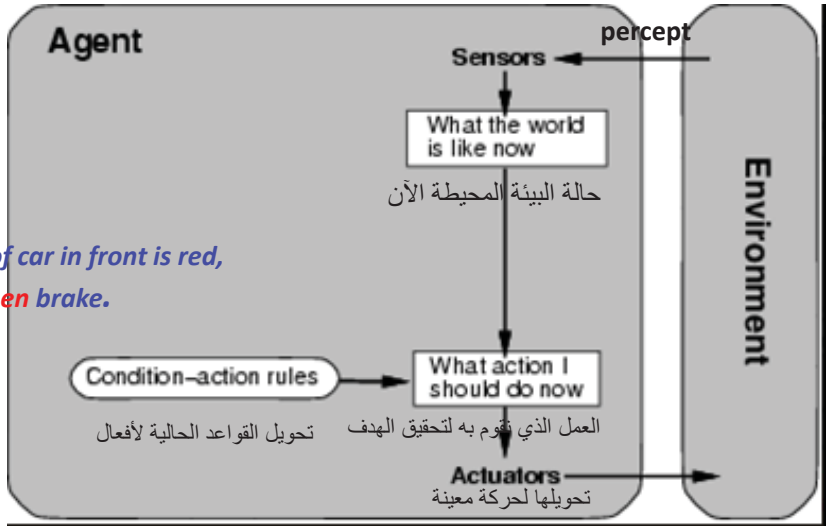
يمكن تقسيم العملاء إلى خمس فئات بناءً على درجة ذكائهم وقدراتهم الملموسة:

- Simple Reflex Agent
- Model-based Reflex Agent
- Goal-based Agent
- Utility-based Agent
- Learning Agent

Simple Reflex Agents

-They choose actions only based on the current percept.

-They are rational only if a correct decision is made only on the basis of current precept.



Key Features:

limited intelligence ذكاء محدود

No memory of past states لا ذاكرة للحالات الماضية

No model of how the world works لا نموذج لكيفية عمل العالم

Purely reactive behavior سلوك تفاعلي بحت

Function best in fully observable environments يعمل بشكل أفضل في بيئات قابلة للملاحظة بالكامل

الوكلاء ذات المنعكس البسيط Simple Reflex Agents

هو الوكيل الذي يستقبل من البيئة معطيات وذلك عبر حساسات وبناءا على اخر استقبال يحدد الفعل الذي سيقوم به
فهو ليس بحاجة لسجل الأفعال السابقة، يكفيه الحالة الأخيرة المستقبلة ليحدد فعله.
يشترط في هذا الوكيل لكي يقوم بالعمل بشكل صحيح أن تكون البيئة المحيطة به مرئية بشكل كامل.

روبوتات التنظيف بالمكنسة الكهربائية تتنقل بكفاءة في بيئات بسيطة ذات مواقع قليلة وأجهزة استشعار
Vacuum Cleaning Robots للأوساخ، وذلك من خلال الاستجابة لوجود الأوساخ.
كانت تحتاج لتحديد أي مربع ستنظف على حالة المربع الحالي إذا كان متسخ تقوم بتنيفه وإلا ستقوم بالانتقال
للمربع الأخر

Thermostats: **منظمات الحرارة:** تعمل منظمات حرارة أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء كعوامل رد فعل بسيطة من
خلال استشعار درجة الحرارة وتفعيل التدفئة أو التبريد بناءً على عتبات محددة.

Automatic Doors: **الأبواب الأوتوماتيكية:** تكتشف عوامل رد الفعل في الأبواب الأوتوماتيكية الأشخاص في
الأمام وتفتح، وتبقى مغلقة في حال عدم وجود أحد.

Traffic Light Control:
التحكم في إشارات المرور: في نظام إدارة حركة المرور الأساسي، تُغير إشارات المرور كعوامل رد
فعل، وفقًا لقواعد مثل الفترات الزمنية أو مدخلات المستشعر.

Elevator Control: **تحكم في المصاعد**: تدير عوامل رد الفعل البسيطة في المباني الصغيرة أو المناطق منخفضة
الحركة أنظمة المصاعد من خلال الاستجابة لضغطات الأزرار ومدخلات المستشعر.

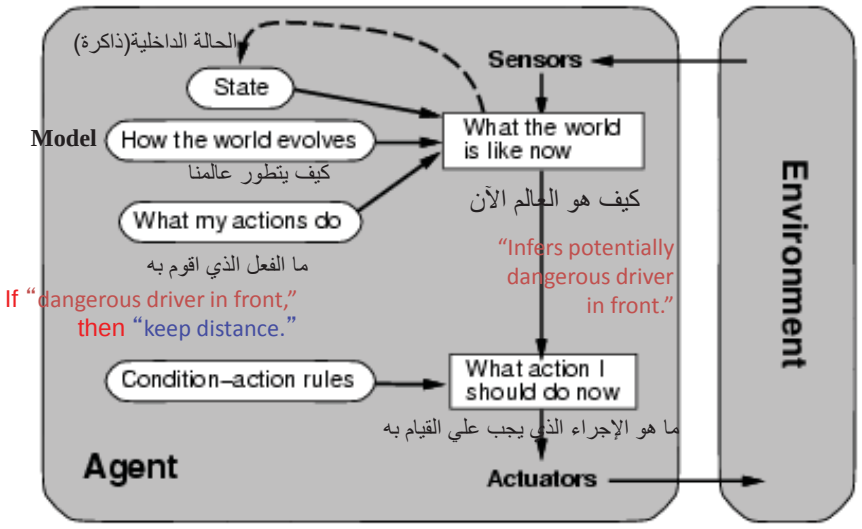
Model Based Reflex Agents

The agent is with memory

Store previously-observed information تخزين المعلومات التي تمت ملاحظتها مسبقًا

Can reason about unobserved aspects of current state يمكن التفكير في الجوانب غير الملحوظة للأحداث الحالية

can work in a **partially observable environment**



النموذج: هو المعرفة حول "كيف تحدث الأشياء في العالم"، لذلك يُطلق عليه وكيل قائم على النموذج.

-**Model:** It is knowledge about "**how things happen in the world**,"

الحالة الداخلية: هو تمثيل للحالة الحالية بناءً على تاريخ الإدراك.

- **Internal State:** It is a representation of the **current state** based on **percept history**.

Model Based Reflex Agents

الوكيل القائم على النموذج:

هو الوكيل الذي يملك **ذاكرة** لحفظ المعلومات التي يستقبلها من البيئة، وذلك بسبب البيئة الجزئية المحيطة به. لذلك بعد استقبال المعطيات عبر حساساته يقوم بتحديث الذاكرة لديه بالمعطيات الجديدة ثم يحدد ماذا سيفعل بعد التحديث الأخير وبعدها يحدد ما هو الفعل المتاح والقيام به، ثم يختار الفعل المناسب وينفذه.

الطريقة الأكثر فعالية للتعامل مع بيئة قابلية الملاحظة الجزئية(ضبابية) . **partial observability**

وهذا يعني أن العميل يجب أن يحافظ على نوع من الحالة الداخلية **internal state** التي تعتمد على تاريخ الإدراك **percept history** وبالتالي تعكس على الأقل بعض الجوانب غير الملحوظة للحالة الحالية.

بالنسبة لمشكلة الكبح، فإن الحالة الداخلية **internal state** وجود كاميرا، مما يسمح للعميل باكتشاف متى يتم تشغيل أو إطفاء ضوءين أحمرين على حافة السيارة في وقت واحد.

بالنسبة لمهام القيادة الأخرى مثل تغيير المسارات، يحتاج العميل إلى تتبع مكان السيارات الأخرى إذا لم يتمكن من رؤيتها جميعًا في وقت واحد.

يتطلب تحديث معلومات الحالة الداخلية في برنامج العميل:

o How the world evolves

أولاً، نحتاج إلى بعض المعلومات حول كيفية تطور العالم المحيط بشكل مستقل عن الوكيل

- على سبيل المثال، أن السيارة المتجاوزة ستكون عمومًا أقرب خلفها مما كانت عليه قبل لحظة.

o How the agent's action affects the world.

ثانيًا، نحتاج إلى بعض المعلومات حول كيفية تأثير أفعال العميل على العالم المحيط

على سبيل المثال، عندما يدير العميل عجلة القيادة في اتجاه عقارب الساعة، تدور السيارة إلى اليمين

أو أنه بعد القيادة لمدة خمس دقائق باتجاه الشمال على الطريق السريع، يكون الشخص عادةً على بعد حوالي خمسة أميال شمال المكان الذي كان فيه قبل خمس دقائق.

تسمى هذه المعرفة حول "كيفية عمل العالم" **"how the world works"** - سواء تم تنفيذها في دوائر منطقية بسيطة أو في نظريات علمية كاملة - **نموذجًا للعالم** **model of the world.** .

model-based agent.

يُطلق على العميل الذي يستخدم مثل هذا النموذج اسم العميل القائم على النموذج.

الروبوتات: **Robotics**

غالبًا ما تستخدم الروبوتات عوامل رد فعل مبنية على النماذج للتنقل عبر بيئات ديناميكية، وتجنب العوائق، والوصول إلى وجهات محددة. ومن خلال التنبؤ بنتائج تحركاتها، يمكن للروبوتات تخطيط مسارات فعالة.

الذكاء الاصطناعي في الألعاب: **Gaming AI**

في ألعاب الفيديو، قد يستخدم خصوم الذكاء الاصطناعي عوامل رد فعل مبنية على النماذج لتوقع تصرفات اللاعب والاستجابة لها استراتيجيًا.

المركبات ذاتية القيادة: **Self-driving cars**

تعتمد السيارات ذاتية القيادة على عوامل رد فعل مبنية على النماذج لتفسير بيانات المستشعرات واتخاذ قرارات مثل التوجيه والتسارع والكبح بناءً على حالة المرور والطرق المستقبلية المتوقعة.

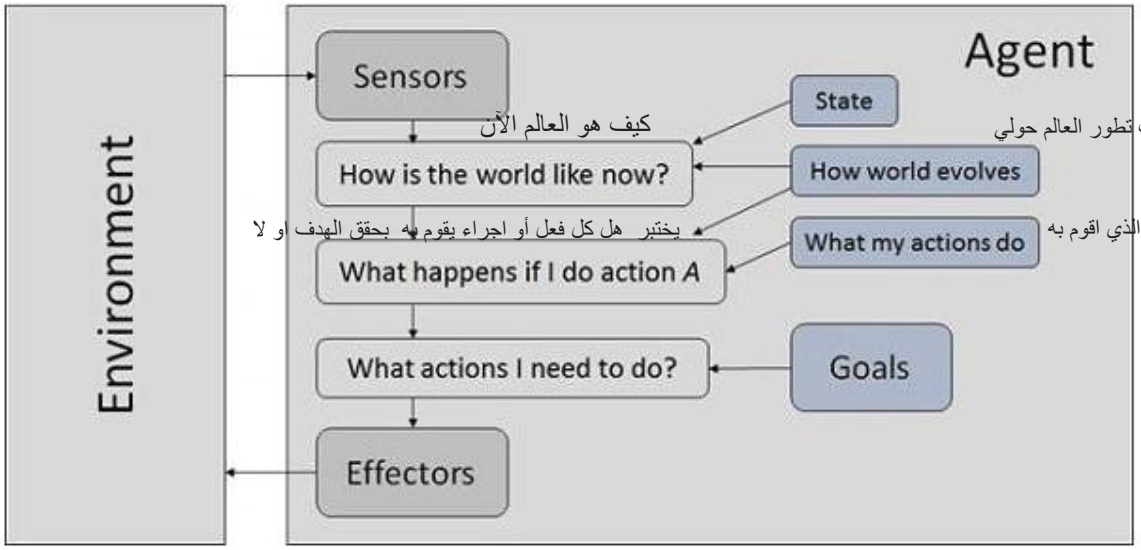
الأتمتة الصناعية: **Industrial Automation**

تستخدم أنظمة التصنيع عوامل رد فعل مبنية على النماذج لتحسين عمليات الإنتاج، والتنبؤ بتعطل الآلات أو نقص المواد.

Goal Based Agents

These agents are designed **to plan**, **execute**, and **adjust** their **actions dynamically** to meet **predefined goals**.

صُممت هذه الوكلاء لتخطيط وتنفيذ وتعديل إجراءاتها ديناميكيًا لتحقيق أهداف مُحددة مسبقًا



الرعاية الصحية: **Healthcare**

يُمكن للوكلاء القائمين على الأهداف المساعدة في التشخيص، وتخطيط العلاج، ومراقبة المرضى. تدعم هذه العوامل المتخصصين في المجال الطبي من خلال توفير رؤى تعتمد على البيانات وأتمتة المهام الروتينية، مما يؤدي في النهاية إلى تحسين نتائج المرضى.

Goal Based Agents

مثال عن **الوكلاء القائمة على الهدف**

المركبات ذاتية القيادة **Self-driving cars**

تُستخدم الوكلاءات القائمة على الأهداف للتنقل في الطرق، وتجنب العوائق، واتباع قواعد المرور. تضمن هذه الوكلاء التشغيل الآمن والفعال، مما يُسهم في تطوير السيارات ذاتية القيادة وأنظمة النقل ذاتية القيادة الأخرى.

على سبيل المثال، عند تقاطع طريق، يمكن لسيارة الأجرة أن تنعطف يسارًا أو يمينًا أو تستمر في السير بشكل مستقيم. ويعتمد القرار الصحيح على المكان الذي تحاول سيارة الأجرة الوصول إليه.

بعبارة أخرى، بالإضافة إلى **وصف الحالة الحالية**، يحتاج العميل إلى **نوع ما من معلومات الهدف** التي تصف المواقف المرغوبة

أيضا التواجد في وجهة الراكب يمكن لبرنامج العميل دمج هذا مع النموذج (نفس المعلومات التي تم استخدامها في العميل المنعكس القائم على النموذج) لاختيار الإجراءات التي تحقق الهدف

في بعض الأحيان يكون اختيار الإجراء القائم على الهدف مباشرًا
- على سبيل المثال، عندما ينتج إرضاء الهدف فورًا عن إجراء واحد.

في بعض الأحيان يكون الأمر أكثر صعوبة
- على سبيل المثال، عندما يتعين على العميل التفكير في تسلسلات طويلة من الالتواءات والانعطافات من أجل إيجاد طريقة لتحقيق الهدف.

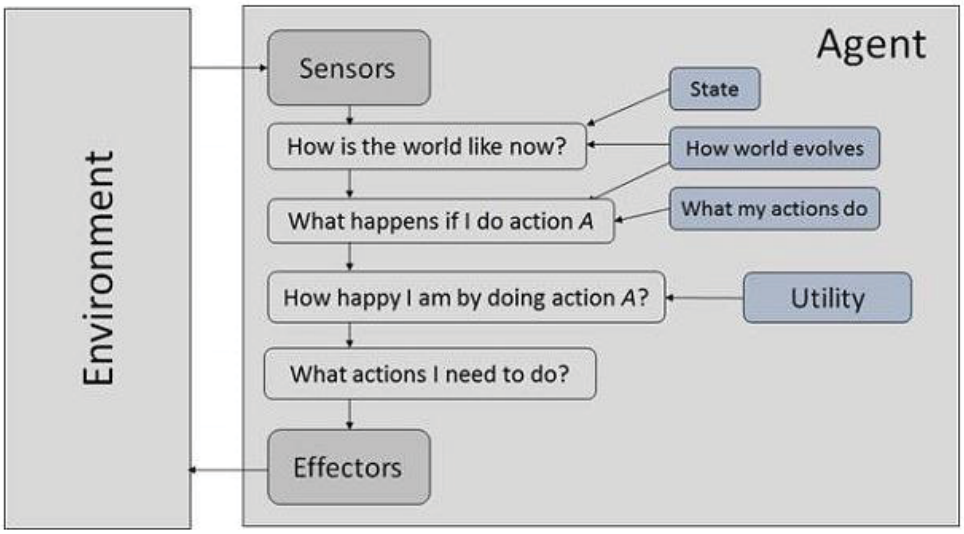
أن اتخاذ القرار من هذا النوع يختلف اختلافًا جوهريًا عن قواعد العمل الشرطية الموصوفة سابقًا، وذلك لأنه يتضمن النظر في المستقبل

Utility Based Agents

These agents are similar to the goal-based agent but provide an extra component of utility measurement (**“Level of Happiness”**) تشبه هذه الوكلاء القائمين على الهدف، إلا أنها توفر عنصرًا إضافيًا لقياس المنفعة ("مستوى السعادة")

Utility-based agent act based **not only goals** but also the best way to achieve the goal

لا يعمل الوكلاء القائمون على المنفعة بناءً على الأهداف فحسب، بل وأيضًا على أفضل طريقة لتحقيق الهدف.



وكيل قائم على النموذج ومستند إلى المنفعة.

يستخدم نموذجًا للعالم المحيط، إلى جانب دالة منفعة تقيس تفضيلاته بين حالات العالم. ثم يختار الإجراء الذي يؤدي إلى أفضل منفعة متوقعة، حيث يتم حساب المنفعة المتوقعة من خلال حساب المتوسط لجميع حالات النتائج المحتملة، مع ترجيح احتمالية النتيجة.

روبوتات: Robotics

تُستخدم الوكلاء الخدمية للتحكم بالروبوتات في مهام متنوعة، مثل البحث والتحكم والتواصل بين البشر والروبوتات.

تساعد هذه الوكلاء الروبوتات على اتخاذ قرارات تُحسّن أدائها وتحقق أهدافها.

التمويل: Finance

تُستخدم الوكلاء الخدمية للمساعدة في التشخيص وتخطيط العلاج والطب الشخصي. فهي تُحسّن فائدتها، وتُقدم توصيات أفضل، وتُحسّن نتائج المرضى.

المركبات ذاتية القيادة: Self-driving cars

تُستخدم الوكلاءات الخدمية في المركبات ذاتية القيادة لاتخاذ قرارات تتعلق بالملاحة، وتجنب العوائق، وتخطيط المسار.

تضمن هذه الوكلاء سفرًا آمنًا وفعالًا من خلال تعظيم فائدتها.

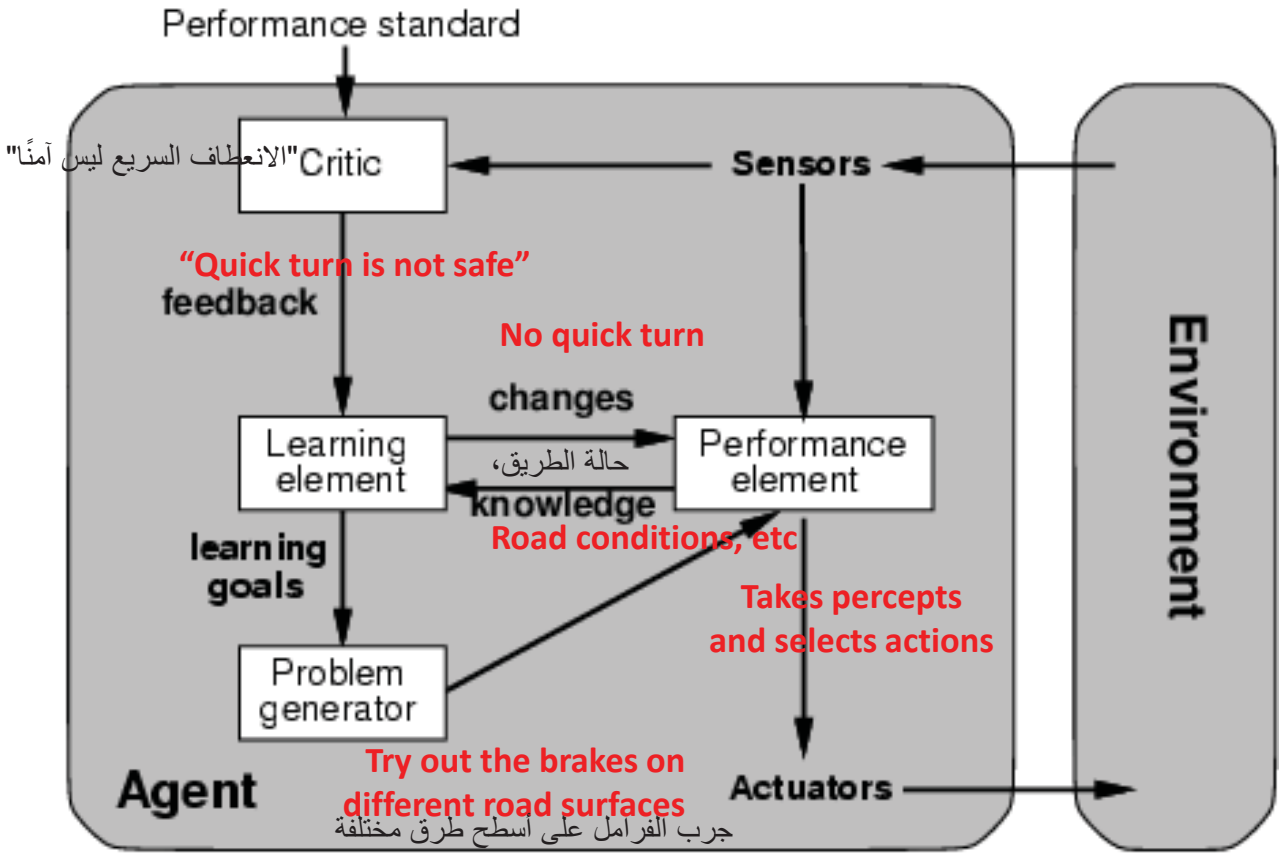
لعب الألعاب: Gaming AI

تُستخدم الوكلاء الخدمية في لعب الألعاب لاتخاذ قرارات استراتيجية، وتحسين أدائها، وتحقيق النصر. تساعد هذه الوكلاء على تقييم التحركات المختلفة واختيار الأفضل في الوقت الحالي.

Learning Agent

This agent can acquire **new skills** and **reflect** on it's own performance **to improve** over time

يمكن لهذا الوكيل اكتساب مهارات جديدة وانعكاسات على أدائه الخاص لتحسينه بمرور الوقت



يمكن أن يصبح وكلاء التعلم أكثر كفاءة بمرور الوقت

Learning agents can become more **competent** over time

- Can start with an initially **empty knowledge base**

يمكن أن يبدأ الوكلاء بقاعدة معرفية فارغة في البداية

- Can operate in initially **unknown environments**

يمكن أن يعملوا في بيئات غير معروفة في البداية

- Responsibilities of its components

مسؤوليات مكوناته

Performance element: shows the agent how well it succeed in the environment

عنصر الأداء: يظهر للوكيل مدى نجاحه في البيئة

learning element: improves the performance element by posing new tasks

عنصر التعلم: يحسن عنصر الأداء من خلال طرح مهام جديدة

critic: evaluates the behavior of the agent based on its performance and gives the evaluation as feedback to the learning element

الناقد: يقيم سلوك الوكيل بناءً على أدائه ويقدم التقييم كملاحظات لعنصر التعلم

problem generator: suggests actions that will lead to informative experiences

مولد المشكلات: يقترح إجراءات تؤدي إلى تجارب إعلامية

روبوتات ذاتية التشغيل: **Autonomous Robots**

تساعد برامج التعلم الروبوتات على أن تصبح أكثر مهارة في أنشطة مثل الملاحة والتحكم والتواصل البشري، من خلال تمكينها من التكيف مع البيئات المتغيرة واكتساب الخبرة.

أنظمة التوصية الشخصية: **Personalized Recommender Systems**

من خلال تقييم سلوك المستخدم وتفضيلاته، تُشغّل برامج التعلم محركات التوصية في الشبكات الاجتماعية وخدمات البث ومنصات التجارة الإلكترونية.

التداول المالي: **Financial Trading**

لتعزيز أساليب التداول في الأسواق المالية، يمكن لبرامج التعلم تقييم بيانات السوق، ورصد الاتجاهات، والتنبؤ بالأحداث المستقبلية.ا

لرعاية الصحية: **Healthcare**

لمساعدة الممارسين الطبيين على اتخاذ القرارات، تُستخدم برامج التعلم في تطوير الأدوية، وتخطيط العلاج الفردي، والتشخيص الطبي، ومراقبة بيانات صحة المرضى.

الذكاء الاصطناعي القائم على اللعب: **Game-Playing AI:**

من الشطرنج ولعبة "غو" إلى ألعاب الفيديو، ينخرط برامج التعلم في اللعب الاستراتيجي، ويصقلون مهاراتهم من خلال اللعب الذاتي والتفاعل البشري والتحسين التكراري.

Agent Type	Main Strength	Limitations	Best For	Example
Simple Reflex Agent	Instant reaction based on fixed rules	No memory or learning; fails in dynamic environments	Fully observable, stable and simple environments	Traffic light timers
Model-Based Reflex Agent	Handles partial observability with internal state	More computational demand; depends on model accuracy	Dynamic or partially observable environments	Robot vacuum cleaners
Goal-Based Agent	Plans ahead to achieve specific objectives	Needs clear goals and planning algorithms	Strategic tasks with defined goals	Logistics route planning
Utility-Based Agent	Balances multiple factors for best outcome	Requires complex utility functions	Multi-criteria decision-making	Financial portfolio management
Learning Agent	Improves over time via experience	Needs data and training time	Dynamic environments with changing conditions	AI chatbots
Multi-Agent System (MAS)	Distributed problem-solving with cooperation or competition	Complex interactions; unpredictable behaviors	Decentralized, multi-entity systems	Smart traffic control