Üzleti Intelligencia

2. Előadás: Bevezetés a megerősítéses tanulásba

Kuknyó Dániel
Budapesti Gazdasági Egyetem

2023/24
1.félév

1. Bevezetés
2. Markov döntési folyamatok
3. Értékfügvények
4. Bellman szabályok
5. Politika javítása

1 Bevezetés

2 Markov döntési folyamatok

3 Értékfügvények

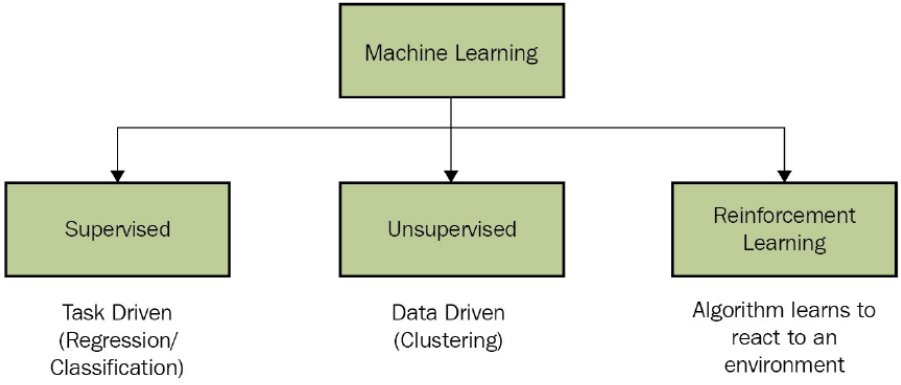
4 Bellman szabályok

5 Politika javítása

A gépi tanulás fő területei

A három fő típus, ahova be lehet sorolni a gépi tanulási algoritmusokat:

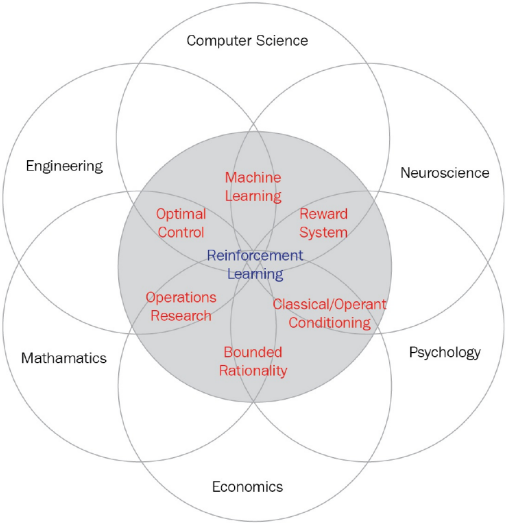
- Felügyelt tanítás
- Felügyelet nélküli tanítás
- Megerősítéses tanulás



Hol vagyunk?

A megerősítéses tanulás számos tudományterület együttese.

A fő elképzelése az, hogy az emberi illetve evolúcióból ismerős módszerekkel tanítson helyzethez alkalmazkodni tudó, intelligens modelleket valamilyen módszertan alapján.



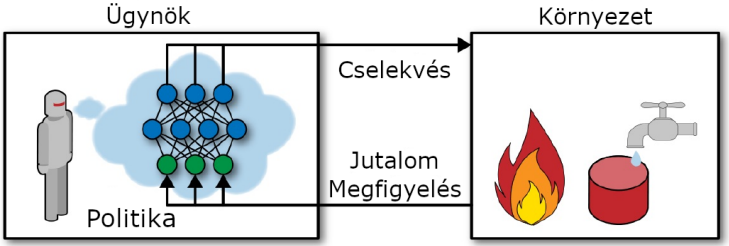
A megerősítéses tanulás

A megerősítéses tanuló modell célja, hogy **a legjobb döntéseket hozza egymás után**, egy adott kontextusban, hogy **maximalizálja a sikert mérő értéket**. A döntéshozó entitás próbákkal és hibákkal tanul. Nincs megadva, hogy milyen döntéseket hozzon, hanem ő maga tanulja meg azáltal, hogy kipróbálja azokat.

A modellezés komponensei

Ügynök

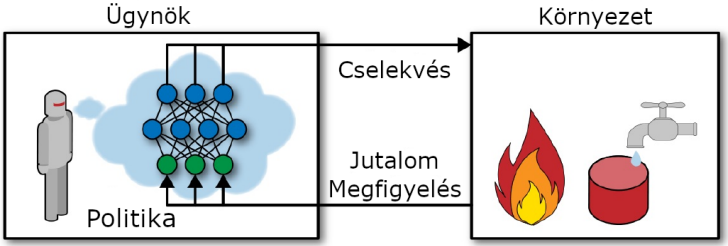
Az autonóm cselekvő, ami a feladat végrehajtására törekszik.



A modellezés komponensei

Környezet

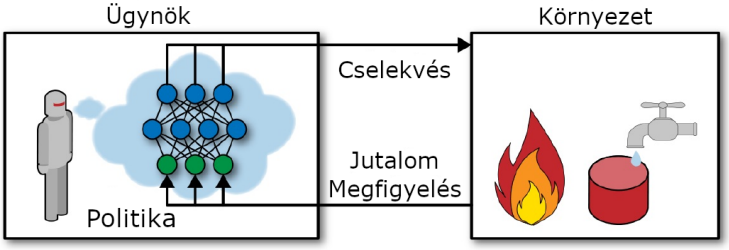
Egy fekete doboz, amely az ügynök cselekvéseinek helyszíne.



A modellezés komponensei

Idő

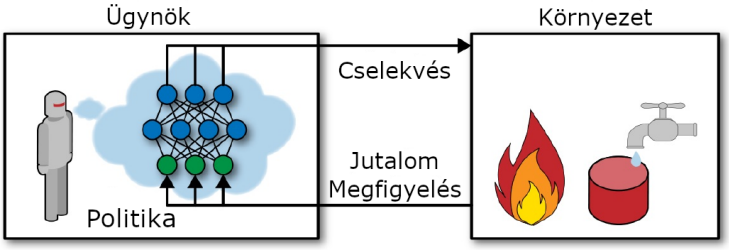
RL folyamán az időlépések diszkrétek: $t \in 1, 2, 3, ...$



A modellezés komponensei

Állapot

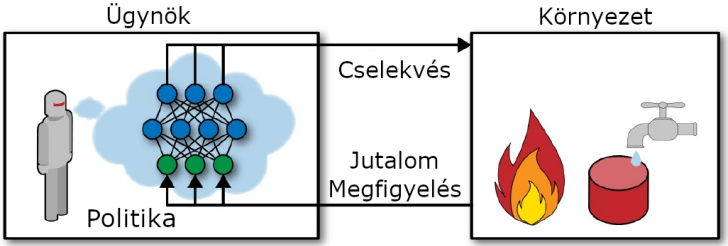
Az ügynök megfigyelése a környezetre vonatkozóan. A környezetet leíró változók összessége. Jelölés: $s \in S$, ahol S az összes állapot halmaza.



A modellezés komponensei

Jutalom

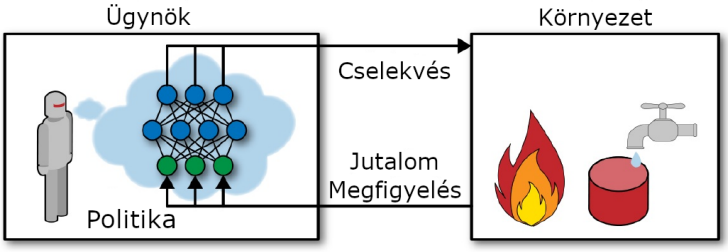
Az ügynök cselekvésének jóságát jelző skalár.
Jelölés: $r \in \mathbb{R}$



A modellezés komponensei

Cselekvés

Az ügynök által végrehajtott művelet, ami a környezetet befolyásolja. Jelölés: $a \in A$, ahol A az összes cselekvés halmaza.

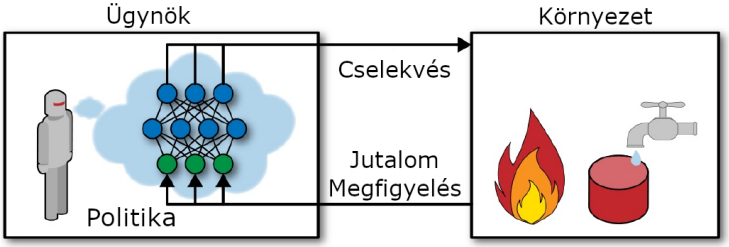


A modellezés komponensei

Politika

Egy állapot $\rightarrow$ cselekvés leképezés. Az ügynök cselekvéseinek szabályait adja meg.
Jelölés:

- Determinisztikus: $\pi \in S \rightarrow A$
- Sztochasztikus: $\pi \in S \times A \rightarrow [0, 1]$
  Röviden: $\pi(s, a)$
  Vagy: $\pi(a|s)$



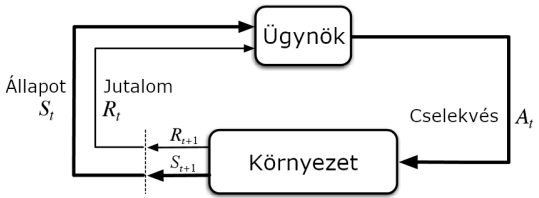
Interakció a környezettel

- Az ügynök és a környezet egymásra hatnak. Az ügynök cselekszik, ennek hatására a környezet megváltozik. Az ügynök megfigyeli a környezetet, majd ismét cselekszik:

  $s_1 \to a_1 \to s_2 \to a_2 \to ... \to s_t \to a_t$
- A jutalom azonnali, és cselekvés-állapot párosért jár: $R(s, a)$
- A környezet változását az átmeneti valószínűségek adják: $P(s'|s, a)$, ami s' következő állapot valószínűsége s állapotból, a cselekvést követően. Ez a **környezet dinamikája**.

- Az ügynök célja a lehető legmagasabb jutalom összegyűjtése hosszú távon:

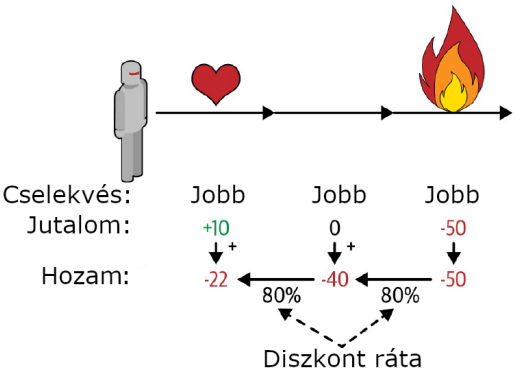
$$E_\pi(r_1 + r_2 + r_3 + ...) \to max$$



A kredit hozzárendelési probléma

A megerősítéses tanulásban a jutalmak általában ritkák és késleltetettek.
Például: ha az ügynök életben maradt 100 lépésen keresztül, és a 101. lépésben meghal, honnan tudjuk, melyik lépés volt érte a felelős?

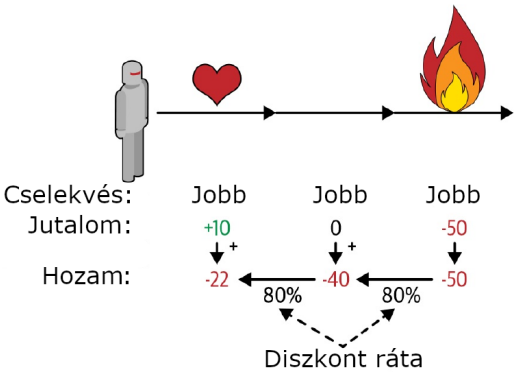
A probléma megoldására a tanulás egy diszkont rátát (γ) alkalmaz.
A diszkont ráta megadja a jövőbeli jutalmak jelenbeli értékét. Valamely r jutalom értéke k időlépés után γ^{k-1}.



A kredit hozzárendelési probléma

Ha az ügynök háromszor egymás után jobbra megy, és $+10$ jutalmat kap az első lépés után, 0-t a második lépés után, és végül -50-et a harmadik lépés után, akkor feltéve, hogy $\gamma = 0.8$ diszkontálási tényezőt használ, az első lépés hozama $10 + \gamma 0 + \gamma^2(-50) = -22$ lesz.

Ha a diszkontálási tényező közel van a 0-hoz, akkor a jövőbeli jutalmak nem számítanak sokat az azonnali jutalmakhoz képest. Ha viszont a diszkontálási tényező közel van 1-hez, akkor a jutalmak a jövőben majdnem ugyanannyit számítanak, mint az azonnali jutalmak.



1 Bevezetés

2 Markov döntési folyamatok

3 Értékfügvények

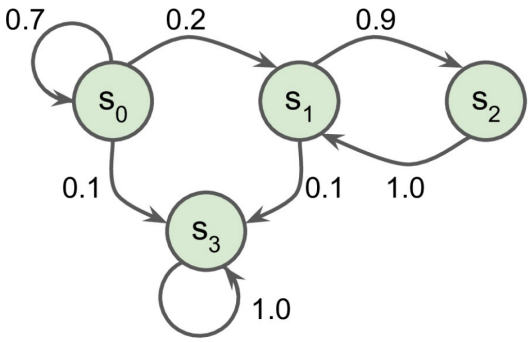
4 Bellman szabályok

5 Politika javítása

Markov láncok

Markov lánc

Memória nélküli sztochasztikus folyamat fix számosságú állapottal, amely véletlenszerűen vált állapotot minden lépésben.
Az átmeneti valószínűség az aktuális állapotból (s) a következő állapotba (s') előre meghatározott, és csak az (s, s') pároson múlik, múltbeli állapotokon nem.

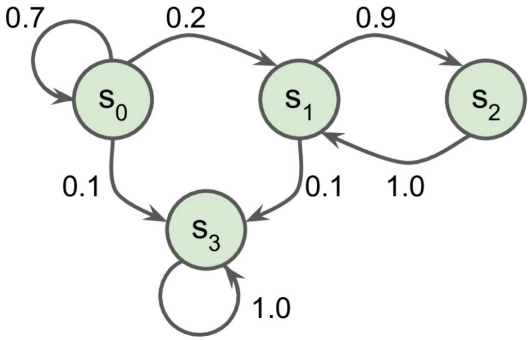


Markov láncok

Markov tulajdonság

Az ügynök nem nyerhet semmit azáltal, hogy ismeri az előző állapotokat.

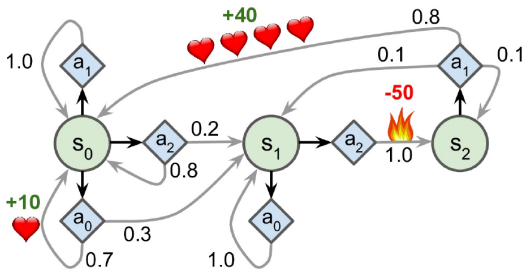
- Miért fontos ez?
- Milyen példákat lehet mondani ilyen játékokra?



Markov döntési folyamatok

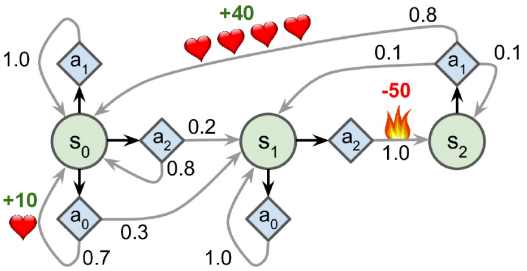
Markov döntési folyamat (MDP)

Az ügynök minden lépésben választhat egy cselekvés közül. A környezet állapot átmeneti valószínűsége a következő állapotba a választott cselekvésen fog múlni. Ezenkívül némelyik állapot átmenetek jutalommal (pozitív vagy negatív) járnak.



Markov döntési folyamatok

Ha az ügynök az s_0 állapotban kezd, választhat az a_0, a_1 vagy a_2 cselekvések között. Ha az a_1 cselekvést választja, biztosan az s_0 állapotban marad jutalom nélkül. De ha az a_0 cselekvést választja, akkor 70% esélye van arra, hogy $+10$ jutalmat kapjon és az s_0 állapotban maradjon. Előbb-utóbb az s_1 állapotba fog megérkezni. Itt csak két lehetséges cselekvés van: a_0 és a_2. Az a_0 cselekvéssel ugyanabban az állapotban marad, vagy továbblép az s_2 állapotba és -50 jutalmat kap. Az s_2 állapotban csak az a_1 cselekvést teheti meg, amely visszavezeti az s_0 állapotba, $+40$ jutalommal.



A Markov döntési folyamat medoldása

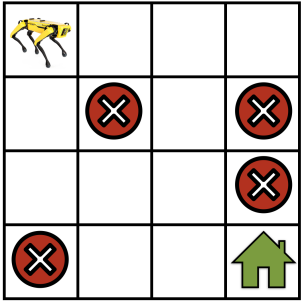
A probléma felírása:

- Az ügynök s_0 kezdőállapotból indul.
- Minden cselekvését π politika határozza meg.
- A környezet az állapot és a cselekvés alapján ad jutalmat:
  $s_{t+1} \sim P(s_t, a_t);\ r_{t+1} \sim R(s_t, a_t)$
- A politika optimális, ha a kumulált diszkontált jutalma (**hozama**) maximális:

$$G_t = (r_1 + \gamma r_2 + \gamma^2 r_3 + ...) =$$

$$= \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \rightarrow max$$

- A cél az **optimális politika** megtalálása.



1 Bevezetés

2 Markov döntési folyamatok

3 Értékfügvények

4 Bellman szabályok

5 Politika javítása

Állapot-érték függvény

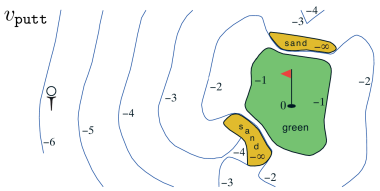
Az értékfüggvények az állapotok függvényei amik megadják, hogy mennyire jó az ügynöknek, hogy egy adott állapotban áll.

Állapot-érték függvény (value)

Egy s állapot állapot-értéke ($v_\pi(s)$) valamely π politika szerint a várható hozam, ha az ügynök s állapotból indul, és utána π szerint hozza döntéseit:

$$V_\pi(s) = E_\pi\left[G_t | S_t = s\right] =$$

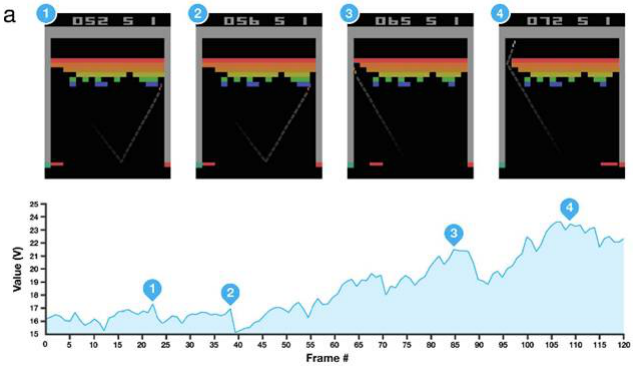
$$= E_\pi\left[\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid S_t = s\right]$$



Példa: golfozásban a *putter* a kis hatótávú golfütőre vonatkozik. A diagramon azt látjuk, mennyire jó egy adott pozícióból ütni annak az ügynöknek, aki csak a putter ütőt használja. A terminális állapotban az érték 0, és minél távolabb van tőle, annál inkább csökken az értéke. A homokon a politika $-\infty$ értéket kap.

Állapot-értékek a Breakout-ban

A Breakout egy retró Atari játék, amiben a cél az, hogy az ütővel a játékos leüsse az összes téglát. A diagramon az adott állapothoz tartozó állapot-érték látható. Amikor felkerül a labda az állapot-érték is magasabb, mert ott potenciálisan több téglát tud kiütni.



Állapot-cselekvés minőség függvény

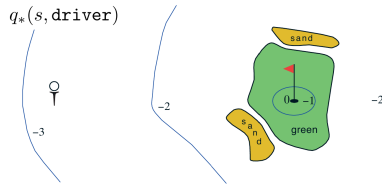
Hasonlóan az előzőhöz lehetséges definiálni egy adott állapot-cselekvés páros minőségének függvényét, amely megadja mennyire jó az ügynöknek, hogy egy adott állapotban áll, majd adott cselekvést hajt végre.

Állapot-cselekvés minőség függvény (quality)

Egy (s, a) állapot-cselekvés páros minőség függvénye valamely π politika szerint a várható hozam, ha az ügynök s állapotból indul, a cselekvést hajtja végre, majd utána π szerint hozza döntéseit:

$$Q_\pi(s,a) = E_\pi\left[G_t | S_t = s, A_t = a\right] =$$

$$= E_\pi\left[\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \mid S_t = s, A_t = a\right]$$



Példa: golfozásban a *driver* a nagy hatótávú ütőre vonatkozik. Ebben az esetben a $q(s, driver)$ minőség függvény azt adja meg mennyire jövedelmező a játékosnak egy adott helyen állni, és onnan a driver ütőt választani a következő lövéshez.

1 Bevezetés

2 Markov döntési folyamatok

3 Értékfügvények

4 Bellman szabályok

5 Politika javítása

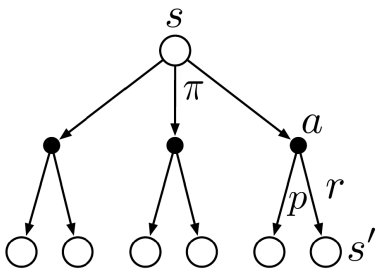
Állapot-érték Bellman szabály

Az értékfüggvények egy alapvető tulajdonsága, hogy betartanak egy rekurzív kapcsolati rendszert. Minden π politikára és bármely s állapot esetén érvényes a következő konzisztencia kritérium s állapot és s' következő állapotai között:

Állapot-érték Bellman szabály

$$V_\pi(s) = \sum_a \pi(a|s) \sum_{s',r} p\left(s', r|s, a\right) \left[r + \gamma v_\pi\left(s'\right)\right]$$

$minden\ s \in S - re$



- $\pi(a|s)$: a cselekvés valószínűsége s állapotból π politika szerint.
- $p\left(s', r|s, a\right)$: s' következő állapot és r jutalom valószínűsége, ha adott s állapot és a cselekvés.

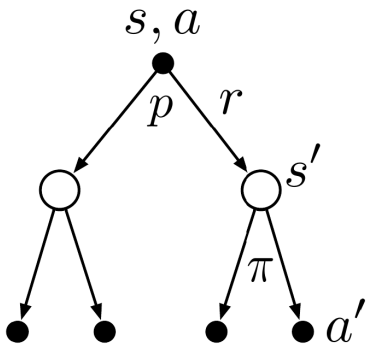
Állapot-cselekvés minőség Bellman szabály

Hogyan lehet javítani egy π politikát?
Azt tudjuk, hogy mennyire jövedelmező egy s állapotból π-t követni - ez a $v_\pi(s)$.
Érdemes lenne eltérni π politikától egy adott a cselekvést választva?

Ezt adja meg az állapot-cselekvés minőség függvény: mennyire jövedelmező egy ügynöknek s állapotból a cselekvést választani, majd utána π politikát követni:

Állapot-cselekvés minőség Bellman szabály

$$Q_\pi(s,a) = \sum_{s',r} p\left(s', r | s, a\right)\left[r + \gamma v_\pi\left(s'\right)\right]$$



- $p\left(s', r | s, a\right)$: s' következő állapot és r jutalom valószínűsége, ha adott s állapot és a cselekvés.

1 Bevezetés

2 Markov döntési folyamatok

3 Értékfügvények

4 Bellman szabályok

5 Politika javítása

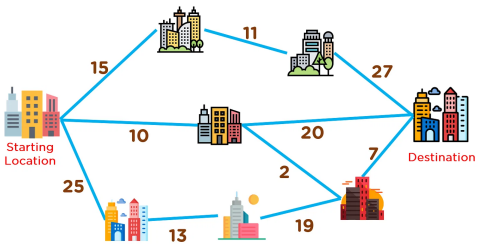
Mohó ügynök

Hogyan válasszon cselekvést az ügynök? A legegyszerűbb cselekvés kiválasztási szabály, ha az ügynök mindig a számára elérhető legnagyobb értékű cselekvést választja. Ha több ilyen is van, tetszőlegesen választhat közöttük.

Mohó cselekvés választás

$$a_t = \underset{a}{argmax}\, Q_t(a)$$

- Mindig a mohó a legjobb megoldás?
- A legjobb megoldás mohó?



Melyik úton jutna el a mohó ügynök a kezdő városból a cél városba, ha a lehető legkevesebbet akarja költeni üzemanyagra?

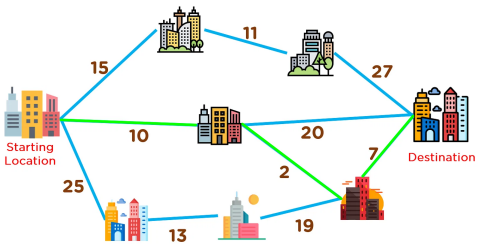
Mohó ügynök

Hogyan válasszon cselekvést az ügynök? A legegyszerűbb cselekvés kiválasztási szabály, ha az ügynök mindig a számára elérhető legnagyobb értékű cselekvést választja. Ha több ilyen is van, tetszőlegesen választhat közöttük.

Mohó cselekvés választás

$$a_t = \underset{a}{argmax}\, Q_t(a)$$

- Mindig a mohó a legjobb megoldás?
- A legjobb megoldás mohó?



Melyik úton jutna el a mohó ügynök a kezdő városból a cél városba, ha a lehető legkevesebbet akarja költeni üzemanyagra?

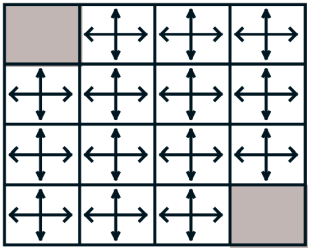
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = 0$

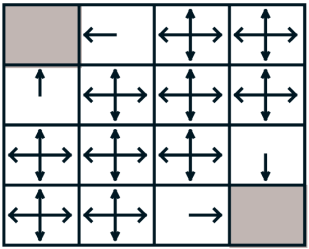
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	-1.0	-1.0	-1.0
-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
-1.0	-1.0	-1.0	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = 1$

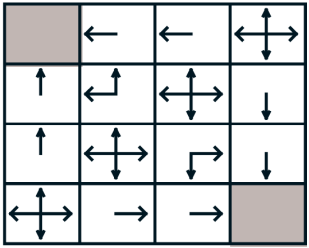
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	-1.7	-2.0	-2.0
-1.7	-2.0	-2.0	-2.0
-2.0	-2.0	-2.0	-1.7
-2.0	-2.0	-1.7	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = 2$

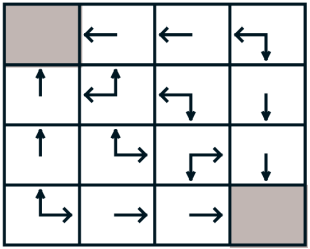
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	-2.4	-2.9	-3.0
-2.4	-2.9	-3.0	-2.9
-2.9	-3.0	-2.9	-2.4
-3.0	-2.9	-2.4	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = 3$

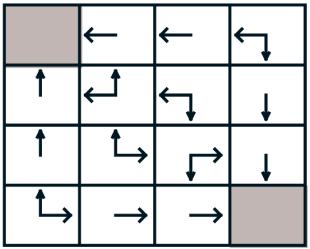
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	-6.1	-8.4	-9.0
-6.1	-7.7	-8.4	-8.4
-8.4	-8.4	-7.7	-6.1
-9.0	-8.4	-6.1	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = 10$

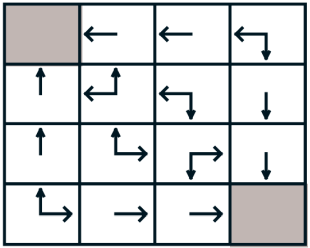
GridWorld

A példában egy egyszerű GridWorld játéknak láthatóak az állapot-értékei (jobb) és a mohó ügynök adott állapot-értékhez tartozó cselekvései politika javítás során. A játék célja, hogy az ügynök elérje valamelyik szürke zónát.

Véletlen politika értéke (V_k)

0.0	-14.	-20.	-22.
-14.	-18.	-20.	-20.
-20.	-20.	-18.	-14.
-22.	-20.	-14.	0.0

Mohó stratégia V_k szerint



$k = \infty$