

Üzleti Intelligencia

6. Előadás: Mély Q -tanulási architektúrák

Kuknyó Dániel
Budapesti Gazdasági Egyetem

2023/24
1.félév

- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 Aktor-kritikus

- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 Aktor-kritikus

A Q -tanulás alapjai

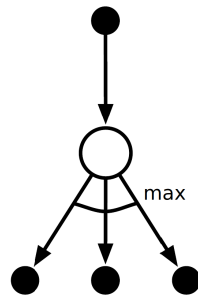
A megerősítéses tanulásban az egyik nagy áttörést egy politikafüggetlen TD algoritmus kifejlesztése hozta el.

Ebben az esetben a becsült **állapot-cselekvés minőség függvény**, Q , ami megadja, hogy mennyire jövedelmező az ügynöknek s állapotban a cselekvést végrehajtani.

Q -érték frissítése

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \left[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right]$$

A Q -tanulás ezáltal egy teljesen online tanulási algoritmus, ami a követett **politikától függetlenül** garantáltan konvergálni fog a valós Q értékekhez.



Dupla Q-tanulás

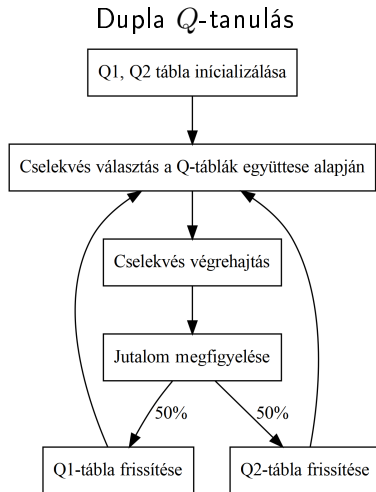
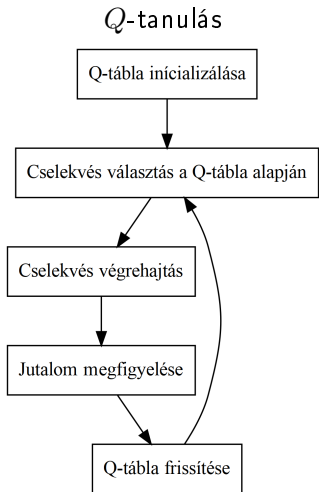
A kettős tanulás ötlete kiterjed a teljes MDP algoritmusaira. A Q -tanulásban a becsült Q -értékek torzítottak lehetnek, ha alacsony a minta számossága, vagy zaj van a rendszerben. Egy módja a Q -tanulás regularizálásának, ha egy helyet **két Q -táblát tart nyilván az algoritmus**, Q_1 -et és Q_2 -t.

A Q -tanulással analóg dupla Q -tanulás nevű kettős tanulási algoritmus két részre osztja az időlépéseket, minden lépésben 50% valószínűséggel a frissítés a következő:

$$Q_1(s, a) \leftarrow Q_1(s, a) + \alpha \left[r + \gamma Q_2 \left(s', \underset{a'}{\operatorname{argmax}} Q_1(s', a') \right) - Q_1(s, a) \right]$$

A többi esetben Q_1 és Q_2 felcserélésével történik, így Q_2 frissül. A két táblát teljesen szimmetrikusan kezeli az algoritmus. Például egy ε -mohó politika a dupla tanulás esetében az egyes cselekvési értébecslések **átlagára vagy összegére épülhet**.

Alapvető Q -tanulási eljárások



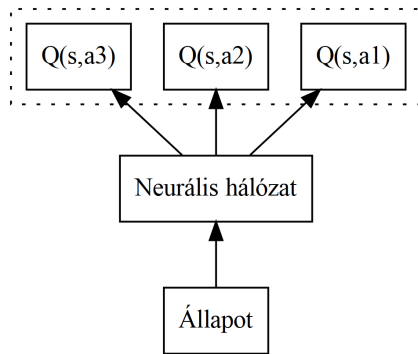
- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 Aktor-kritikus

A Q -hálózat (DQN)

A Q -hálózat egy természetes kiterjesztése a hagyományos Q -tanulásnak. A naív Q -hálózat inputja a **környezetet leíró változók** vektora vagy mátrixa, és az outputja pedig az ügynök számára elérhető **cselekvések** $Q(s, a)$ értéke minden a_1, a_2, \dots, a_n cselekvéshez tartozóan.

A cselekvés választáshoz az ügynök kiválasztja a **legnagyobb becsült Q értéket**, és az ahhoz tartozó cselekvést fogja végrehajtani.

A Q -hálózat költségfüggvénye az **átlagos négyzetes Bellman hiba**, a paraméter frissítése pedig a költségfüggvény gradiense és a lépésméret szerint történik.

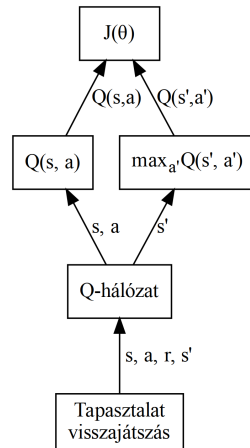


A DQN költségfüggvénye

A mély Q-tanulás során a költségfüggvény a négyzetes Bellman hiba várható értéke:

$$J(\theta) = E_{s,a,r,s' \sim D} \left[\left(r + \gamma \max_{a'} Q_{\theta}(s', a') - Q_{\theta}(s, a) \right)^2 \right]$$

Ahol s, a, r, s' a D tapasztalat visszajátszási memóriából vett minta. A Q -hálózat megkeresi az s' következő állapothoz tartozó legnagyobb értékű cselekvést, a' -t, és lekérdezi a memóriából vett s aktuális állapothoz és a aktuális cselekvéshez tartozó Q -értéket. Ez a TD hibának egy változata.

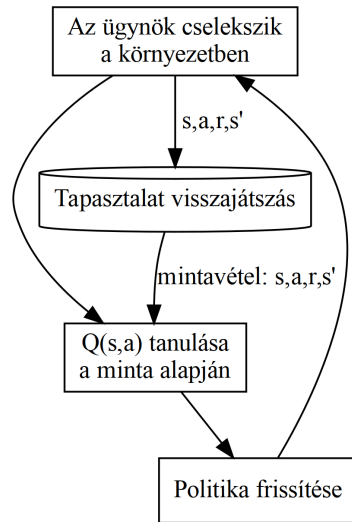


Tapasztalat visszajátszás

A tapasztalat visszajátszás az egyik változtatás, ami a Q -hálózat problémáján hivatott segíteni.

A tapasztalat memória (D_{replay}) $[s, a, r, s']$ **négyeseket tartalmaz**. Minden alkalommal amikor az ügynök cselekszik, az általa tapasztalt s, a, r, s' elmentődik a tapasztalat memóriába.

Amikor tanulásra kerül a sor, az ügynök **véletlen és rendezetlen mintát** (miniköteget) kap a tapasztalat memóriából, melynek számossága megegyezik a kötegmérettel. Eszerint számolódik ki a költségfüggvény majd frissülnek a Q -hálózat paraméterei.



Algoritmus 1: Mély Q -tanulás

Input: $\tau \in [0, 1]$ átlagolási ráta

Online hálózat Q_θ , célhálózat $Q_{\bar{\theta}}$, tapasztalat memória D inicializálása;

for $i = 0 \rightarrow \max_i$ **do**

for $t = 0 \rightarrow \max_t$ **do**

s megfigyelése és $a \sim \pi(s, a)$ cselekvés választása;

a végrehajtása és s', r megfigyelése;

s, a, r, s' eltárolása a tapasztalat memóriában;

end

for $c = 0 \rightarrow \max_c$ **do**

$e = s, a, r, s' \sim D$; /* Mintavétel a tapasztalat memóriából */

 Gradiens ereszkedés végrehajtása $\left(r + \gamma \max_{a'} Q_\theta(s', a') - Q_\theta(s, a) \right)^2$ hibán;

end

end

Ahol t a környezetben lejátszott lépések és c a hálózat tanítási lépések ciklusváltozója.

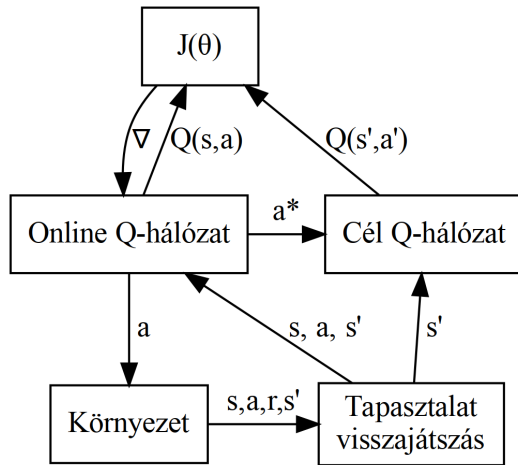
- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 Aktor-kritikus

DDQN

A DDQN algoritmus a dupla Q -tanulás elveit hajtja végre neurális hálózatokkal: ebben az esetben a két Q -tábla helyett **két Q -hálózat** kap helyet az architektúrában:

- Online hálózat Q_θ : a cselekvések **kiválasztásáért** felel.
- Célhálózat $Q_{\bar{\theta}}$: a választott cselekvés **kiértékeléséért** felel.

Az algoritmus csak az online hálózaton hajt végre paraméter frissítést. A célhálózatot úgy frissíti, hogy az online hálózat paramétereinek értékét átmásolja adott időközönként.



A DDQN költségfüggvénye

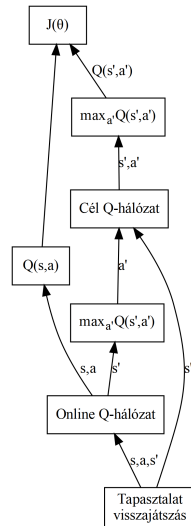
A DDQN architektúrában az optimális cselekvés a^* a Q_θ online hálózat által lesz kiválasztva s' következő cselekvésre:

$$a^* = \underset{a'}{\operatorname{argmax}} Q_\theta(s', a')$$

A $Q_{\bar{\theta}}$ célhálózat pedig kiértékeli az online hálózat által választott cselekvést: $Q_{\bar{\theta}}(s', a^*)$, majd kiszámolja a TD hibát:

$$J(\theta) = E_{s,a,r,s' \sim D} \left[(r + \gamma Q_{\bar{\theta}}(s', a^*) - Q_\theta(s, a))^2 \right]$$

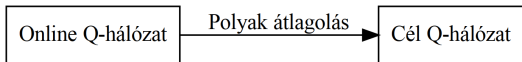
Ahol $E_{s,a,r,s' \sim D}$ a tapasztalat visszajátzásból származó miniköteg, γ a diszkont ráta.



A célhálózat frissítése

Adott időközönként az online hálózat Q_θ paramétereit át kell másolni a $Q_{\bar{\theta}}$ célhálózatra, **hiszen a célhálózaton nincs gradiens ereszkedés végrehajtva.**

Ezt meg lehet tenni úgy is, hogy periodikusan explicit másolat készüljön az online hálózatról, viszont egy jobb megoldás, ha Polyak átlagolással (lágymásolással) másolódnak át a paraméterek.



Ebben az esetben a τ hiperparaméter szabályozza az **átlagolási rátát** vagyis, hogy mekkora súllyal legyenek figyelembe véve az új paraméterek:

Polyak átlagolás

$$\bar{\theta} \leftarrow \tau\theta + (1 - \tau)\bar{\theta}$$

- $\bar{\theta}$: Célhálózat paraméterei
- θ : Online hálózat paraméterei
- τ : Átlagolási ráta

Algoritmus 2: Dupla mély Q -tanulás (DDQN)

Input: $\tau \sim [0, 1]$ átlagolási ráta, Online hálózat Q_θ , célhálózat $Q_{\bar{\theta}}$, tapasztalat memória D inicializálása;

for $i = 0 \rightarrow \max_i$ **do**

for $t = 0 \rightarrow \max_t$ **do**

s megfigyelése és $a \sim \pi(s, a)$ cselekvés választása;

a végrehajtása és s', r megfigyelése;

s, a, r, s' eltárolása a tapasztalat memóriában;

end

for $c = 0 \rightarrow \max_c$ **do**

$e = s, a, r, s' \sim D$; /* Mintavétel a tapasztalat memóriából */

$Q^*(s, a) \leftarrow r + \gamma Q_\theta(s', \operatorname{argmax}_{a'} Q_{\bar{\theta}}(s', a'))$;

 Gradiens ereszkedés végrehajtása a $(Q^*(s, a) - Q_\theta(s, a))^2$ hibán;

$\bar{\theta} \leftarrow \tau \theta + (1 - \tau) \bar{\theta}$; /* Paraméterek frissítése */

end

end

- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 Aktor-kritikus

Az előny függvény

A megerősítéses tanulás harmadik értékfüggvénye a $V(s)$ és a $Q(s, a)$ mellett.

Matematikailag az előny függvény s állapotra és a cselekvésre a cselekvés Q értékének és az állapot értékének a különbsége:

Előny függvény

Az előny függvény megadja, **ennyivel jobb vagy rosszabb** egy adott a cselekvést végrehajtani egy s állapotból a többi elérhető cselekvéshez képest.

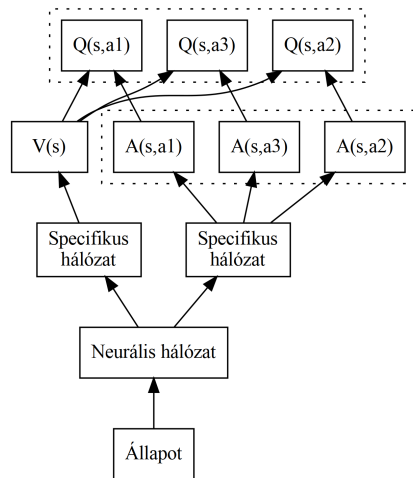
$$A(s, a) = Q(s, a) - V(s)$$

Egy $A(s, a) = 0$ érték azt jelenti, hogy a cselekvést végrehajtani olyan jövedelmező, mint az átlagos cselekvés s -ből. Ha $A(s, a) > 0$, a cselekvés jobb, és ha $A(s, a) < 0$ akkor rosszabb mint az átlagos cselekvés s állapotból.

Párbajozó Q -hálózat architektúrája

A párbajozó Q -tanulás algoritmus **explicit módon kettéválasztja az állapot-érték és előny függvények megbecslését** minden állapot művelet esetén. Ez a szétválasztás teszi lehetővé a hatékonyabb tanulást és jobb általánosítást.

Az előnyfüggvény definíciójából kiindulva a minőségfüggvényt ki lehetne számolni úgy, mint $Q(s, a) = V(s) + A(s, a)$, **viszont ez problémás mert nem feltételezhető, hogy a hálózat minden értékre pontos becslést ad.**

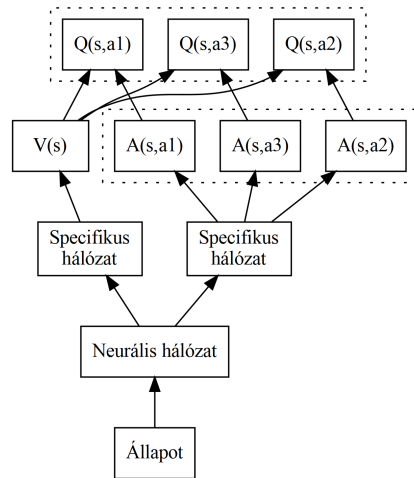


Párbajozó Q-hálózat architektúrája

A gyakorlatban a $Q(s, a)$ érték úgy áll elő, hogy a $V(s)$ állapot-értékhez hozzáadódik a választott cselekvés és a legnagyobb előnyű cselekvés $A(s, a)$ értékének különbsége:

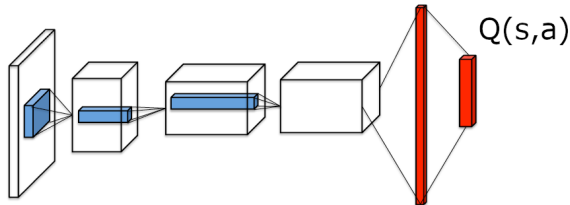
$$Q(s, a) = V(s) + \left(A(s, a) - \frac{1}{|A|} \sum_{a'} A(s, a') \right)$$

Ahol $|A|$ az elérhető cselekvések száma, $\frac{1}{|A|} \sum_{a'} A(s, a')$ pedig az elérhető cselekvések előnyeinek átlaga.

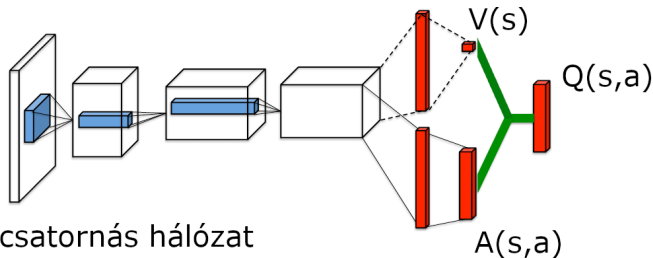


Az egycsatornás és párbajozó architektúrák összehasonlítása

Egycsatornás hálózat



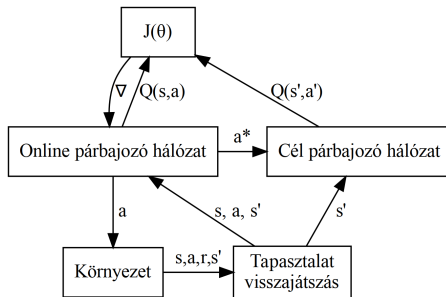
Többscsatornás hálózat



Dupla párbajozó architektúrák (DDDQN)

A kettős Q -tanulást meg lehet valósítani párbajozó hálózatokkal is. Mivel mindkettőnek az outputja a $Q(s, a)$ állapot-cselekvés minőség függvény, **az egyetlen változtatás a kettős Q -tanuláshoz képest a neurális hálózat architektúrájában van.** A komponensek elrendezésén nem szükséges módosítani.

A hálózatok között a paraméterek másolását explicit másolással, vagy Polyak átlagolással lehet megoldani. Ezzel a hálózat pontosabban tanul, és ellenállóbb a tanítási mintában jelen lévő zajjal szemben.

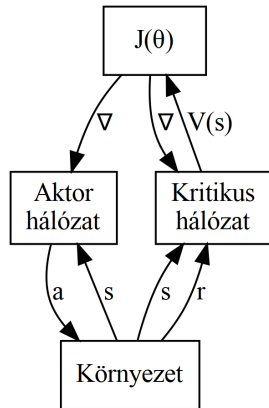


- 1 Bevezetés
- 2 Mély Q -tanulás (DQN)
- 3 Dupla mély Q -tanulás (DDQN)
- 4 Párbajozó mély Q -tanulás
- 5 **Aktor-kritikus**

Aktor-kritikus architektúra

Az aktor-kritikus architektúra egy kettős tanulási eljárás, amely kombinálja a politikaalapú (**aktor**) és az értékalapú (**kritikus**) eljárásokat a tanítási folyamat javítása és a gyorsabb konvergencia érdekében.

- **Aktor:** Az állapothoz tartozó cselekvés kiválasztásáért felel. Egy politikát tanul meg, ami az állapotokhoz cselekvéseket rendel. Célja, hogy maximalizálja a várható kumulált hozamot.
- **Kritikus:** Feladata megbecsülni a $V(s)$ állapot-érték függvényt. A kritikus segíti az aktort azzal, hogy visszajelzést ad neki az általa megtett cselekvések minőségéről.



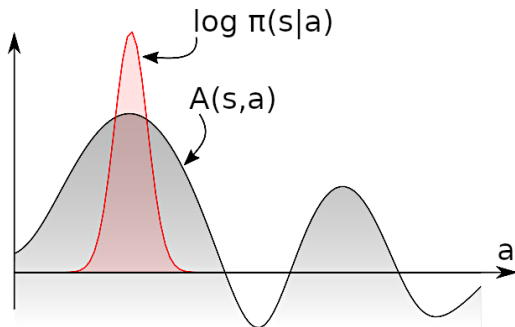
Az aktor-kritikus költségfüggvény

Az előnyalapú aktor-kritikus eljárásokban az aktor az $A(s, a)$ előnyfüggvényt becsüli meg a saját neurális fejében. A kritikus pedig egy logaritmikus valószínűségi eloszlást.

Az AAC költségfüggvénye

$$J(\theta) = \sum_{t=0}^{T-1} \log \pi_{\theta}(a|s) A(s, a)$$

Ahol $\pi_{\theta}(a|s)$ az a valószínűség, hogy a π_{θ} szerint mekkora valószínűséggel hajtja végre az ügynök a cselekvést s állapotból, és $A(s, a)$ az előnyfüggvény.



A modellezés folyamata

- 1 **Inicializáció:** Az aktor és kritikus hálózatok kezdősúlyainak megadása: θ , ϕ , tanulási sebesség beállítása: α
- 2 **Tapasztalat gyűjtése:** az aktor interakcióba lép a környezettel
- 3 **Előny kiszámítása:** $A(s, a) = (V(s) - (r + V(s')))^2$ megadja, hogy egy adott a cselekvés mennyire jövedelmező a többihez képest
- 4 **Aktor frissítése:** gradiens ereszkedés a $\log \pi_{\theta}(a|s)A(s, a)$ előny értéken
- 5 **Kritikus frissítése:** gradiens ereszkedés a $(V(s) - (r + V(s')))^2$ hibán
- 6 **Iteráció folytatása** a kilépésig

Ahol θ az aktor, és ϕ a kritikus paraméterlistája.