**Mesterséges Intelligencia (Artificial Intelligence) - MI (AI)  
*(zh összefoglaló)***

**Ágens:** bármi ami az **érzékelői** segítségével **érzékeli** a környezetét és **beavatkozó szervei** segítségével **megváltoztatja** azt.   
**Racionális ágens:** a helyes dolgot teszi.

A következő négy dolgon múlik az, hogy egy adott pillanatban mi racionális:

- A siker fokát mérő **teljesítmény mérőszám**.

- Minden, amit az ágens eddig megfigyelt. Ezt teljes észlelési történetnek, avagy **észlelési sorozatnak** nevezzük.

- Amit az ágens a **környezetéről tud**.

- A **cselekvések**, amiket az ágens képes végrehajtani.

**Ideális racionális ágens**: *minden egyes észlelési sorozathoz a bennük található tények és a beépített tudása alapján minden elvárt dolgot megtesz a teljesítmény mérőszám maximalizálásáért.*

Egy rendszer annak mértékéig autonóm, amennyire a viselkedését saját tapasztalatai határozzák meg.

**Tábla-vezérelt-ágens:** nem elég jó, mert nem következtet.

**Ágens-típusok:**

* **Egyszerű reflexszerű ágens**

**feltétel-cselekvés szabály**ok mindig ugyanazok; mindig az aktuális állapotot vizsgálja.

**ha** *az-előző-autó-fékez* **akkor** *kezdj-fékezni*

* **Ágensek, melyek nyomon követik a világot**

Az egyszerű reflexszerű ágens csak akkor fog működni, ha a helyes döntés meghozható az aktuális észlelés alapján. Különben a vezetőnknek nyílván kell tartania valamiféle **belső állapotot** a végrehajtandó cselekvés kiválasztásához. Megoldás: az ágensnek fenn kell tartania valamiféle belső állapot információt ahhoz, hogy megkülönböztesse a világ azonos észlelési bemenetet generáló, de lényegében különböző állapotait.

* **Cél-orientált ágensek**

A környezet jelenlegi állapotának ismerete nem mindig elég annak eldöntéséhez, hogy mit tegyünk.

A jelenlegi állapot leírása mellett az ágensnek valamiféle **cél** információval is rendelkeznie kell, amely leírja a kívánatos helyzeteket.

Ágens program: összevetheti a lehetséges cselekvések eredményeiről szóló információkkal annak érdekében, hogy a céljához vezető cselekvés meghatározza.

Ez néha egyszerű, máskor sokkal trükkösebb: **keresés** és **tervkészítés**.

* **Hasznosság-orientált ágensek**

Egy általánosabb teljesítmény mérték: a világ állapotainak az összehasonlítása, milyen boldoggá tennék az ágenst, ha elérné azokat. „Boldogság” – tudományosan „előnyösebb” egy másikhoz képest, ha magasabb a **hasznossága** az ágens számára.

**Környezetek:** hozzáférhetőség, determinisztikusság, epizódszerűség, statikusság, diszkrét/folytonos elérhetőség

**Probléma megoldás kereséssel**

Célvezérelt ágens egy típusa: cselekvés sorozatokat keres, amelyek kívánt állapotokba vezetnek. (Az ágens egy **célt** tud kitűzni maga elé és megpróbálja azt elérni.)

**Cél megfogalmazás**: a pillanatnyi helyzet alapján.

**cél:** a világ állapotainak egy olyan halmaza, amelyekben a cél teljesül.

**cselekvések:** hatására a világ állapotai közötti állapotátmenetek mennek végbe,

az ágensnek nyilvánvalóan azt kell megkeresnie,

hogy mely cselekvések juttatják el egy célállapotba.

**Problémák:**

Négy lényegileg eltérő probléma típus: egy-állapotú problémák,

több-állapotú problémák,

eshetőségi problémák és

felfedezési problémák.

**1. Egy-állapotú probléma**

ágens érzékelői: pontosan tudja, melyik állapotban van

(vagyis a világ elérhető a számára)

pontosan tudja, hogy a cselekvése mit eredményez.

**2. Több-állapotú probléma**

ágens: ismeri az összes cselekvésének a hatását,

csak korlátozott mértékben fér hozzá a világ állapotához.

(előfordulhat, hogy egyetlen érzékelővel sem rendelkezik)

**3. Eshetőségi probléma**

Néha a tudatlanság megakadályozza az ágenst egy garantált megoldás megtalálásában.

*Nem létezik rögzített cselekvés sorozat, amely ebben az esetben garantálná a megoldást*.

**4. Felfedezési probléma**

ágens: semmilyen információja nincs a cselekvései hatásáról.

(térkép nélkül eltévedünk egy idegen országban).

ez a legnehezebb feladat, amivel egy intelligens ágens találkozhat.

Az ágensnek *kísérleteznie* kell,

**Jól definiált probléma:**

- **kiinduló állapot** (ágens tudja, hogy abban az állapotban van)

- ágens rendelkezésére álló **lehetséges cselekvések halmaza**

**operátor:** egy cselekvés leírása,

a cselekvés egy adott állapotban történő alkalmazásának hatására az ágens mely állapotba kerül.

- ezek együttesen: a probléma **állapottere**:

- *irányító heurisztikák és pálya cselekvési/számítási költségek.*

**Keresés hatékonyság mérése:**

1. egyáltalán talál-e megoldást.

2. a megtalált megoldás jó megoldás-e (egy alacsony út költségű megoldás-e)?

3. mi a megoldás megtalálásához szükséges, az idő és a memória szükséglethez

kapcsolódó **keresési költség**

A keresés **összköltsége**: az útköltség és a a keresési költség összege.

**Keresés:** új állapotok **generálása -** az állapot **kifejtése**.

**Keresési stratégia:** ez határozza meg a kifejtendő állapot kiválasztását.

**Csomópontok:**

csomópont öt komponensből álló adatszerkezet:

- a csomóponthoz tartozó állapottér állapot

- a keresési fa azon csomópontja, amely ezen csomópontot generálta

(**szülő csomópont**)

- a csomópontot generáló operátor

- a gyökér csomóponttól eddig a csomópontig vezető út csomópontjainak a száma (a csomópont **mélysége**)

- a kiinduló állapottól a csomópontig számított út költség.

*(a csomópont nem az állapot!!!*

*a csomópont egy adatszerkezet, egy állapot a világ egy konfigurációja.*

*a csomópont rendelkezik mélységgel és szülővel, míg az állapot nem).*

**Keresési stratégiák**

**Négy kritérium:**

**- teljesség:** a stratégia garantáltan megtalálja a megoldást, amennyiben létezik

**- időigény:** mennyi ideig tart egy megoldás megtalálása

- **tárigény:** a keresés elvégzéséhez mennyi memóriára van szükség

- **optimalitás:** a stratégia megtalálja a legjobb minőségű megoldást,

amikor több különböző megoldás létezik

# Vak keresési módszerek

Semmilyen információnk nincs az aktuális állapotból a célállapotba vezető út lépésszámáról vagy út költségéről. Ezen keresési algoritmusok csak annyira képesek, hogy meg tudják különböztetni a célállapotokat a nem célállapotoktól.

**Keresések:**

**szélességi keresés**

**egyenletes költségű keresés** (mindig a legkisebb útköltségű csomópontot fejti ki először)

**mélységi keresés** (lineáris tárigény, nem teljes és nem optimális)

**mélységkorlátozott keresés** (korlát a max. mélységre)  
**iteratívan mélyülő keresés** (mélységkorlátozott keresések egymás után, egyre növekvő mélységgel)

**kétirányú keresés**

**A keresési stratégiák összehasonlítása:**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kritérium** | **Szélességi** | **Egyenletes költségű** | **Mélységi** | **Mélység-korlátozott** | **Iteratívan mélyülő** | **Kétirányú (amennyiben alkalmazható)** |
| **Idő igény** | *Bd* | *bd* | *bm* | *bl* | *bd* | *bd/2* |
| **Tár igény** | *Bd* | *bd* | *bm* | *bl* | *bd* | *bd/2* |
| **Optimális?** | Igen | Igen | Nem | Nem | Igen | Igen |
| **Teljes?** | Igen | Igen | Nem | Igen, ha *l* ≥ *d* | Igen | Igen |

A keresési stratégiák értékelése. *b* az elágazási tényező, *d* a megoldás mélysége, *m* a keresési fa maximális mélysége, *l* a mélység korlát.

# Informált keresési módszerek

## *Legjobbat-először (Best-First) keresés*

Következő kifejtendő csomópont? ⇒ tudás ⇒ **kiértékelő függvény**

- egy csomópont kifejtésének szükségességét leíró szám,

- sorrendezés, a legjobb értékkel rendelkező csomópont - legelőször kifejtésre

### *A becsült költség minimalizálása: a Mohó keresés*

**Heurisztikus függvény:** *h(n) =* az *n* csomópont állapotából egy cél-állapotba vezető legolcsóbb út becsült költsége (ezt minimalizálja).

***A\* keresés***

*h* függvény - *soha ne becsülje felül* a cél eléréséhez szükséges költséget; **elfogadható heurisztika**

(optimista, úgy gondolja, hogy a probléma megoldása kisebb költséggel jár, mint amekkora költséget a megoldás valójában igényel).

*amennyiben h elfogadható, akkor f(n) soha sem becsüli túl az n csomóponton keresztül vezető legjobb megoldás valódi költségét*

*f* függvényt alkalmazó legjobbat-először keresés, amelyben *h* elfogadható: **A\* keresés**

**maximális-út** egyenlőség: *f*(*n'*) *= max(f*(*n*)*,g*(*n'*)*+h*(*n'*))*.*

A heurisztikus függvény minősítése: *b\** **effektív elágazási tényező**: A\* által kifejtett összes csomópont száma egy adott problémára *N,* a megoldás mélysége *d*, akkor *b\** annak a *d* mélységű kiegyensúlyozott fának az elágazási tényezőjével egyezik meg, amely *N* csomópontot tartalmazna:

*N =* 1 + *b\* +* (*b\**)*2 + … +* (*b\**)*d.*

Minden *n* csomópontra *h2*(*n*)*≥ h1* (*n*), *h2* **dominálja** *h1*–et

Az olyan problémát, amelyben az operátorokra kevesebb megkötést teszünk, mint az eredeti problémában, **relaxált problémának** nevezzük.

*Nagyon gyakran teljesül, hogy a relaxált probléma pontos megoldásának költsége jó heurisztikus függvénynek (h) bizonyul az eredeti problémára.*

***EMA\****

Az EMA\* algoritmus egyszerű, legalábbis vázlatos szinten. Amikor egy követő csomópontot kell legenerálnia és már nem áll rendelkezésére felhasználható memória, akkor helyet kell csinálnia a sorban. Ehhez egy csomópontot törölni kell a sorból. Az ily módon törölt csomópontokat **elfelejtett csomópontoknak** nevezzük.

## *Iteratívan javító algoritmusok*

*Az alapötlet ennél a megközelítésnél az, hogy egy teljes (de nem jó) konfigurációból indulunk ki és olyan módosításokat hajtunk végre, ami javítja a konfiguráció minőségét.*

Az iteratívan javító algoritmusok két nagy csoportba oszthatók. A **hegymászó** (vagy **grádiens módszer**), ha a kiértékelő függvényt költségnek nem pedig minőségnek tekintjük) algoritmusok mindig olyan változtatásokat próbálnak meg végrehajtani, amik javítanak az aktuális állapoton. A **szimulált lehűtési** algoritmusok néha megengednek olyan lépéseket is, amelynek hatására (legalábbis átmenetileg) rosszabb állapotba kerülünk.

## Hegymászó keresés

A hegymászó keresés egyszerűen csak egy ciklus, ami mindig javuló értékek felé lép. Az algoritmus nem tart nyilván keresési fát, ezért a csomópontot leíró adatszerkezetnek csak az állapotot és a kiértékelését kell nyilvántartania. Egy fontos finomítás, hogy amikor egynél több legjobb követő csomópont létezik, az algoritmus közülük véletlenszerűen bármelyiket kiválaszthatja. Ez a megközelítés három ismert problémával küszködik.

## Szimulált lehűtés

Ahelyett, hogy ismét véletlenszerűen újraindítanánk a keresést, amikor az algoritmus egy lokális maximumban ragad, megengedhetjük a keresési algoritmusnak, hogy néhány lefelé vezető lépést tegyen, hogy elmeneküljön a lokális maximumból. Durván ez az alapgondolata a **szimulált lehűtés**nek. A szimulált lehűtés legbelső ciklusa nagyon hasonlít a hegymászáshoz. A *legjobb* lépés megtétele helyett azonban egy *véletlen* lépést tesz. Ha a lépés javítja a helyzetet, akkor az mindig végrehajtásra kerül. Ellenkező esetben az algoritmus a lépést csak valamilyen, 1-nél kisebb valószínűséggel teszi meg. A valószínűség exponenciálisan csökken a lépés "rosszaságával" – azzal a delta E mennyiséggel, amivel a kiértékelő függvény értéke romlott.

# A logikusan gondolkozó ágens - a tudásbázisú ágens Reprezentáció, következtetés és logika

**tudásbázis -**a világot leíró tények egy halmaza

**mondatok** - tudás darabkák, majd logikában "igazi" mondatok lesznek

**tudás reprezentációs nyelv**

**tudásreprezentáció** - a reprezentációs nyelv két aspektusa:

- a nyelv **szintaktikája:** a lehetséges konfigurációi az összes létrehozható mondatnak.

- a **szemantika** meghatározza a világ tényeit, amikre a mondatok vonatkoznak.

A szemantikával minden mondat állít valamit a világról. Szemantikával azt is

mondatjuk, hogy ha a mondat az ágens valamely fizikai konfiguráció által reprezentált,

akkor az ágens **hiszi** a hozzátartozó mondatot.

Új mondatokat akarunk létrehozni, amelyek szükségszerűen igazak, mivel a régi mondatok is igazak. Ezt a mondatok közötti kapcsolatot **vonzat**nak nevezzük, ami tükrözi azt a kapcsolatot, hogy egy tény következik a másikból.

**A vonzat reláció az tudásbázis *TB* és az *α* mondat között**: *TB* vonzata *α : TB⎬α*

**Következtetési eljárás (két dolgot tehet)**:

ha adott egy *TB*

*-* létrehozhatúj *α* mondatokat, amelyek vonzata a TB-nak.

- ha adott egy TB és egy másik *α* mondat, akkor megállapíthatja hogy *α* vonzata-e a TB-nak.

Az a következtetési eljárás, amely csak olyan mondatokat hoz létre, amelyek vonzatai más mondatoknak, **igazságtartó**nak nevezzük. Egy igazságtartó következtetési eljárás operációinak sorozatát **bizonyítás**nak nevezzük.

**Teljesség** kérdése: egy **következtetési eljárás teljes**, ha minden vonzat mondathoz képes találni egy bizonyítást

Az igazság függ mind a mondat interpretációjától, mind a világ aktuális állapotától.

Egy mondat **érvényes** avagy természetszerűleg igaz akkor és csakis akkor, ha minden világban minden lehetséges interpretációja igaz, függetlenül attól, hogy mit szándékozott jelenteni és függetlenül az univerzum leírt dolgainak állásától.

Egy mondat **kielégíthető** akkor és csakis akkor, ha létezik valamely interpretációja, amely valamely világban igaz.

Összefoglalva, elmondható, hogy a logika a következőkből áll:

- Egy formális rendszer a dolgok állapotainak leírásra, amely tartalmazza:

- a nyelv **szintaktikáját**, amely leírja, hogy hogyan készítsünk mondatokat

- a nyelv **szemantikáját**, amely kifejezi a mondatoknak a dolgok állapotával

levő kapcsolatát meghatározó szisztematikus kényszereket

- A **bizonyítás elmélet** – szabályok egy halmaza, amely mondatok egy halmaza

által maga után vont vonzat kikövetkeztetésére alkalmas.

Kétféle logika: az ítélet logika és az elsőrendű logika

Az **ítélet logikában** szimbólumok reprezentálnak teljes tényeket; például, *D*-nek lehet egy interpretációja, hogy a „Wumpus halott”, amely lehet hogy igaz, vagy lehet, hogy nem igaz állítás.

a szimbólumokat a **kötőszavakkal** kombinálhatjuk, hogy összetettebb jelentéssel bíró mondatokat hozzunk létre.

Az **elsőrendű logika** a világ reprezentációját **objektumok** és objektumokra épülő **predikátumok** (például, objektumok tulajdonságai vagy objektumok kapcsolatai) formájában valósítja meg, használva **kötőszavakat** és **kvantorokat**, amely megengedi, hogy rögtön bármiről az univerzumban megfogalmazhassunk mondatokat.

# Ítélet kalkulus (egyszerű logika)

**Szimbólumok:**  *igaz*  és *hamis* logikai konstansok,

ítélet szimbólumok, mint a *P* és a *Q*,

a logikai kötőszók a ∧,∨,⇔,→,és ¬, és a zárójelek, ().

Precedencia sorrendje (a legmagasabbtól a legalacsonyabb fele): ¬, ∧, ∨, → és ⇔.

**Modell** - bármely világ, amelyben egy mondat igaz egy bizonyos interpretációban.

# Az ítélet logika következtetési szabályai

*Deduktív következtetõ lépések (jól definiált formulák kombinálási módszerei)*

**Modus Ponens**  A, A → B

(Implikáció eliminálása) B

AND eliminálása A1∧A2∧...∧An

Ai

AND bevezetése A1, A2,..., An

A1∧A2∧...∧An

OR bevezetése Ai

A1 ∨ A2 ∨...∨ An

Dupla negálás eliminálása ¬ ¬A

A

**Elemi (egység)rezolúció** A ∨ B, ¬B

A

**Rezolúció**

A ∨ B, ¬B ∨ C

A ∨ C

**Fontos még:** (A ∧ B) ∨ C = (A ∨ C) ∧ (B ∨ C)

**A következtetés igazságtábla módszere teljes.**

**Logika monotonitása:** ha TB1 |= X akkor (TB1 ∪ TB2 ) |= X

**Horn klózok:** mondatoknak egy hasznos osztálya, amelyre létezik polinomiális idejű következtetési eljárás.

**Horn klóz:** *P1 ∧ P2…∧…Pn* → *Q*

**Elsőrendű logika - Predikátum kalkulus**

**Elsőrendű logika:**

**-** a világot **objektumok** alkotják, amelyek másik objektumoktól megkülönböztető saját azonosítókkal és **tulajdonságokkal** rendelkező dolgok.

- ezen objektumok között különböző **relációk** létezhetnek. A relációk közül néhány **függvény** – olyan reláció, ahol csak egy „értéke” van egy adott „bemenet” esetén.

**termek:** *BalLába*(*Apja*(*János*)), ...

Egy **term** egy objektumra vonatkozó logikai kifejezés. (Konstans szimbólumok tehát a legegyszerűbb termek).

**atomi mondatok**: *Bátyja*(*Apja*(*János*)), *Házas*(*Apja*(*Richárd*)*, Anyja*(*János*))*, ..*

Tényeket fejeznek ki. Egy atomi mondatot egy predikátum szimbólum és az őt követő

zárójelezett listán található termek listája alkotja. Az atomi mondatoknak lehetnek

összetett termek is az argumentumai.

**összetett mondatok:** *Bátyja*(*Apja*(*János*)) → *Házas*(*Apja*(*Richárd*), *Anyja*(*János*))

Használhatunk **logikai összekötő szimbólumokat** a még összetettebb mondatok építésére.

**kvantorok:**

Tulajdonságok, amelyek objektumok egész gyűjteményeire vonatkoznak, ahelyett hogy megneveznénk minden objektumot a nevével.

Az elsőrendű logika két standard kvantort tartalmaz:

**univerzális kvantor** (∀) ∀*x Macska*(*x*)**→** *Emlős*(*x*)

**egzisztenciális kvantor** (∃)

**Az egyediség kvantor: ∃!**

∃! *x Király*(*x*)

„Létezik egy egyedi objektum *x*, amely kielégíti a *Király(x)*-et” vagy kevésbé formálisan „létezik pontosan egy király”.

**Következtetési lépések kibõvítése**

**Modus Ponens:**  *E1* *P*(*A*)

*E1* → *E2* ∀*x* *P*(*x*) → Q(*x*) (ilyen kvantifikált implikáció általában

*E2* *Q*(*A*) egy korábbi indukció eredménye)

**Univerzális kvantor eliminálása:** ∀*x* *P*(*x*, *A*)

*P*(*B*, *A*)

**Egzisztenciális kvantor eliminálása:** ∃*x* *Q*(*x*, *A*)

Q(*B*,*A*)

*feltéve, hogy B-nek másutt nincs szerepe a tudásbázisban!*

B az ún. Skolem konstans, tehát bizonyos tulajdonságokkal rendelkezõ, pl. emberszerű, de a feladatban önálló léttel nem rendelkezõ objektum.

**Egzisztenciális kvantor bevezetése:**  *P*(*B*,*A*)

∃*x* *P*(*x*, *A*)

**Rezolúció:** *P*(*x*, *A*) ∨ *Q*(*x*)

¬*Q*(*B*) ∨ *R*(*x*)

*P*(*B*, *A*) ∨ *R*(*b*)

**Teljes: minden igaz állítás belátható** (Gödel, 1930, egzisztenciális bizonyítás)

**Félig eldönthetõ: hamis állítás hamis volta nem mutatható ki !**

**Általánosított Modus Ponens:**

ÉS bevezetése + Univerzális kvantor eliminálása + Modus Ponens

==> Általánosított Modus Ponens

*P1*(*x1*), *P2*(*x2*), ..., *Pn*(*xn*)

*P1*(*y1*) ∧ *P2*(*y2*) ∧...*Pn*(*yn*) → *Q*(*y1,y2,...,yn*)

---------------------------------------------------------

*Q*(*x1,x2,...,xn*)

**Horn klózzá alakítás:**

Horn klóz: **konjunkció → egyetlen atom**

*Konverzió Horn-klózokká:* egzisztenciális kvantor eliminálása + AND eliminálása

**Modus Ponens lépés nem képes felhasználni a tudásbázis összes állítását, vagy a tudásbázis létrehozásánál mesterséges megkötéseket kell alkalmazni!**

(Modus Ponens alapú bizonyítás nem teljes, de az elsőrendű logika teljes)

**Transzformáció klóz formára:**

1. Implikációt eltüntetni: *A* → *B* = ¬*A* ∨ *B*

2. Negálást az atomi formulák szintjére áthelyezni.

¬ (*A* ∨ *B*) = ¬*A* ∧ ¬*B*, ¬∀*x* *P*(*x*) = ∃*x* ¬*P*(*x*)

3. Egzisztenciális kvantorokat eltüntetni.

Skolemizálás (egzisztenciális kvantorok eliminálási folyamata)

∃ *x Owns*(*Nono, x*) ∧ *Missile*(*x*) ===> *Owns*(*Nono, M1*)

*Missile*(*M1*)

Every person has a heart (Minden embernek van szíve).

∀*x* *Person*(*x*) → ∃ *y* *Heart*(*y*) ∧ *Has*(*x*, *y*)

∀*x* *Person*(*x*) → *Heart*(*H1*) ∧ *Has*(*x*, *H1*)

feltéve, hogy *H1* (egy fiktív szív) sehol sem szerepel a tudásbázisban

∀*x* *Person*(*x*) → *Heart*(*f*(*x*)) ∧ *Has*(*x*, *f*(*x*))

feltéve, hogy *f*(*x*) (minden x-hez egy fiktív szív) sehol sem szerepel a tudásbázisban

4. Ha szükséges, a változókat átnevezni.

∀*x* *P*(*x*) ∨ ∀*x* *Q*(*x*) ----------> ∀*x* *P*(*x*) ∨ ∀*y* *Q*(*y*)

5. Univerzális kvantorokat balra kihelyezni.

....∀*x*....∀*y*.. = ∀*x*∀*y* ....*x*...*y*..

6. Diszjunkciókat literál szintjére áthelyezni.

(A ∧ B) ∨ C = (A ∨ C) ∧ (B ∨ C)

Ami most megvan, az **a konjunktív normal forma**

7. Konjunkciókat eltüntetni.

Bontás diszjunktív klózokra

8. Ha szükséges, a változókat átnevezni.

9. Univerzális kvantorokat elhagyni.

**A szituáció kalkulus**

A változások leírásának egy bizonyos módjának az elsőrendű logikában. Ez úgy tekinti a világot, hogy az **szituációk** sorozatából áll, amelynek mindegyike egy „pillanat felvétel” világ állapotáról.

Minden relációt vagy tulajdonságot amely időben változhat, a hozzátartozó predikátumhoz történő extra szituáció argumentum hozzáadása segítségével kezelünk. A szituáció argumentum mindig az utolsó és a szituáció konstansokat *Si* jelöli.

A **hatás axióma** szerepe leírni, hogy egy adott cselekvésnek milyen hatása van a világ általa megváltoztatott tulajdonságára.

A **keret axiómák** azt írják le, hogy hogyan marad a világ változatlan (a változás ellenkezőjeként). Együttesen a hatás axiómák és a keret axiómák egy teljes leírását adják, hogyan fejlődik a világ az ágens cselekvéseinek hatására.

**Utód-állapot axióma:** Összekombináljuk a hatás axiómákat és a keret axiómákat egyetlen axiómába, amely leírja hogyan számítsuk a *Birtokol* predikátumot a következő lépésben, ha adott az értéke a pillanatnyi lépésben. Egy ilyen axióma szükséges minden egyes predikátumhoz, amely változhat az idők során. Egy utód-állapot axiómának fel kell sorolnia, minden lehetséges módját a predikátum igazzá válásának és minden módot, amikor hamissá válik

**Igaz utána ⇔ [bármely cselekvés, amely igazzá tette**

**∨ már igaz volt és nem volt olyan cselekvés, ami hamissá tette volna]**