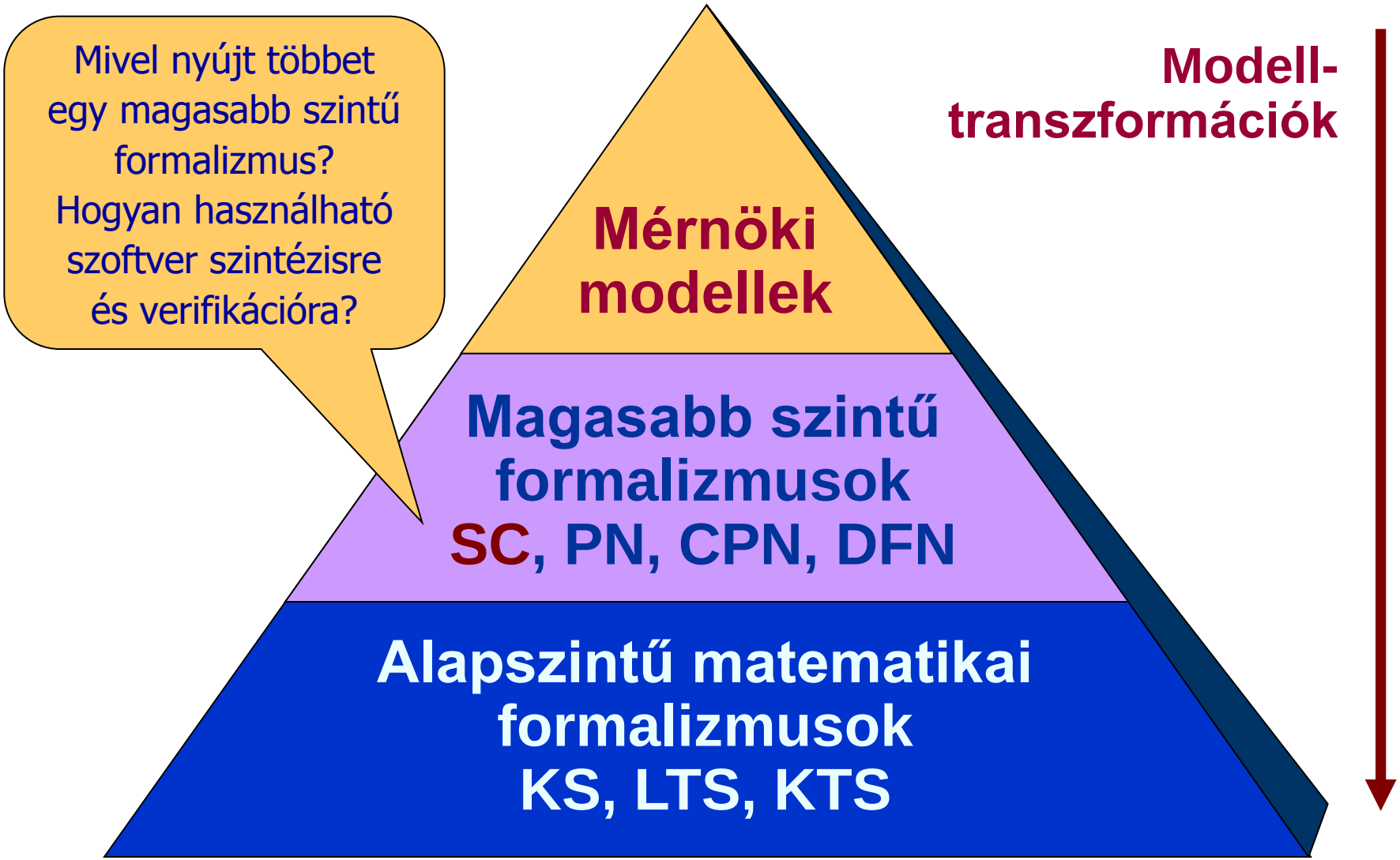
Magasabb szintű formalizmus: Állapottérképek (statecharts)

dr. Majzik István

BME Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Modellek a formális ellenőrzéshez



Tartalomjegyzék

Mi az állapottérképek célja?

- Állapot alapú, eseményvezérelt rendszerek viselkedésének megadására alkalmasak
  - Egy állapotgép viselkedésének leírása
  - Reaktív viselkedés:
    Külső események hatására történő állapotváltást ír le
    - Pl. bejövő üzenet, jelzés, hívás, …
  - Akciók: az állapotátmenetekhez rendelt tevékenységek, történések
    - Pl. értékadás, kimenő üzenet, …
- Szokásos használat:
  - Beágyazott rendszerek: bejövő események feldolgozása (pl. robot vezérlése, vagyonvédelmi rendszer, …)
  - Protokollok: üzenetek feldolgozása

Alapfogalmak

- Állapot, aktív állapot
  - Adott feltételek teljesülése (pl. művelet végrehajtható)
  - Állapotváltozók adott állapota
- Állapotátmenet
  - Állapot változása
  - Trigger esemény válthatja ki
    - Trigger nélküli átmenet: „önmagától” következik be
  - Őrfeltétel rendelhető hozzá
    - Állapotátmenet csak akkor történhet meg, ha az őrfeltétel igaz
  - Akció rendelhető hozzá
    - Állapotátmenethez rendelt tevékenység, történés
- Esemény
  - Aszinkron történés, paraméterei is lehetnek
  - Önálló elem, eseményosztály példánya
    - Öröklés: esemény attribútumok bővítése

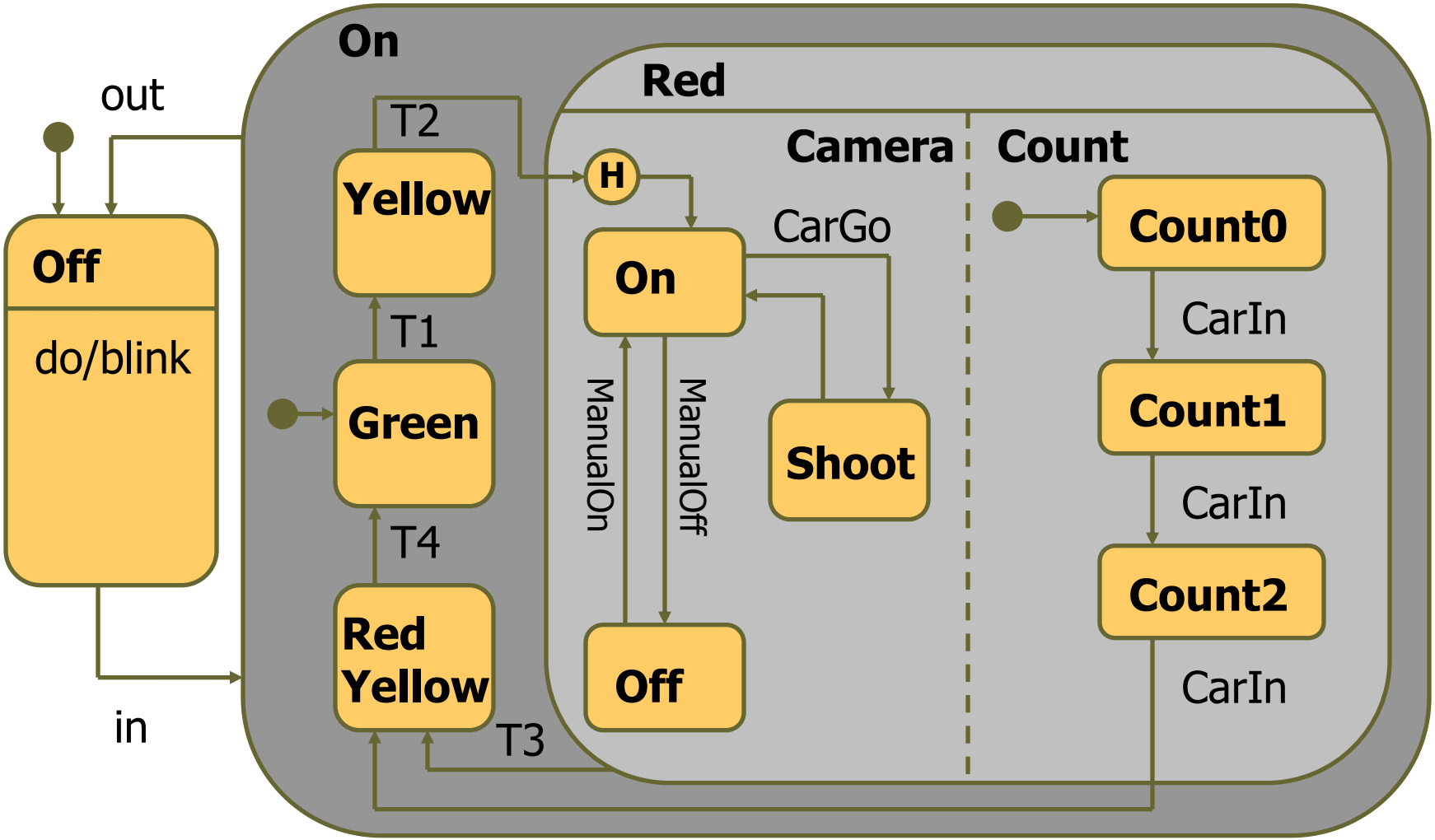
Új igények

- Állapotok finomítása: Állapothierarchia
  - Szuperállapot: alállapotokra bontható
- Konkurens viselkedés leírása
  - Nem akarunk sorrendi kötöttséget megadni (egyidejűleg, vagy tetszőleges sorrendben végzett feldolgozás)
  - Többszálú / elosztott / párhuzamos végrehajtás esetén
- Összetett állapotátmenetek
  - Szétváló, egyesülő, feltételtől függő elágazó átmenet
- Emlékezés: Visszatérés egy korábbi aktív állapotkonfigurációra
  - Visszatérés adott feldolgozáshoz közbenső esemény után
  - Egy állapotfinomítási szinten vagy mélyebben is

Állapotdiagramok és állapottérképek

- Állapotdiagram:
  - Egyszintű, egyszerű állapotok és átmenetek
    - Pl. UPPAAL esetén látott automaták leírása
- Állapottérkép: az állapotdiagram kiterjesztése
  - Állapothierarchia: állapotok finomítása
  - Konkurens régiók: konkurens viselkedés leírása
  - Összetett átmenetek: szétváló, egyesülő, feltételes
  - Emlékezés: Legutolsó aktív állapotkonfiguráció tárolása
  - Szintaktikai segédelemek
  - Ritkán használt (nem intuitív) kiegészítések
    - Késleltetett esemény
    - Szinkronizációs állapot
    - …

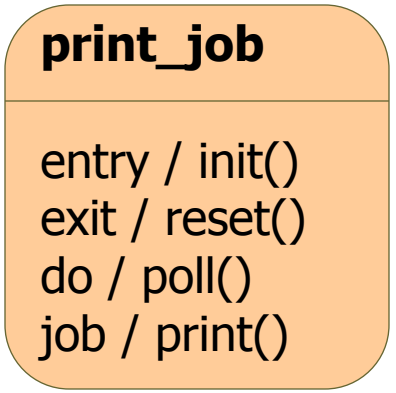
Egy állapottérkép



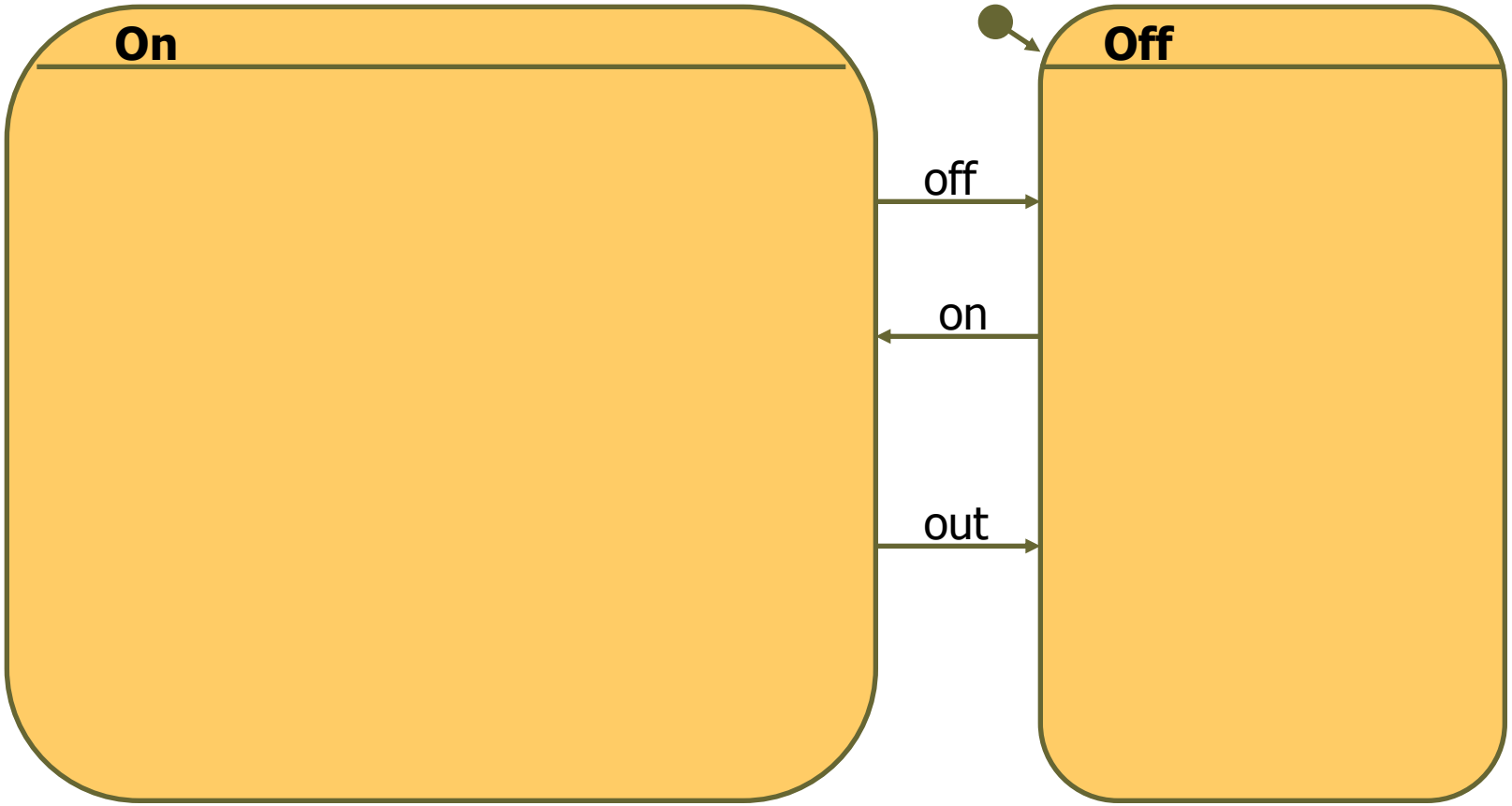
Az állapottérképek szintaxisa (UML szerinti szintaxis)

Állapotok: Akciók és állapotfinomítás

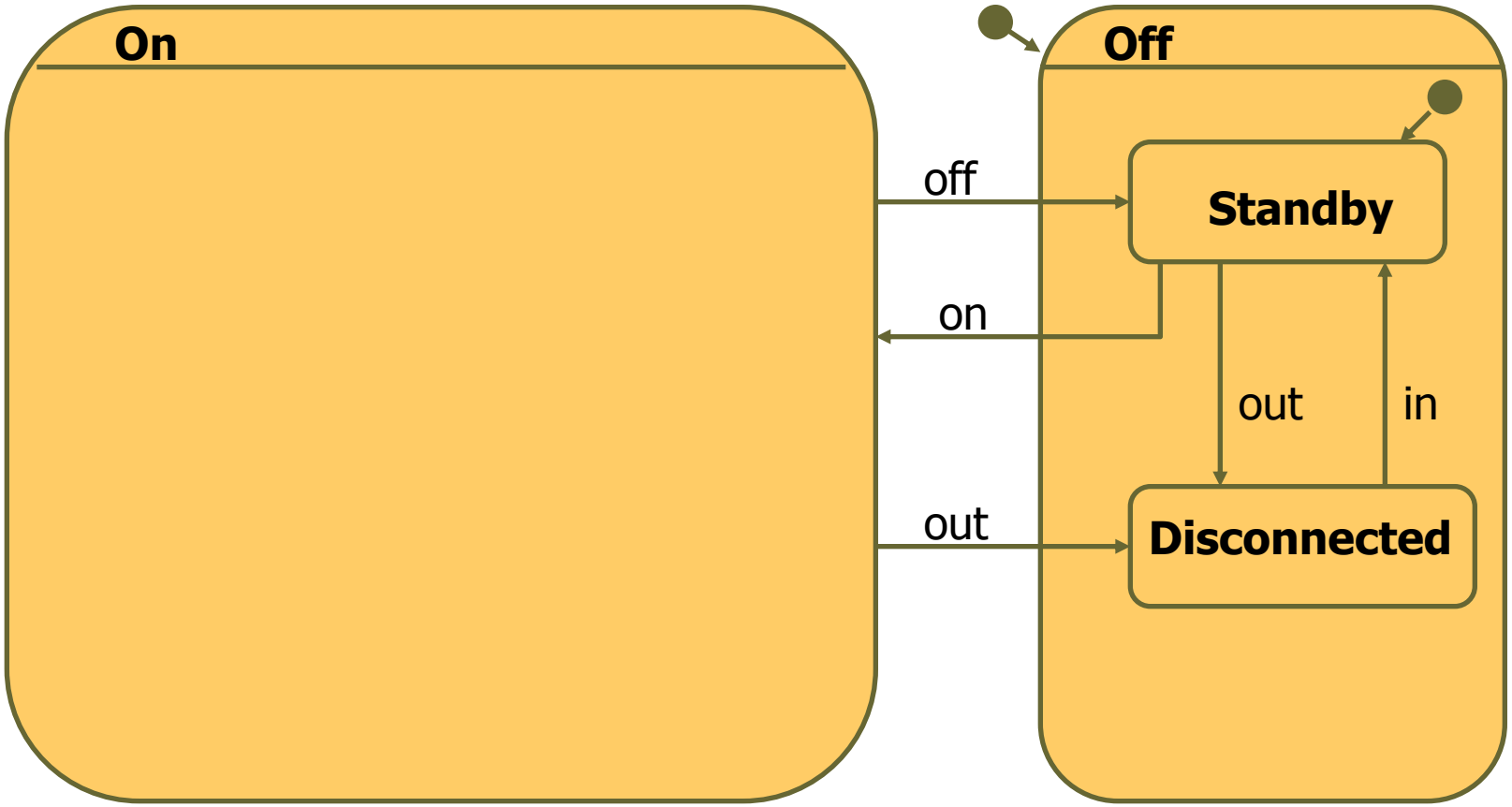
- Állapotok: Alapszintű modellelem
- Állapotokhoz kötődő akciók:
  - Belépési akció (entry / ...)
  - Kilépési akció (exit / ...)
  - Belső akciók (do / ...)
- Állapotfinomítás
  - Egyszerű állapot: nincs finomítása
  - OR jellegű finomítás: alárendelt állapotok
    - Ezek közül egyszerre egy állapot lehet aktív
  - AND jellegű finomítás: konkurens régiók
    - Egyidejűleg minden egyes régióban kell legyen aktív állapot!



Példa: Állapotfinomítás

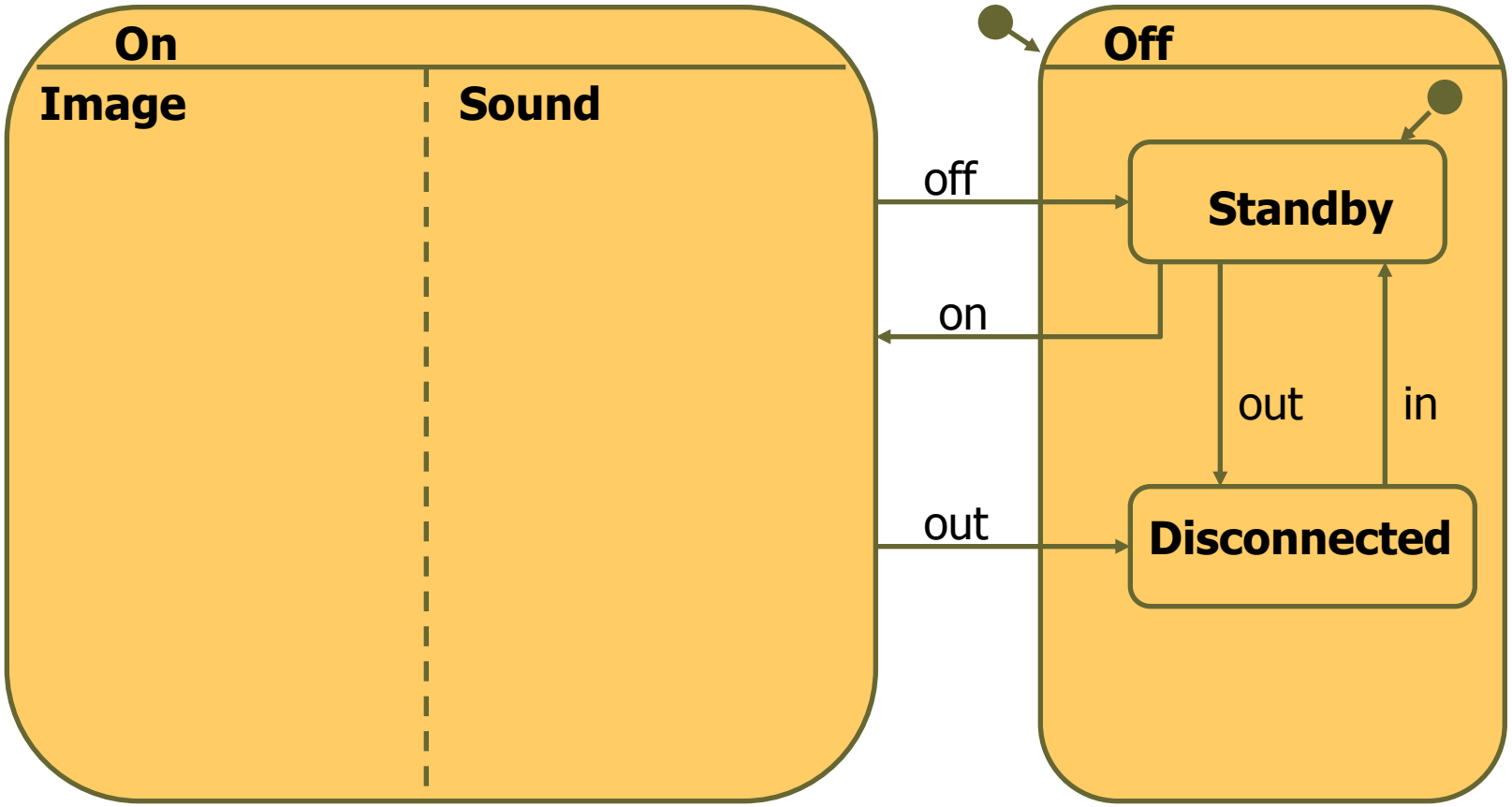


Példa: Állapotfinomítás



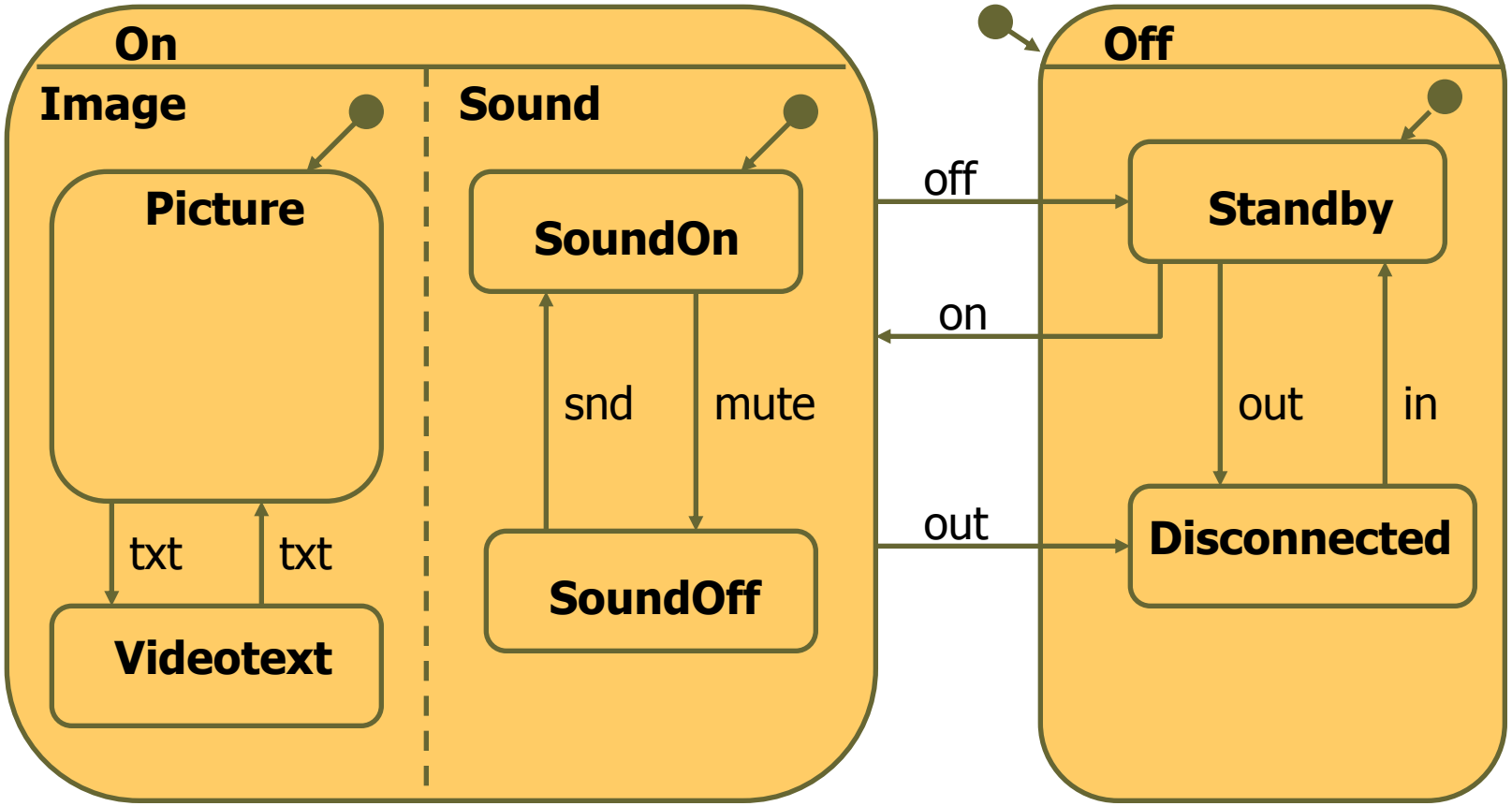
OR jellegű finomítás

Példa: Állapotfinomítás



AND jellegű finomítás

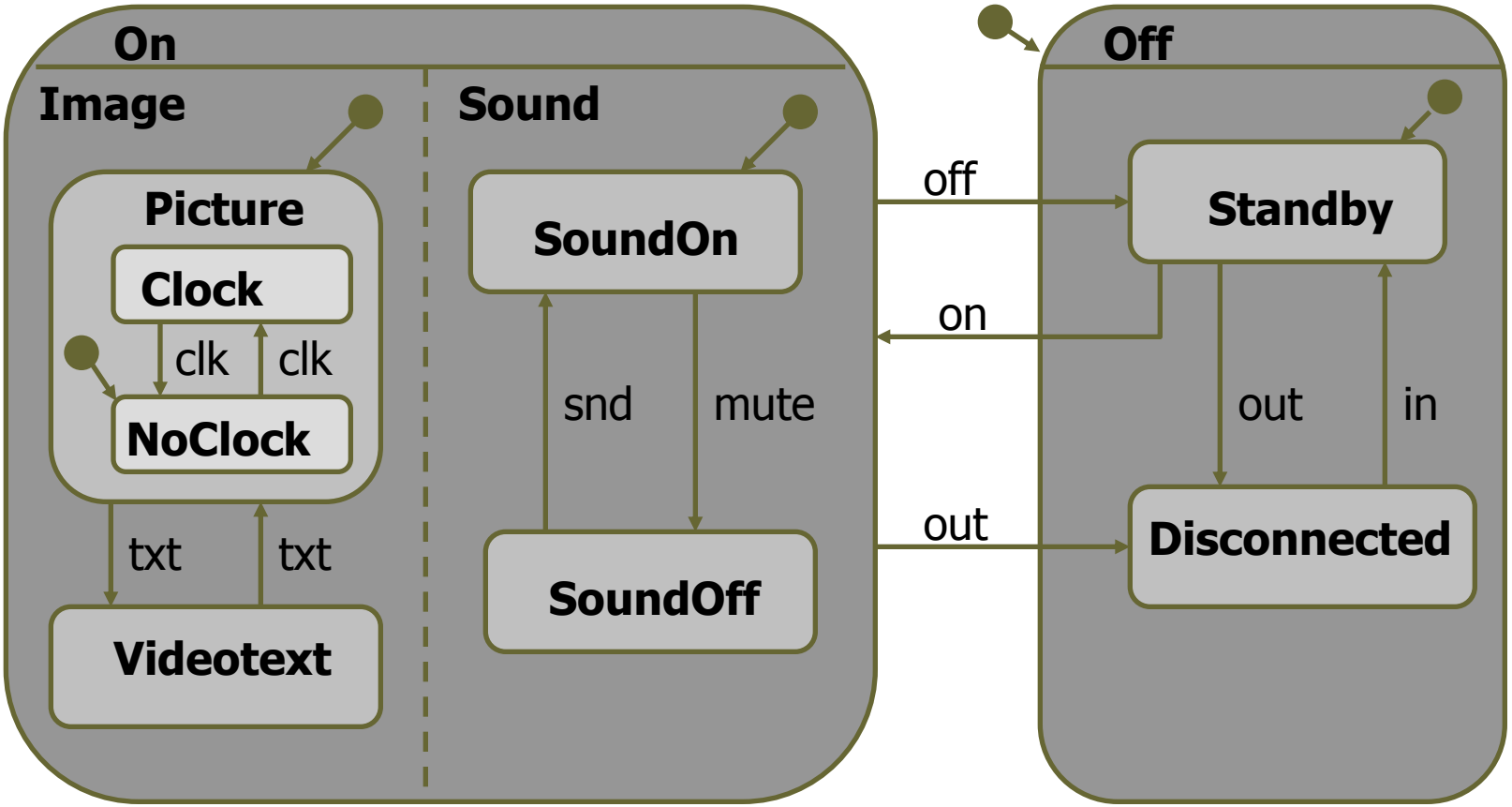
Példa: Állapotfinomítás



AND jellegű finomítás

OR jellegű finomítás

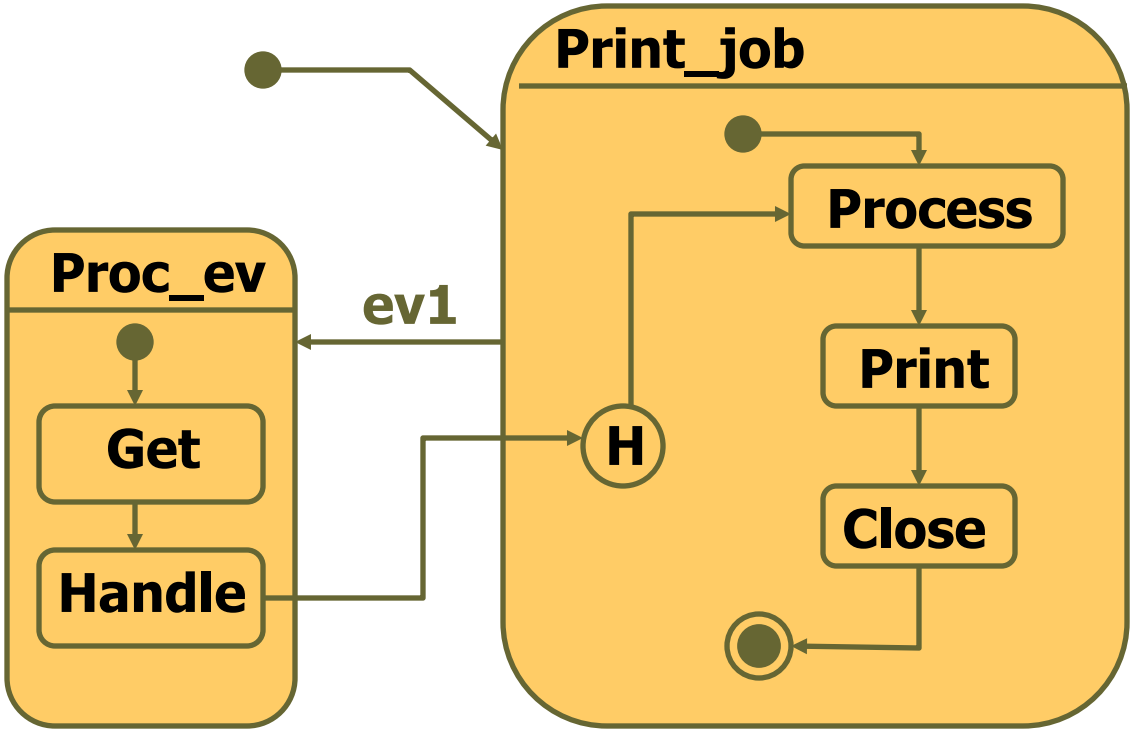
Példa: Állapotfinomítás



Pszeudo-állapotok

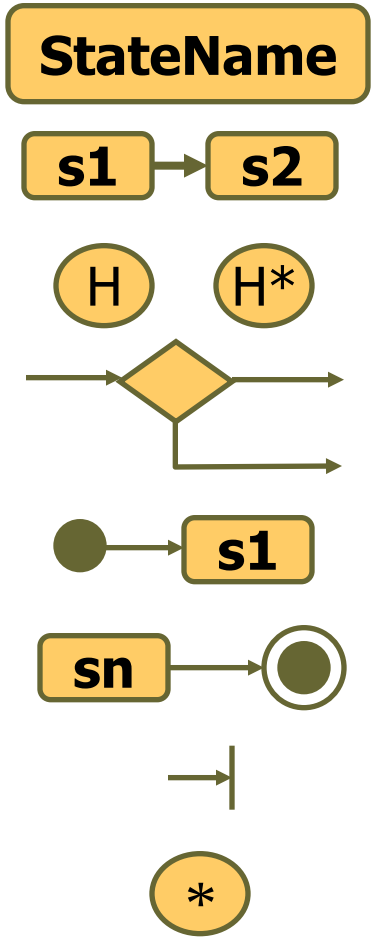
- Kezdőállapot jelzés: régióba való belépéskor lesz aktív 
  - Minden OR finomításban egy
  - Minden AND régióban egy
- Végállapot jelzés: állapotgép terminálás 
- Emlékező állapotok (history state)
  - A legutolsó aktív állapotkonfigurációt „tárolja”
    - Egyszerű emlékező állapot: csak az adott finomítási szinten 
    - Mélyen emlékező állapot: a mélyebb finomítási szinteket is 
  - Mit jelent az emlékező állapothoz húzott bemenő átmenet?
    - Tüzelésekor a „tárolt” állapotkonfigurációba kerül az objektum
    - Az emlékező állapot egy „hivatkozás” a tárolt állapotkonfigurációra
  - Mit jelent az emlékező állapotból húzott kimenő átmenet?
    - Alapértelmezett „tárolt” állapotot jelöl ki arra az esetre, ha előzőleg még nem volt aktív állapot

Példa: Emlékező állapot



Állapottérképek elemei

- Állapot
- Állapotátmenet
- Emlékező állapot
- Feltétel
- Kezdőállapot
- Végállapot
- Állapotcsonk
- (Szinkronizáció)



(Állapot)átmenetek

- Állapotátmenetek megadása
- Szintaxis:

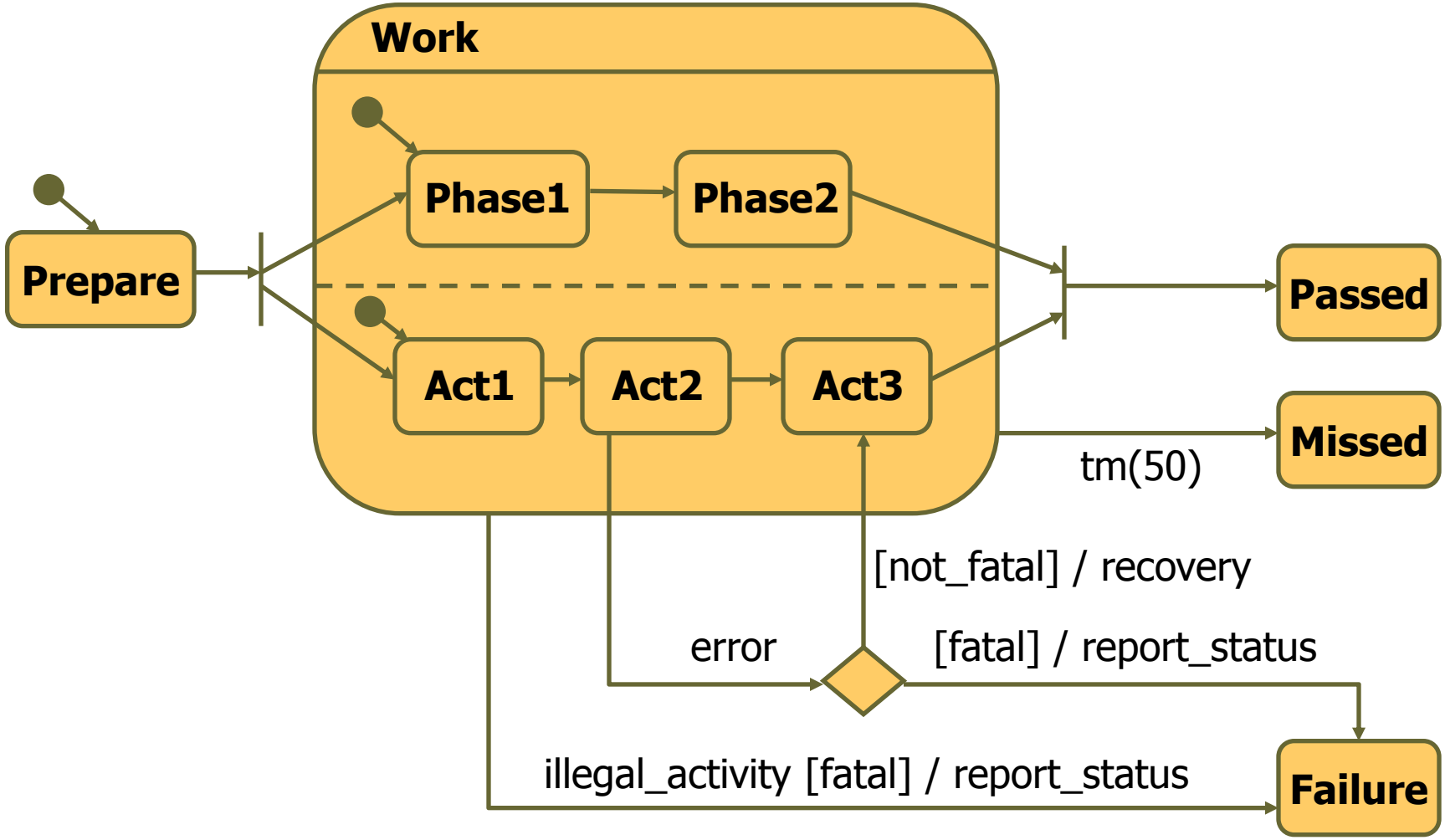
```
trigger [guard] / action
```

  - **`trigger`**: kiváltó esemény
  - **`guard`**: az átmenet őrfeltétele
    - Predikátum az állapotváltozók és esemény paraméterek felhasználásával
    - Állapotra való hivatkozás is lehet: is_in(state)
  - **`action`**: akció (művelet)
    - akció szemantika: művelet részletezése

Átmenetek specialitásai

- Time-out mint trigger:
  - Fennáll, ha az objektum az átmenethez tartozó kiindulási állapotban tartózkodik végig az adott időintervallumban
- Összetett átmenetek:
  - Szétváló (fork): konkurens régiókban lévő állapotokba való együttes belépés
  - Egyesülő (join): konkurens régiókban lévő állapotokból való együttes kilépés
  - Elágazó (condition): több, őrfeltételtől függő átmenet egyszerűsített jelölése (szegmensek)
- Állapothierarchián átívelő átmenetek
  - Megengedett (nem elegáns)

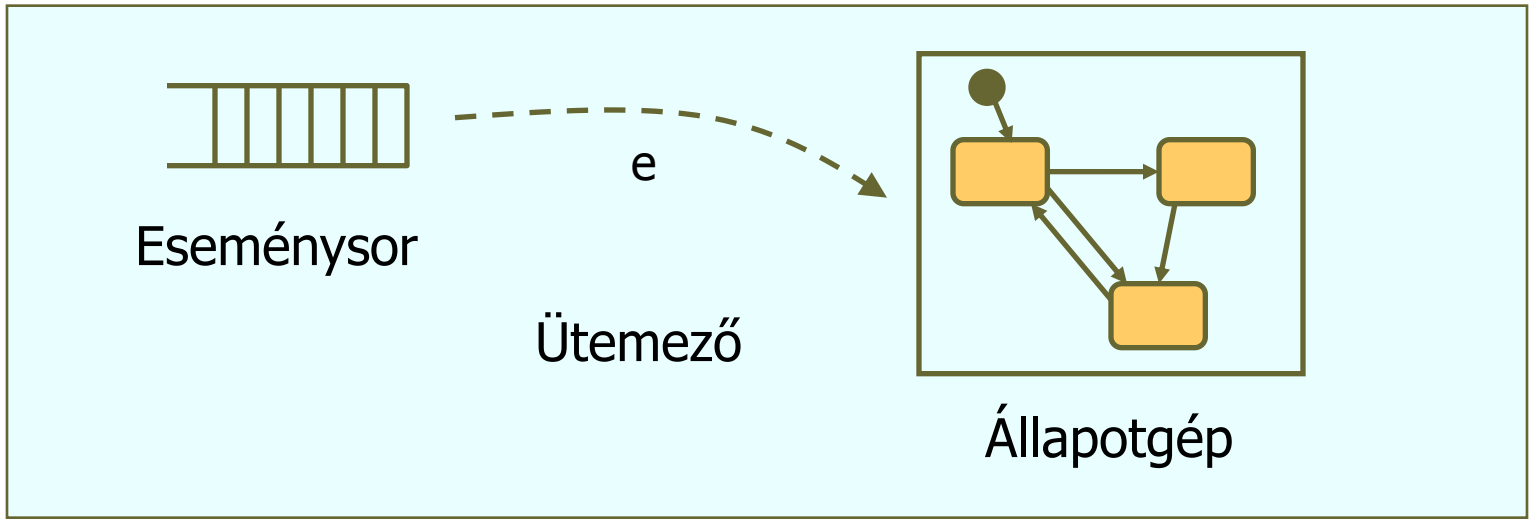
Példa: Állapotátmenetek



Az állapottérképek informális szemantikája (UML szerinti szemantika)

Szemantika: Hogyan működik?

- Alapelemek:
  - Állapotgép: Az állapottérkép írja le a viselkedését
  - Eseménysor + Ütemező: „Futtató rendszer” (az állapotgép szempontjából külső elemek)



Mit ad meg a szemantika?

Mit tesz az állapotgép egy esemény hatására
$\rightarrow$ állapotgép egy lépése

- Állapotátmenetek tüzelnek
  - Újdonság: egy esemény hatására több konkurens állapotátmenet tüzelhet
- Állapotkonfiguráció változik
  - Több aktív állapot lehet
    - Aktív állapot minden régiójában kell legyen egy aktív állapot
    - Aktív állapot OR finomításában kell legyen egy aktív állapot
  - Egy OR finomításban illetve egy régióban csak egy aktív állapot lehet
  - Rekurzívan érvényes

A szemantika alaptulajdonságai

- Egyenként feldolgozott események
  - Az ütemező akkor küld újabb eseményt, ha az előző feldolgozása teljes egészében megtörtént
    - Stabil állapotkonfiguráció kialakult: nincs trigger nélküli átmenet
- Események teljes feldolgozása (run to completion)
  - Átmenetek maximális halmaza tüzel
    - Minden engedélyezett átmenet tüzel, kivéve ha ezt konfliktus megakadályozza
  - Ezek tüzelése után dolgozza fel a következő eseményt
- Az eseményfeldolgozás a szemantika lényege
  - Ez alapján lehet programkód alakjában megvalósítani az állapotgépet (forráskód generálás)

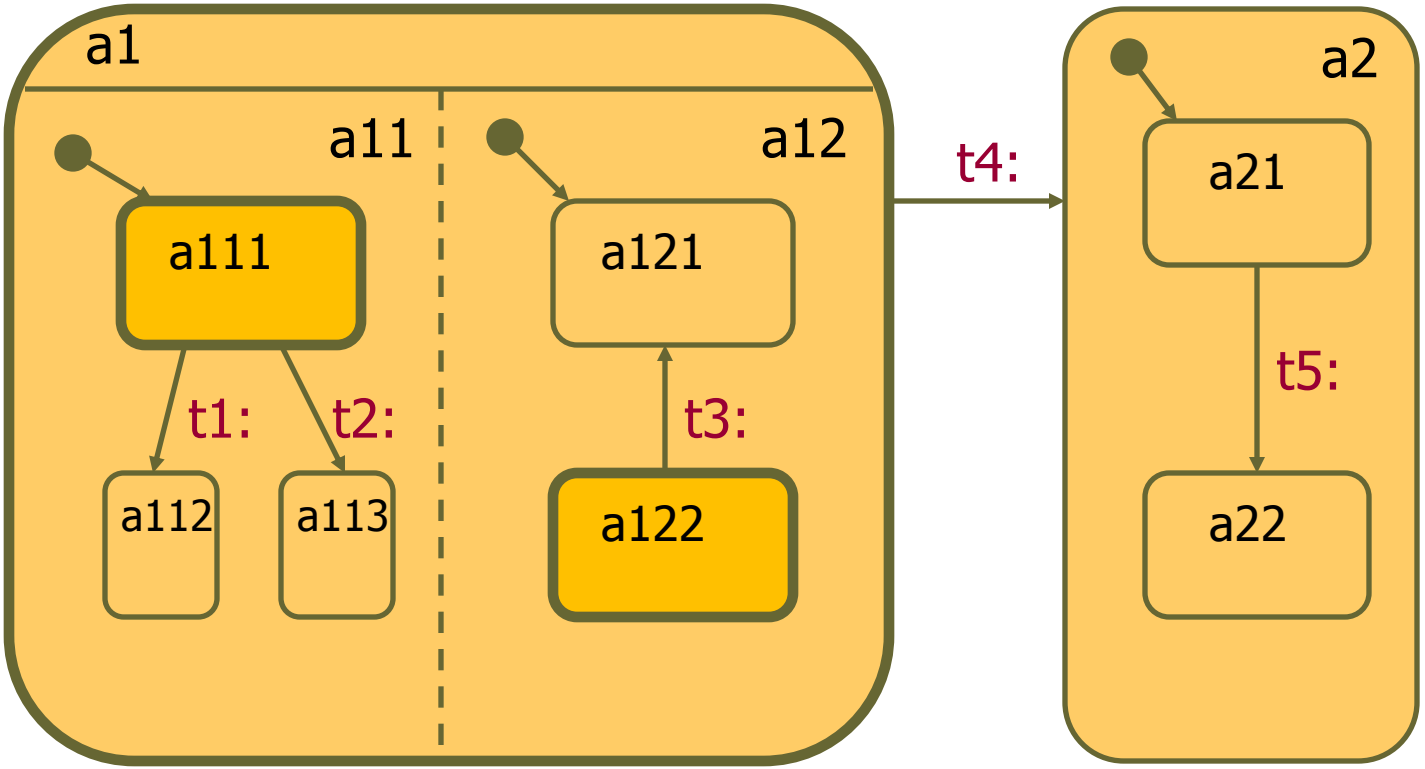
Az eseményfeldolgozás lépései 1/4

- Külső feltétel: Ütemező a stabil konfigurációban lévő állapotgépnek egy eseményt juttat
- Engedélyezett átmenetek:
  - Kiindulási (forrás-) állapot aktív
  - A kiválasztott esemény az átmenet triggere
  - Az őrfeltételek teljesülnek

  Esetek az engedélyezett átmenetek száma alapján:
  - Ha csak egy van: Tüzelhet!
  - Ha nincs: Halasztott-e az esemény?
    - Igen: tárolás, új esemény kérése az ütemezőtől
    - Nem: esemény eldobható (hatás nélküli)...
  - Ha több van: Tüzelő átmenetek kiválasztása szükséges
    - Befolyásol: A konfliktus

Példa: Konfliktus

A t1, …, t5 átmenetek ugyanazon e eseményre triggereltek.
Melyek nem tüzelhetnek együtt?



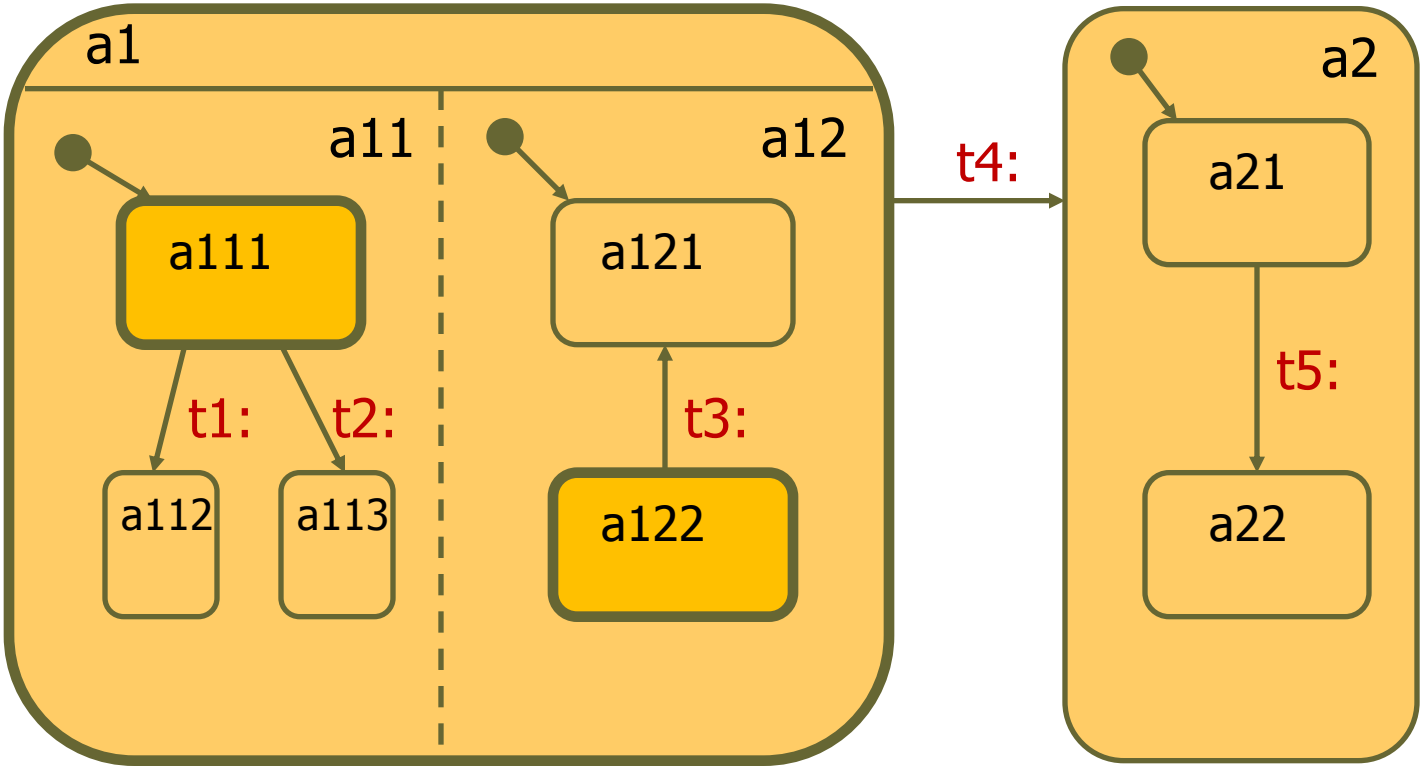
- Nem engedélyezett: t5 (forrásállapota nem aktív)
- Egyszerre nem tüzelhetnek: (t1,t2); (t1,t4); (t2,t4); (t3,t4)
- Egyszerre is tüzelhetnek: (t1,t3); (t2,t3);

Eseményfeldolgozás lépései 2/4

- Tüzelő átmenetek kiválasztása:
  - Maximális számú átmenet, nem lehet közöttük konfliktus
    - Konkurens átmenetek szimultán tüzelése
- Konfliktusban lévő átmenetek:
  - Ugyanazt az állapotot hagyják el, pontosabban az elhagyott állapothalmazok metszete nem üres
- Konfliktus feloldása:
  - Prioritás alapján: egy átmenet prioritása nagyobb, ha az átmenet kiindulási állapota az állapothierarchiában (finomításban) alacsonyabb szintű
    - OO koncepció: a finomítás „felüldefiniál”
  - Véletlenszerű választás, ha azonos prioritásúak

Példa: Konfliktusfeloldás

A t1, …, t5 átmenetek ugyanazon e eseményre triggereltek.
Melyek tüzelhetnek együtt?

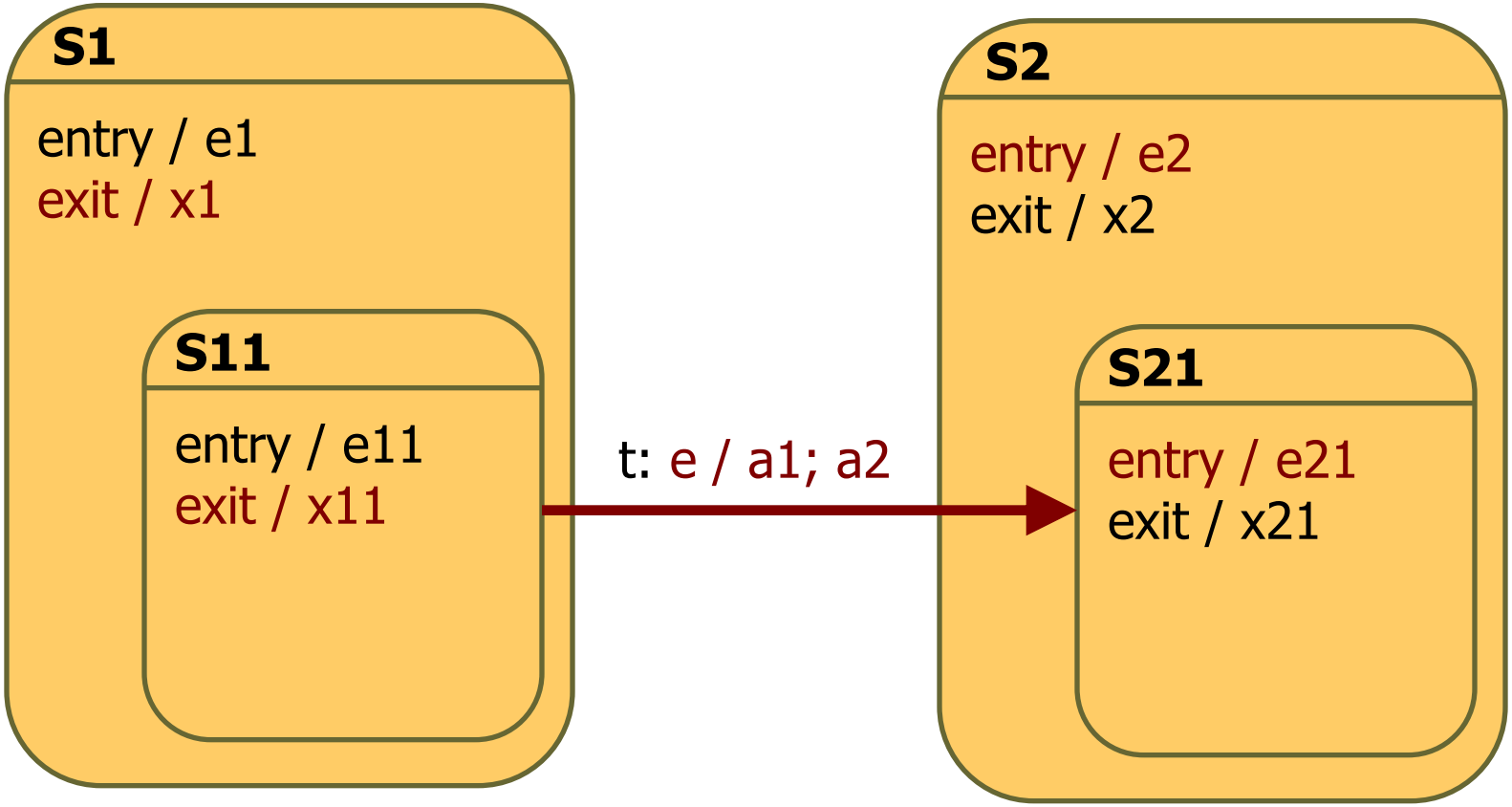


- Nagyobb prioritású t4-nél: t1 és t2
- Tüzelhet: (t1,t3) vagy (t2,t3)

Eseményfeldolgozás lépései 3/4

- Kiválasztott átmenetek tüzelnek:
  - Sorrend véletlenszerű (nincs köztük konfliktus)
  - Akció végrehajtási sorrend nemdeterminisztikus
- Egy átmenet tüzelése:
  1. Kiindulási állapotok elhagyása
     - Alacsonyabb hierarchiaszinten először
     - Kilépési akciók végrehajtása (exit akciók)
  2. Átmenetek akcióinak végrehajtása
  3. Célállapotokba való belépés → új konfiguráció
     - Magasabb hierarchiaszinten először
     - Belépési akciók végrehajtása (entry akciók)

Példa: Akciók sorrendezése

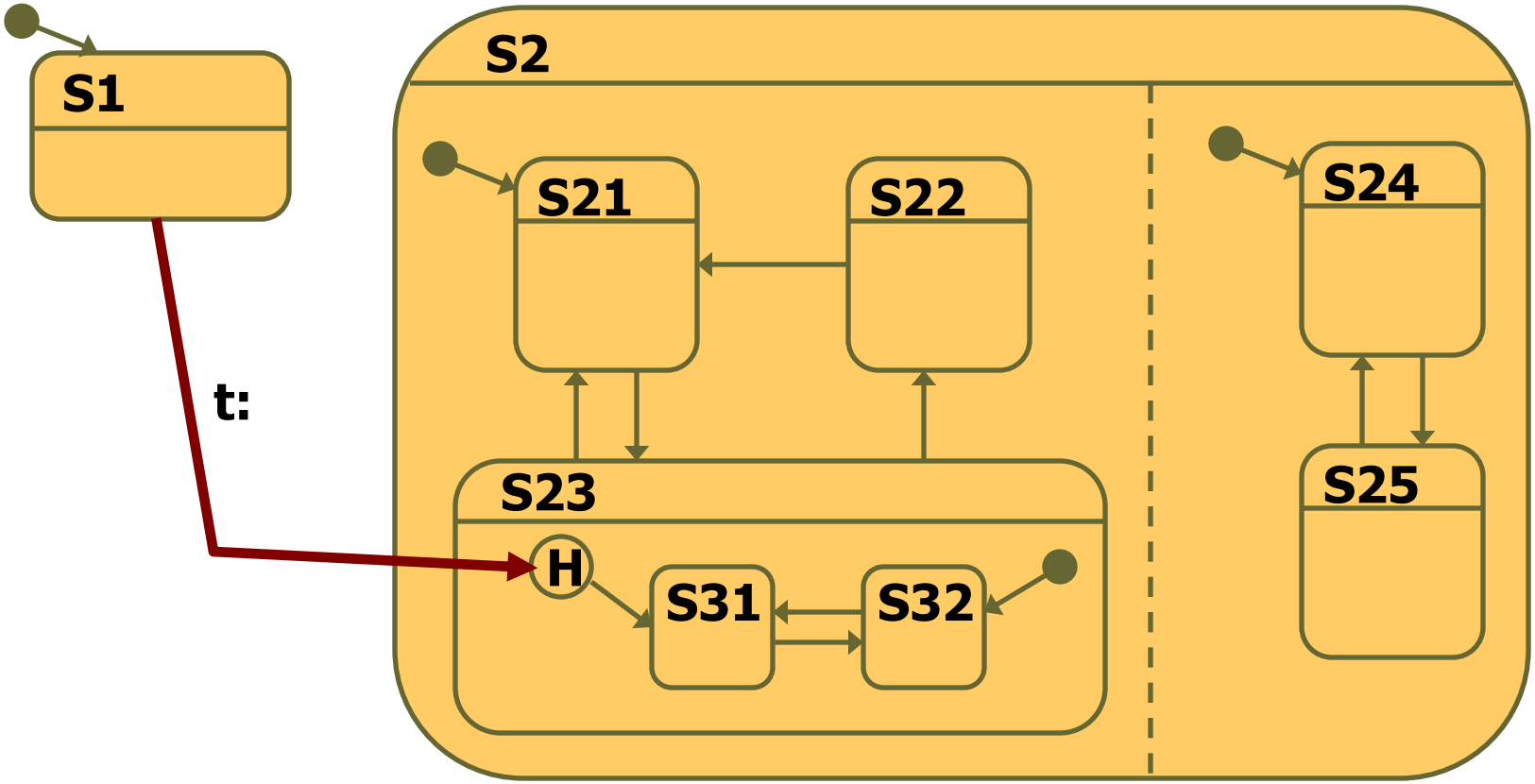


Akciók sorrendje: x11; x1; a1; a2; e2; e21

Eseményfeldolgozás lépései 4/4

- Belépés új konfigurációba különféle jellegű célállapotok esetén:
  - Ha egyszerű (nem finomított) a célállapot:
    - Új konfiguráció része lesz
    - Ős állapotai (amelyek finomításában szerepel) is aktívak lesznek
    - Aktívvá váló ős állapotok minden régiójában lesz aktív állapot (kezdőállapot jelöli ki)
  - Ha OR finomítása van a célállapotnak:
    - A finomításban a kezdőállapot jelöli ki az aktív állapotot
  - Ha AND finomítása van a célállapotnak:
    - Minden régiójában kell legyen aktív állapot (kezdőállapot jelöli ki)
  - Ha emlékező állapot:
    - Az utoljára elhagyott állapotkonfiguráció lesz újra aktív
    - Ha nem volt még ilyen: a kimenő él határozza meg
  - Ha nem stabil az állapot: azonnali továbblépés

Példa: Belépés konkurens állapotba

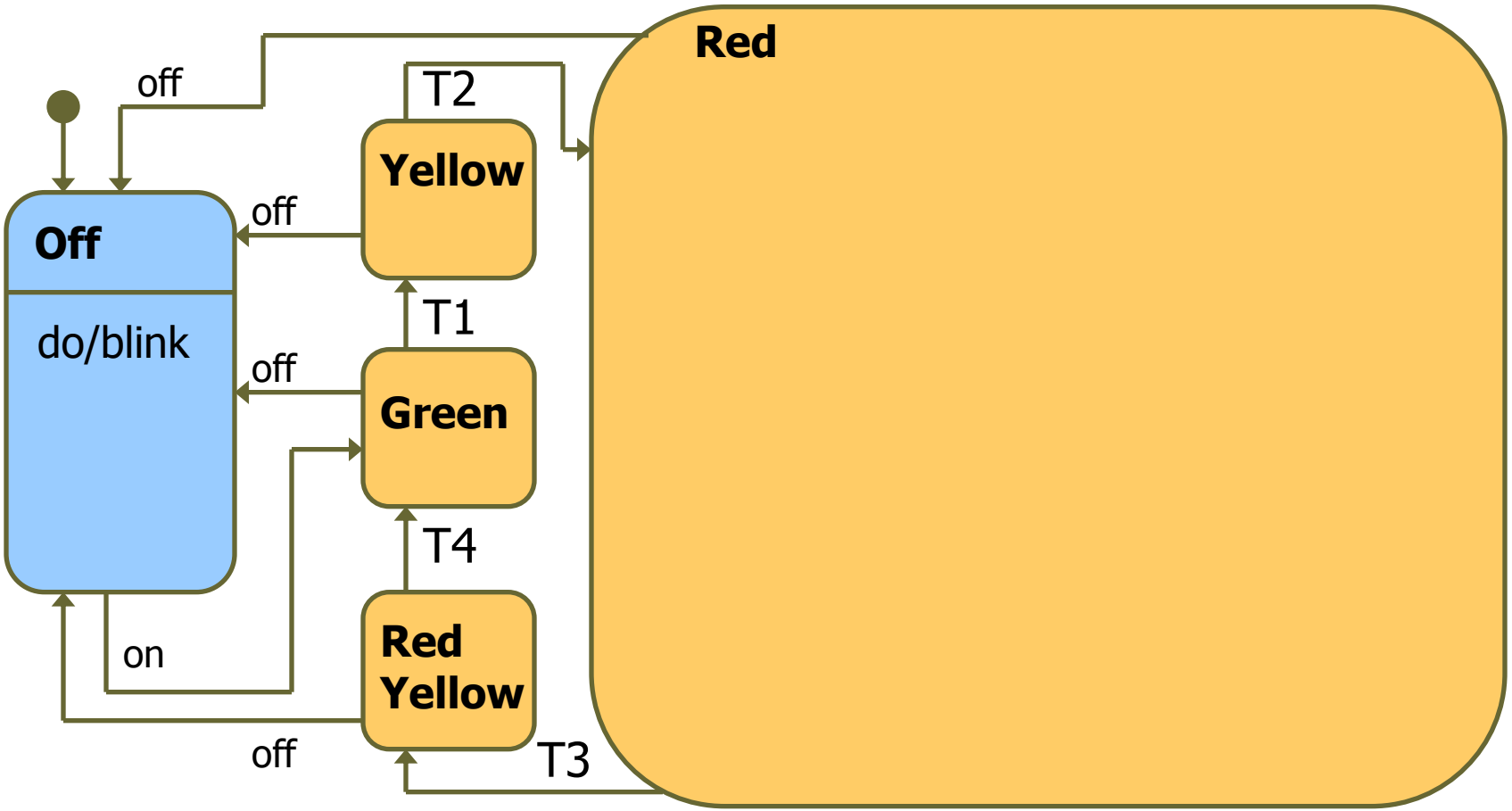


A **t** átmenet tüzelése után mi lesz az új állapotkonfiguráció?

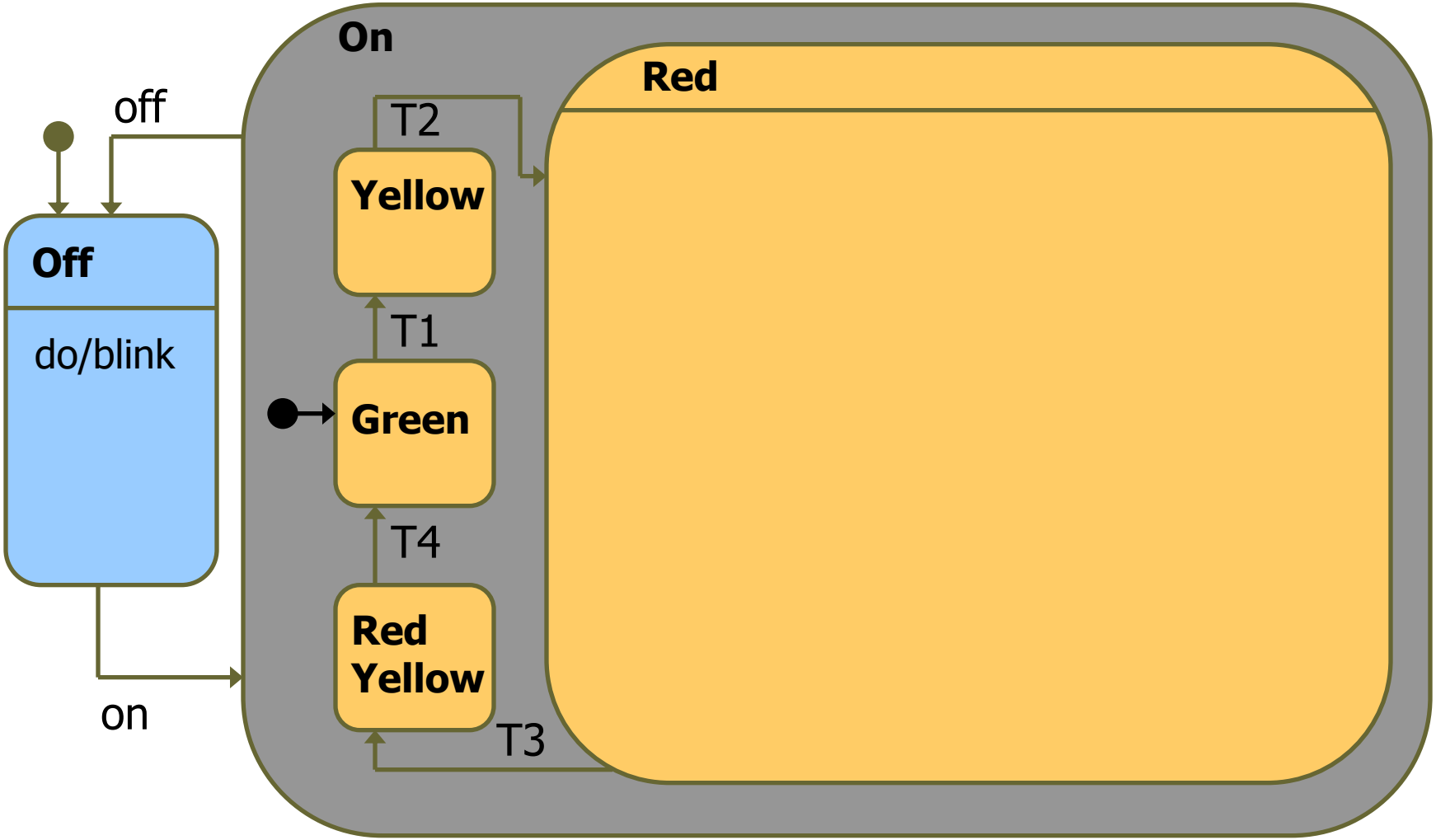
Mintapélda

- Közlekedési lámpa vezérlője egy főútvonal és egy mellékútvonal kereszteződésében
  - Bekapcsoláskor: kezdetben főútvonal számára zöld
  - Kikapcsoláskor: villogó sárga
  - Zöld, sárga, piros váltás: időzítő eseményre
  - Főútvonalon 3 várakozó: időzítőtől függetlenül zöld jelzés szükséges
  - Főútvonalon tilosban áthajtók: fényképezés
    - Ez a funkció kézzel ki-be kapcsolható

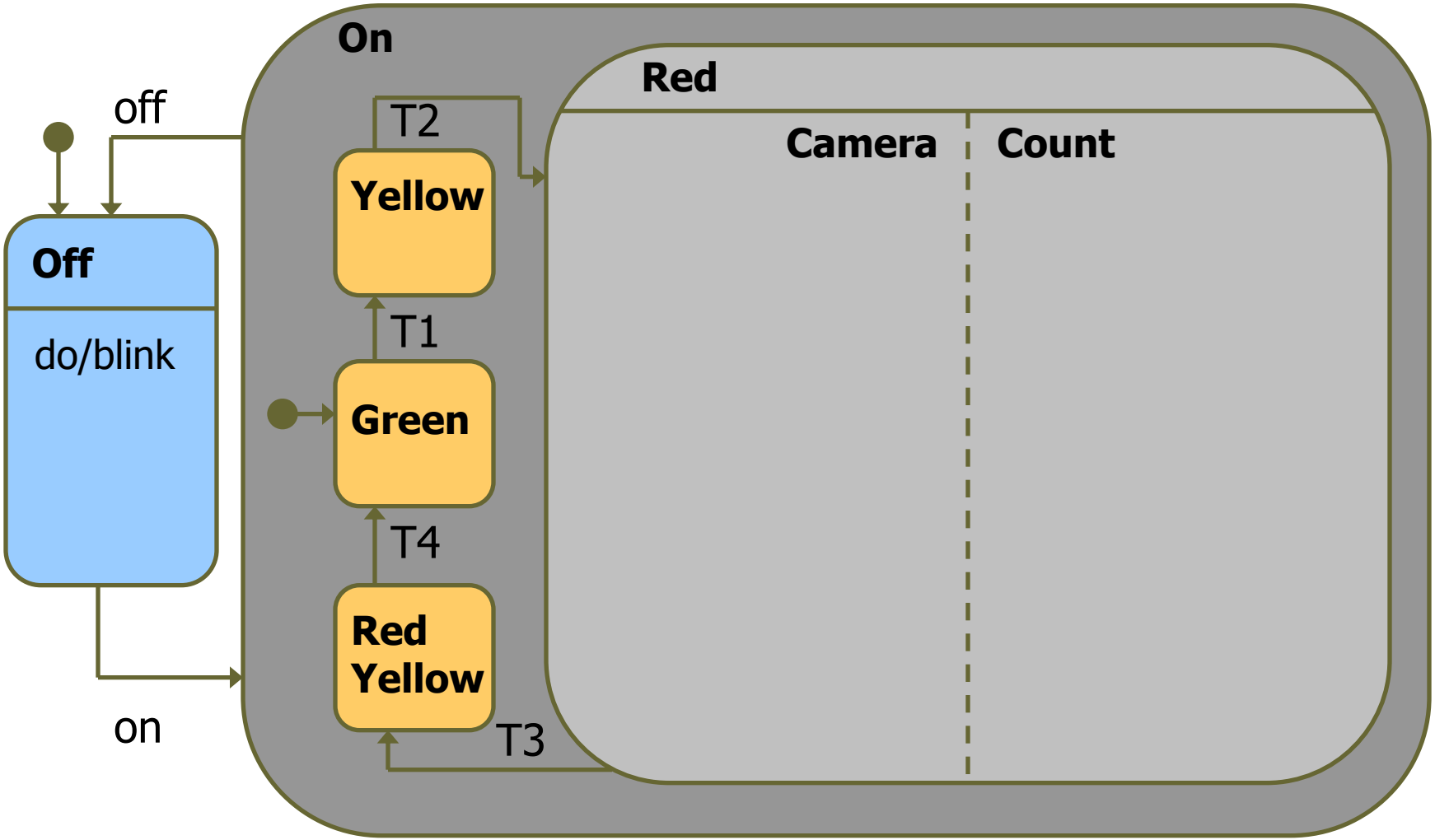
1. Lámpaváltás



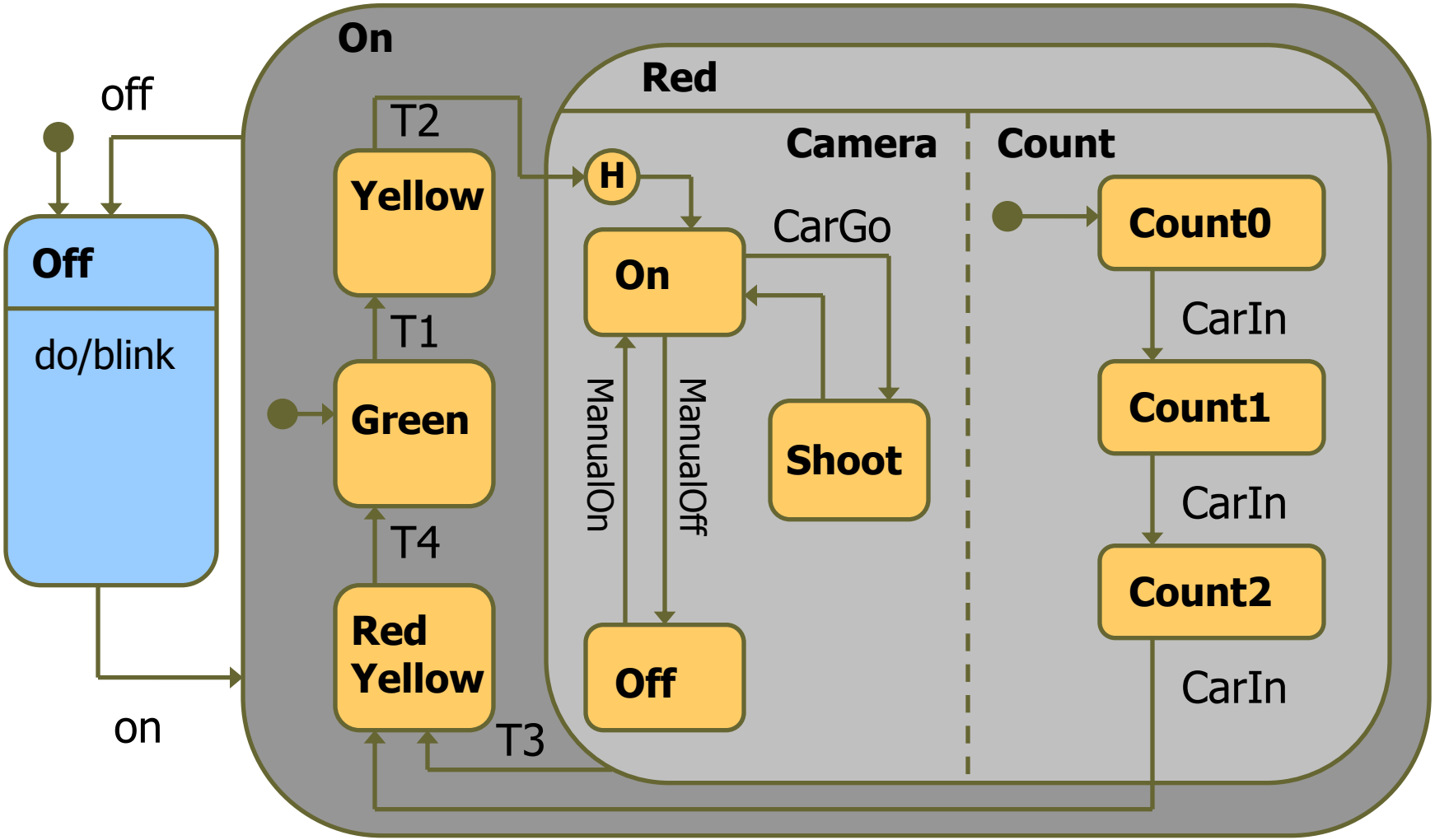
2. Állapothierarchia



3. Konkurens alállapotok



4. Teljes vezérlő



Állapottérképek alapjai (összefoglalás)

- Kiterjesztések
- Állapottérkép szintaxis
  - Állapothierarchia
  - Konkurens régiók
  - Összetett átmenetek
  - Emlékező állapotok
- Állapottérkép informális szemantika
  - Átmenetek engedélyezettsége
  - Tüzelő átmenetek kiválasztása
  - Átmenetek tüzelése
  - Új állapotkonfiguráció kialakulása

Mire használhatók az állapottérképek?

- Vizsgálat szimulációval
- Modellellenőrzés
  - Leképezhető Kripke struktúrára
    vagy Kripke tranzíciós rendszerre
- Kód(váz) generálása
  - Futtató környezetbe helyezhető
  - Akció függvények: kézi kódolással bővíthető
- Tesztek generálása
- Érdemes megnézni:
  - Yakindu Statechart Tools (statecharts.org)
  - Quantum Programming (state-machine.com)