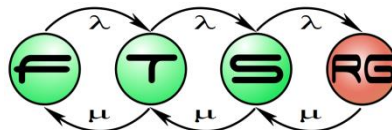


Állapot alapú modellezés

Rendszermodellezés 2019.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Hibatűrő Rendszerek Kutatócsoport



Tartalom

Előismeretek

Állapotterek

Egyszerű (Mealy) állapotgépek

Összetett (Harel) állapotgépek

Kitekintés, szoftverek

Előismeretek

Állapottér

Mealy gépek

Harel gépek

Kitekintés

ELŐISMERETEK

Felépítési és viselkedési modellezés

■ Felépítési (*structural*)

- Statikus
- Rész és egész, összetevők
- Kapcsolatok, összeköttetések

A robotporszívó főbb részei a vezérlő, a hajtómű, és a porszívó.

■ Viselkedési (*behavioral*)

- Dinamikus
- Időbeli lefolyás
- Állapot, folyamat
- Reakciók a külvilágra

A hajtómű „jobbra” parancs hatására átvált „kanyarodás” üzemmódba



Viselkedésmodellek fő kérdései

- Mit „csinál” a rendszer?



Esemény alapú modell
Folyamat alapú modell
...

- Most „milyen”, és hogyan változik a rendszer?



Állapot alapú modell

Motiváló példa: virtuális billentyűzet

- Mi történik, ha megérintem a bal felső sarokban?
 - Q, q, 1 vagy =
 - Csak a „múlt” alapján eldönthető



Alapozás: diszkrét eseménysor

■ Esemény

- pillanatszerű változás (a rendszerben vagy ki/bemeneten)

■ Eseményfolyam

- Pl. input/output adatforrás

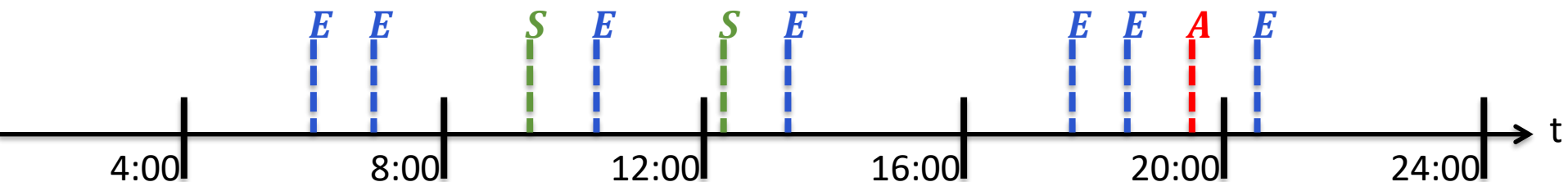
■ Eseménytér – {megengedett események}

- Beolvasható input értékek, kibocsátható output értékek

■ Pillanatszerű események sora, egyszerre ≤ 1

Eseményfolyam: telefon értesítési jelzései

Eseménytér: {*Email*, *SMS*, *Alacsony töltöttség*}



Eseményorientált programozás

The image shows a screenshot of the Chrome DevTools interface, specifically the 'Event Listeners' panel. A red rectangle highlights the 'mousedown' event listener for the element `div#main-frame-error.interstitial-wrapper`. The event listener details are as follows:

- Event: `mousedown`
- Target: `document` (URL: `data:text/html,chrome...`)
- Handler: `Runner`
- isAttribute: `false`
- lineNumber: `1308`
- listenerBody: `"function (e) { ... ret...`
- node: `document`
- sourceName: `"data:text/html,chromeweb...`
- type: `"mousedown"`
- useCapture: `false`

The 'Elements' panel on the right shows the DOM tree with the selected element highlighted. The URL bar at the top indicates the page is `https://www.google.h...`.

Előismeretek

Állapottér

Mealy gépek

Harel gépek

Kitekintés

ÁLLAPOTTEREK

Definíció: Állapottér

Az állapottér

- egymástól megkülönböztetett **rendszerállapotok** halmaza,
- amelynek minden időpontban pontosan egy eleme (a **pillanatnyi állapot**)

jellemzi a rendszert.

○ Állapottér példák

- {*hétfő, kedd, szerda, csütörtök, péntek, szombat, vasárnap*}
- mikró állapotai: {*teljes fokozat, kiolvasztó mód, kikapcsolva*}

○ Pillanatnyi állapot példák

- ma *szerda* van
- a mikró most éppen *kiolvasztó mód*ban üzemel



Az állapottér tulajdonságai

„pontosan egy eleme jellemzi a rendszert”

- Nem minden állapothalmaz lehet állapottér!

■ Teljesség

- Mindig legalább az egyik állapot fennáll
- Ellenpélda (nem alkalmas állapottérnek!)
 - $\{\text{hétfő, kedd, csütörtök, szombat}\}$ nem teljes

■ Kölcsönös kizárólagosság

- Egyszerre legfeljebb egy állapot állhat fent
- Ellenpéldák (nem alkalmasak állapottérnek!)
 - $\{\text{hétköznapi, hétvége, délután}\}$ nem kizárólagos (holott teljes)
 - mikró $\{\text{ajtaja tárva, kikapcsolva}\}$

Miért fontosak ezek a tulajdonságok?

- Szökőnap a Düsseldorf-i Reptéren



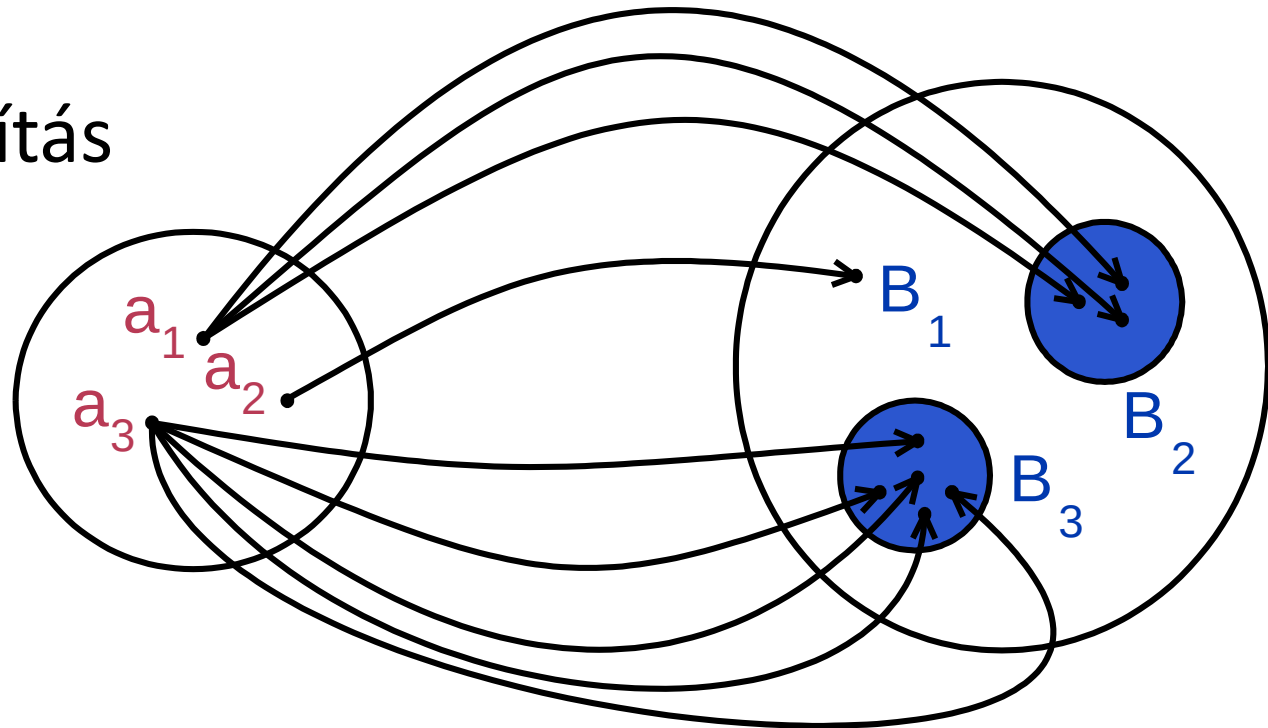
[https://futurezone.at/digital-life/flughafen-software-kannte-schalttag-nicht-koffer-gestrandet/184.135.493 /](https://futurezone.at/digital-life/flughafen-software-kannte-schalttag-nicht-koffer-gestrandet/184.135.493/)

Definíció: Állapotfinomítás és -absztrakció

Az **állapotfinomítás** ill. **állapotabsztrakció** az állapottéren mint halmazon végzett **halmazfinomítás** ill. **halmazabsztrakció**, melynek eredménye egy újabb állapottér.

- (Másfajta absztrakciókkal is találkozunk majd...)

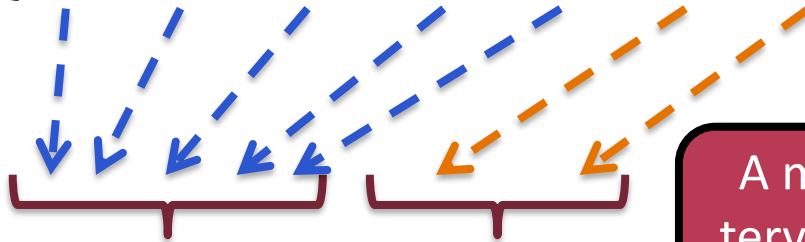
Ismétlés:
halmazfinomítás



Állapotfinomítás, állapotabsztrakció

- Állapotfinomítás/absztrakció: az állapottéren végzett halmazfinomítás/absztrakció

- {*Hé*, *Ke*, *Sze*, *Csü*, *Pé*, *Szo*, *Va*}

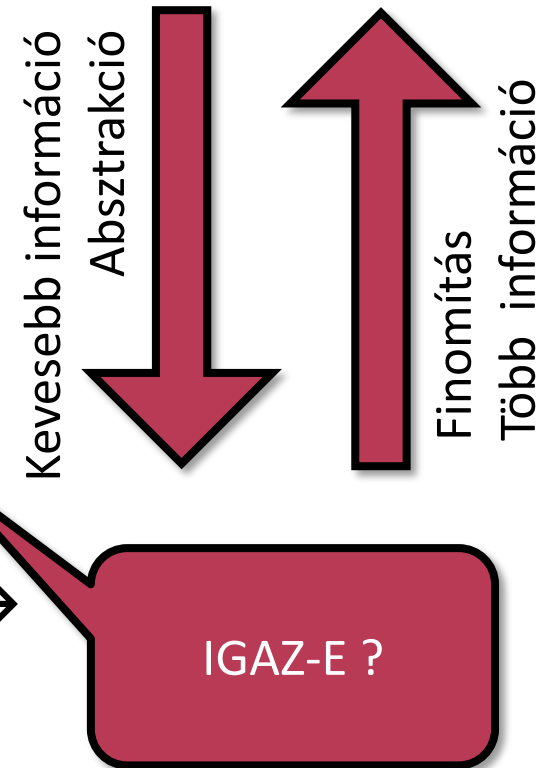


- {*hétköznap*, *hétvége*}

A menetrend tervezőjét csak ennyi érdekli

- Mikro állapotabsztrakciója

- {*teljes fokozat*, *olvasztó*, *kikapcsolva*} →
 {*bekapcsolva*, *kikapcsolva*}
- „*kikapcsolva*” változatlan



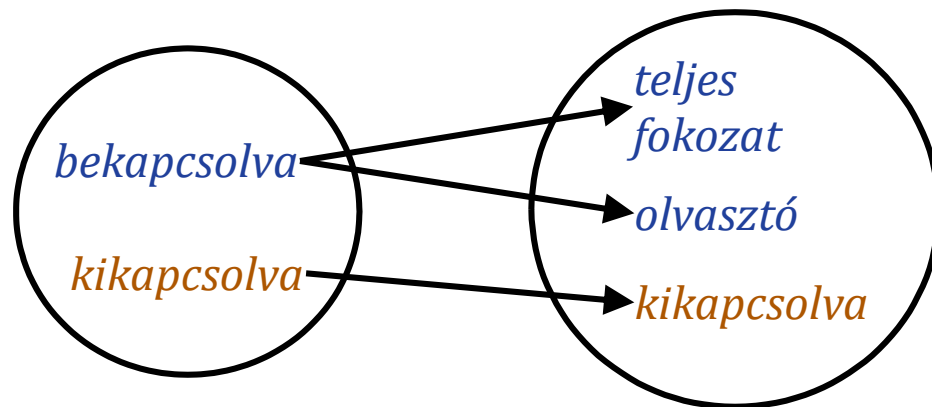
Finomítás motivációja

■ Állapotfinomítás: miért?

- Tervezés előrehaladása, több megvalósítási részlet
 - Pl. erősáramú tervezéshez fontos a mikró fokozata
- Specializáció / kiegészítés
 - Pl. egy fejlettebb mikró már időzítőt is tartalmaz...
- Több rendszer együttes vizsgálata (ld. később)

■ Több információ, több tudás

- Ez vajon mindig jó?



Absztrakció motivációja

- Állapotabsztrakció: miért?
 - Akkor hasznos, ha az absztrakt állapotok
 - „egységesek” majdnem ekvivalensek
 - Valamilyen szempontból egyformák az összevont állapotok
 - Ld. „helyettesítési tulajdonságú partíció” → Digit
 - Bizonyos feladatokra kevesebb információ is elég
 - Kisebb, egyszerűbb állapottérrel könnyebb tervezni
 - Állapot tárolása, feldolgozása könnyebb
 - Elrejtett részletek szabadon változtathatóak
 - Szükséges eset: **állapotmentes** modell ($|S| = 1$)
 - Néha csak kevesebb információt szabad felfedni
- Gyakori formája: **dekompozíció** (ld. később)

Folytonos változók

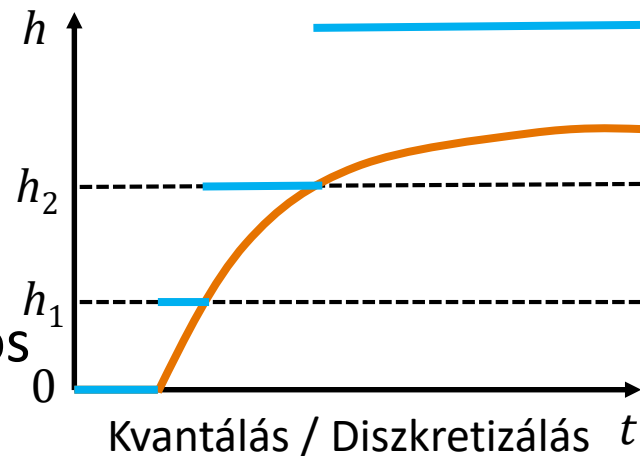
■ Potenciálisan végtelen (akár kontinuum) állapottér

○ Pl. a repülő állapotváltozói

- $v \in \mathbb{R}$ sebesség
- $h \in \mathbb{R}$ magasság
- $\alpha \in [-\pi/2, \pi/2]$ emelkedési szög

○ Az állapot időbeli változása lehet folytonos

- Pl. a repülő emelkedése: $\partial h / \partial t = v \sin \alpha$

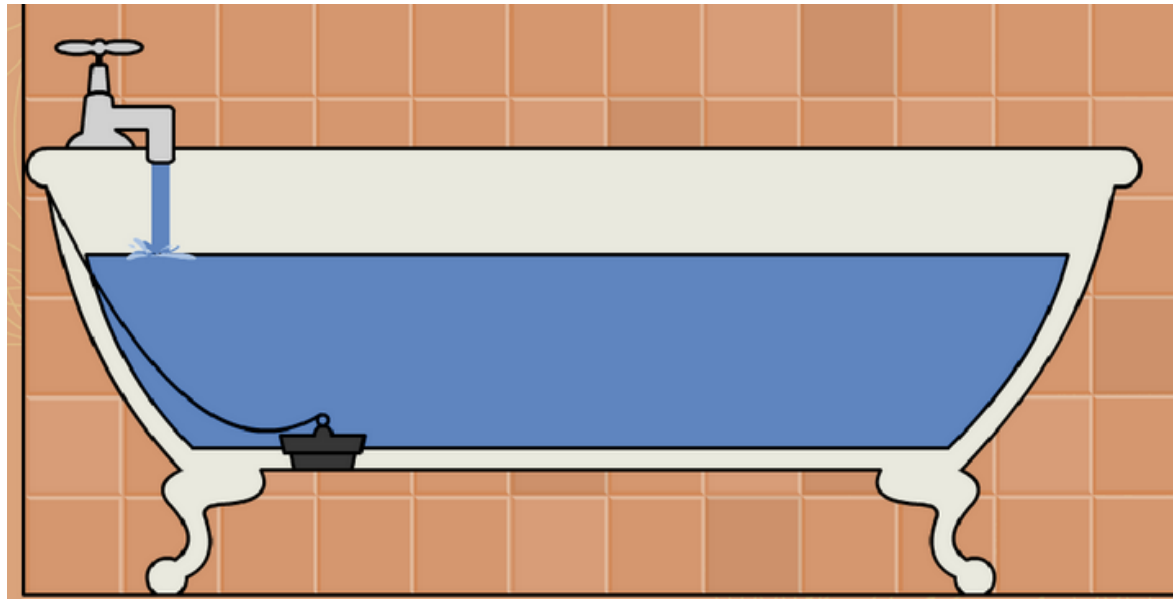


■ Ezzel szemben tipikus IT rendszermodellekben

- **Diszkrét állapotok** (nincs köztük folytonos átmenet)
- Gyakran **véges állapottér** (ellenpélda: számláló $\in \mathbb{N}$)
- Pillanatszerű **állapotátmenetek**, köztük állandó állapot

Hibrid rendszerek

- Folytonos és diszkrét változások is
- Pl: fürdőkádb
 - Diszkrét változók: csap {nyitva;zárva}, dugó {van;nincs}
 - Folytonos változó: vízszint - $0 \leq h \leq 60 \text{ cm}$
 - Diszkrét változók értéke hatással van a folytonos változó értékére



Predikátumabsztrakció

- Folytonos változó értékkészletének absztrakciója predikátumok szerint

- Pl: vízszint

- 0 – kód alja

- 40 – gyári „max” jelzés

- 60 – kód pereme

$h = 0, h > 0$

Predikátumok

$h \leq 40, h > 40$

$h < 60, h = 60$

- Absztrakt állapottér: predikátumok kombinációi

- $\{h = 0, h > 0 \wedge h \leq 40, h > 40 \wedge h \leq 60, h = 60\}$

Kód üres

Vízszint
rendben

Vízszint
kritikus

Kód
túlcsordult

Partícionálás több szempont szerint

- Egy rendszer – akár több helyes állapottér
- Pl.: a mikró két külön állapottere
 - üzemteljesítmény szerint
 - $\{teljes\ fokozat, olvasztó\ mód, kikapcsolva\}$
 - az ajtó nyitottsága szerint
 - $\{nyitva, zárva\}$
 - nem teljesen függetlenek: ha nyitva, akkor kikapcsolva
- részrendszer állapottere $\rightarrow$ a teljes rendszerállapot ismerete nélkül eldönthető, melyik áll fenn



Állapotterek (direkt) szorzata

- Két állapottér együttes figyelembevétele
 - $S_1 = \{\text{teljes fokozat, olvasztó mód, kikapcsolva}\}$
 - $S_2 = \{\text{nyitva, zárva}\}$

$S_1 \times S_2$	<i>nyitva</i>	<i>zárva</i>
<i>teljes</i>	<i>teljes és nyitva</i>	<i>teljes és zárva</i>
<i>olvasztó</i>	<i>olvasztó és nyitva</i>	<i>olvasztó és zárva</i>
<i>kikapcsolva</i>	<i>kikapcsolva és nyitva</i>	<i>kikapcsolva és zárva</i>

állapotabsztrakció

állapotabsztrakció
(vetítés)

Észrevétel: $|S_1 \times S_2| = |S_1| \cdot |S_2|$

Definíció: Állapotterek (direkt) szorzata

Az állapotterek **direkt szorzata**

- komponens állapottereken végzett **kompozíciós művelet**,
- melynek **eredménye** egy újabb állapottér (**szorzat állapottér**),
 - amely a komponens állapotterek mint halmazok Descartes-szorzataként áll elő

A szorzat állapottérben

- a komponens állapotterek minden állapot-kombinációjának
- egy-egy összetett állapot (**állapotvektor**)

felel meg.

$$\begin{aligned} &\{AM, PM\} \times \{1h..12h\} \times \{0m..59m\} \\ &\quad \Downarrow \\ &\langle PM, 12h, 08m \rangle \end{aligned}$$



Definíció: Állapottér vetítése komponensre

A komponens(ek)re történő **vetítés**

- egy **állapotabsztrakciós művelet**, amely
- a szorzat állapottérből
 - egy vagy több komponenst tart meg,
 - a többit elhanyagolja.

$\{AM, PM\} \times \{1h..12h\} \times \{0m..59m\}$

$\Downarrow$

$\langle PM, 12h, 08m \rangle$



$\langle PM, 12h \rangle$

(Gondolkodtató feladat:
mi köze van a reláció vetítéséhez?)



Állapotváltozók finomított kompozíciója

- Nem független állapotváltozók
 - Nem minden kombináció fordul elő ténylegesen
 - A szorzatnál finomabb kompozit állapottér

$S \subseteq S_1 \times S_2$	<i>nyitva</i>	<i>zárva</i>
<i>teljes</i>	<i>teljes és nyitva</i>	<i>teljes és zárva</i>
<i>olvasztó</i>	<i>olvasztó és nyitva</i>	<i>olvasztó és zárva</i>
<i>kikapcsolva</i>	<i>kikapcsolva és nyitva</i>	<i>kikapcsolva és zárva</i>

↑
állapotabsztrakció

↑
állapotabsztrakció
(vetítés)

Észrevétel: a vetítés mint absztrakciós viszony megmarad

Még egyszer a finomításról

- „A szorzatnál ***finomabb*** kompozit állapottér”
 - ... mivel két kompozit állapot előfordulását kizártuk
 - Itt a finomított állapottérnek van ***kevesebb*** eleme!
 - Ez tehát *nem* állapotfinomítás, ott *nőtt* az állapotok száma

Tanulság:

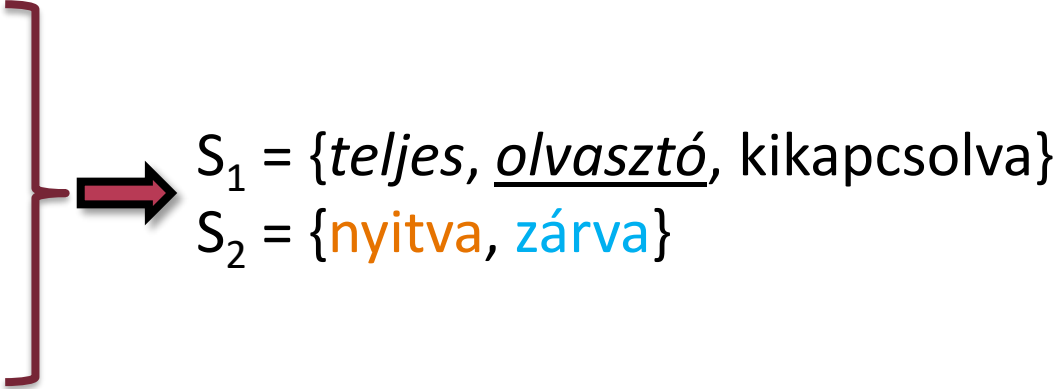
finomításoktól nőhet is, csökkenhet is az állapottér mérete

A lényeg, hogy
**többet tudunk
a rendszerről**

Avagy:
**kevesebb
rendszer illik
a modellre**

$S \subseteq S_1 \times S_2$	<i>nyitva</i>	<i>zárva</i>
<i>teljes</i>	<i>teljes és nyitva</i>	<i>teljes és zárva</i>
<i>olvasztó</i>	<i>olvasztó és nyitva</i>	<i>olvasztó és zárva</i>
<i>kikapcsolva</i>	<i>kikapcsolva és nyitva</i>	<i>kikapcsolva és zárva</i>

Dekompozíció állapotváltozókra

- Dekompozíció: szorzat / kompozíció megfordítása
 - kikapcsolva és nyitva
 - kikapcsolva és zárva
 - olvasztó és zárva
 - teljes és zárva
$$S_1 = \{teljes, \underline{olvasztó}, kikapcsolva\}$$
$$S_2 = \{nyitva, zárva\}$$
- A vetített állapotváltozók absztrakciók
- Miért dekomponálunk?
 - Állapotváltozók külön kezelhetőek
 - Állapotváltozók külön tárolhatóak

Kitekintés: szakmai példák

- Hol jön elő az állapot alapú modellezés az IT-ban?
- Közösségi háló – Jancsi és Juliska ismeretsége
 - (ettől függ néhány funkció, pl. milyen képek látszanak)
 - Állapotváltozók:
 - Jancsi bejelölte-e Juliskát
 - Vice versa

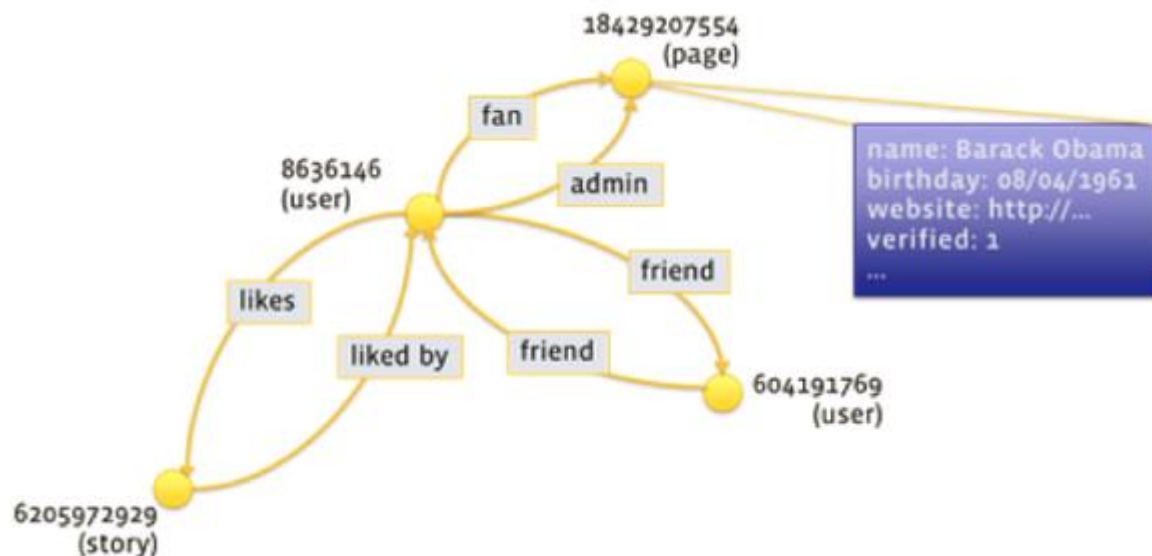
Tárolandó:

- Memóriában
- Adatbázisban (hosszabb távra)

$S_1 \times S_2$		
	nem ismerősök	Jancsi bejelölte Juliskát
	Juliska bejelölte Jancsit	ismerősök

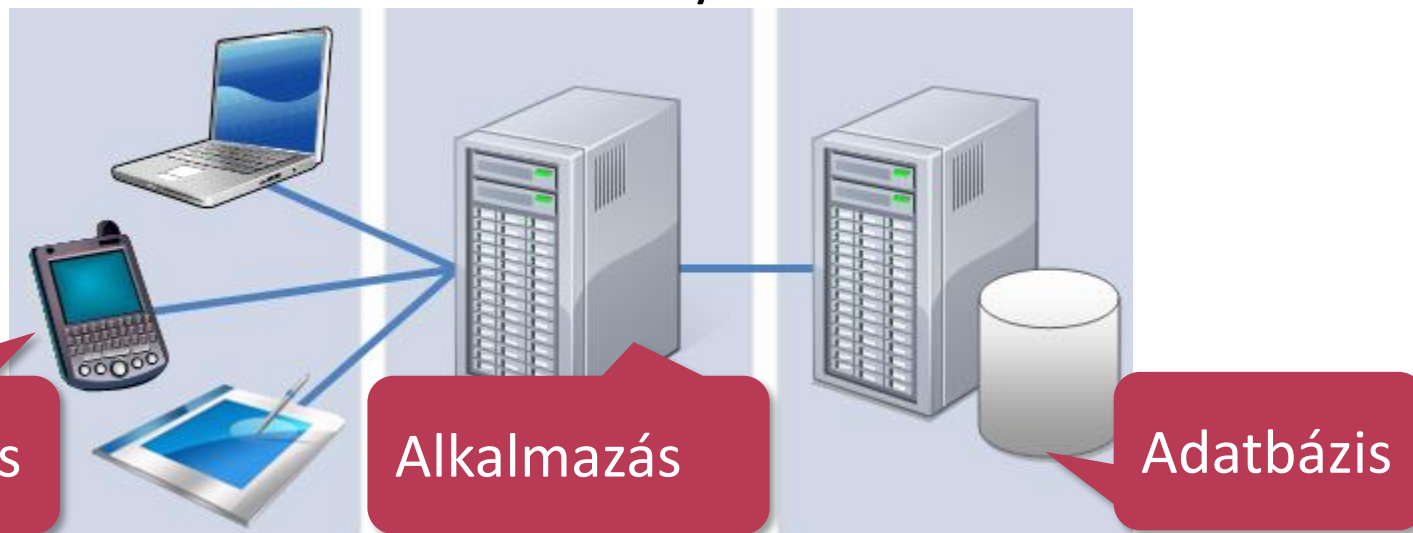
Kitekintés: szakmai példák

- Hol jön elő állapotabsztrakció?
- Közösségi háló: az adatbázis egy részét látom csak
 - Nincs szükségem arra, Jancsi ismeri-e Juliskát
 - Nincs is jogom tudni!
 - Jóval kisebb adatforgalom



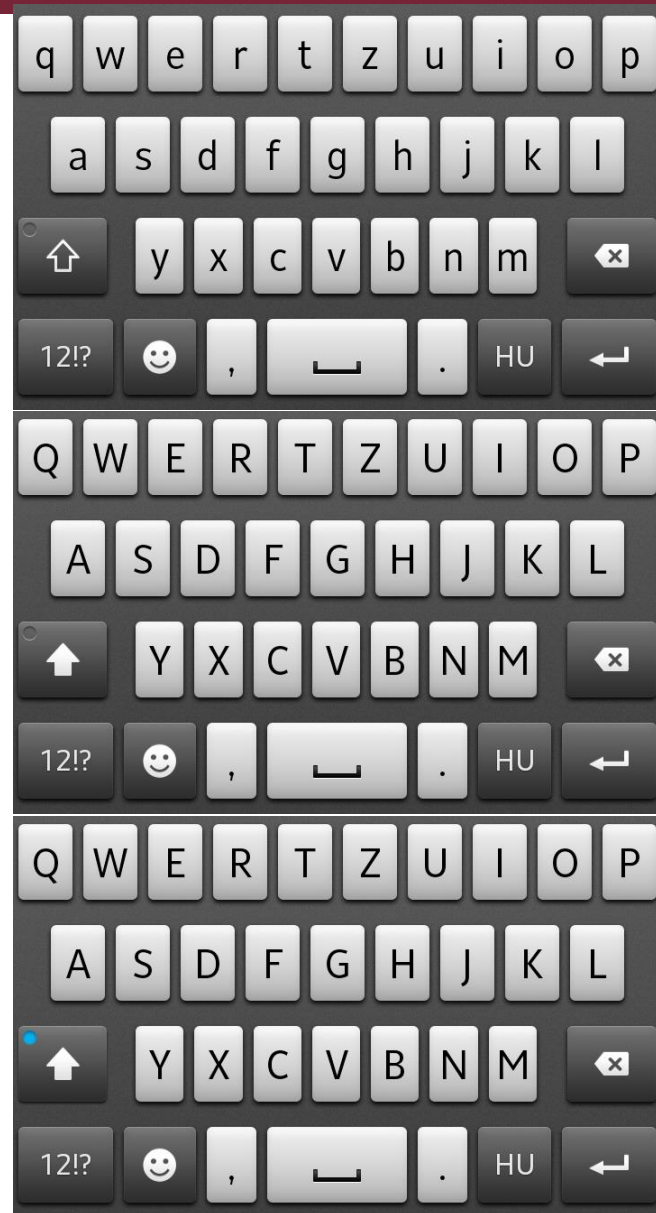
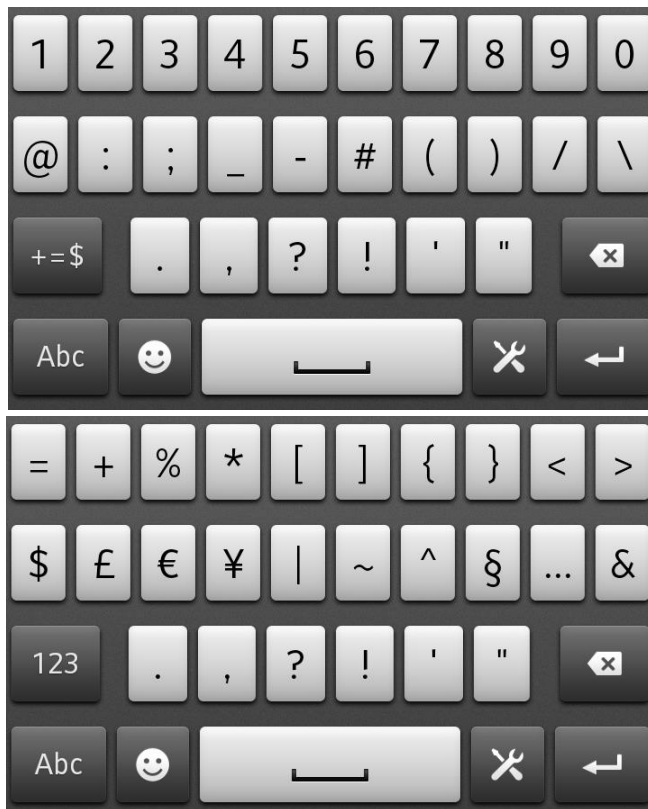
Kitekintés: szakmai példák

- Hol jön elő állapotabsztrakció?
- Szoftverrendszer dekompozíciója
 - Egyszerűbb a *megjelenítő réteg* (HTML + CSS + JavaScript), ha csak a nekem szánt információval dolgozik
 - Utána a különféle mobilklienseket is egyszerű lesz elkészíteni
 - A közösségi oldal mérnökei egyszer, egy helyen valósították meg a számomra releváns adatok kinyerését



Kitekintés: szakmai példák

- Virtuális billentyűzet érintőképernyőre
 - állapotváltók?



Kitekintés: szakmai példák

- Programozás: hogy tároljuk az állapotot?
 - Megfelelő értékkészletű változó (objektum mező, stb.)

```
enum VirtualKeyboardState {  
    LOWER_CASE,  
    UPPER_CASE_ONCE,  
    UPPER_CASE_LOCK,  
    NUMBERS_COMMON_SYMBOLS,  
    RARE_SYMBOLS  
}  
// ...  
VirtualKeyboardState keyboardState;
```



- Kiegészítés: emlékezzünk a SHIFT állására!
 - Az alfanumerikus mód az elhagyott SHIFT állással tér vissza

Kitekintés: szakmai példák

- Programozás: hogy tároljuk az állapotot?
 - Kiegészítés: emlékezzünk a SHIFT állapotára!

```
enum VirtualKeyboardStateWithMemory {  
    LOWER_CASE,  
    UPPER_CASE_ONCE,  
    UPPER_CASE_LOCK,  
    NUMBERS_COMMON_SYMBOLS_WITH_LOWER_CASE,  
    NUMBERS_COMMON_SYMBOLS_WITH_UPPER_CASE_ONCE,  
    NUMBERS_COMMON_SYMBOLS_WITH_UPPER_CASE_LOCK,  
    RARE_SYMBOLS_WITH_LOWER_CASE,  
    RARE_SYMBOLS_WITH_UPPER_CASE_ONCE,  
    RARE_SYMBOLS_WITH_UPPER_CASE_LOCK  
}  
// ...  
VirtualKeyboardStateWithMemory keyboardStateWithMemory;
```

- Állapottér-robbanás jelensége

Kitekintés: szakmai példák

- Programozás: hogy tároljuk az állapotot?
 - Tömör megoldás: több állapotváltozóval

```
enum VirtualKeyboardFacet {  
    ALPHABETIC,  
    NUMBERS_COMMON_SYMBOLS,  
    RARE_SYMBOLS  
}  
  
enum CapsState {  
    LOWER_CASE,  
    UPPER_CASE_ONCE,  
    UPPER_CASE_LOCK  
}  
  
// ...  
VirtualKeyboardFacet keyboardFacet;  
CapsState capsState;
```

Előismeretek

Állapottér

Mealy gépek

Harel gépek

Kitekintés

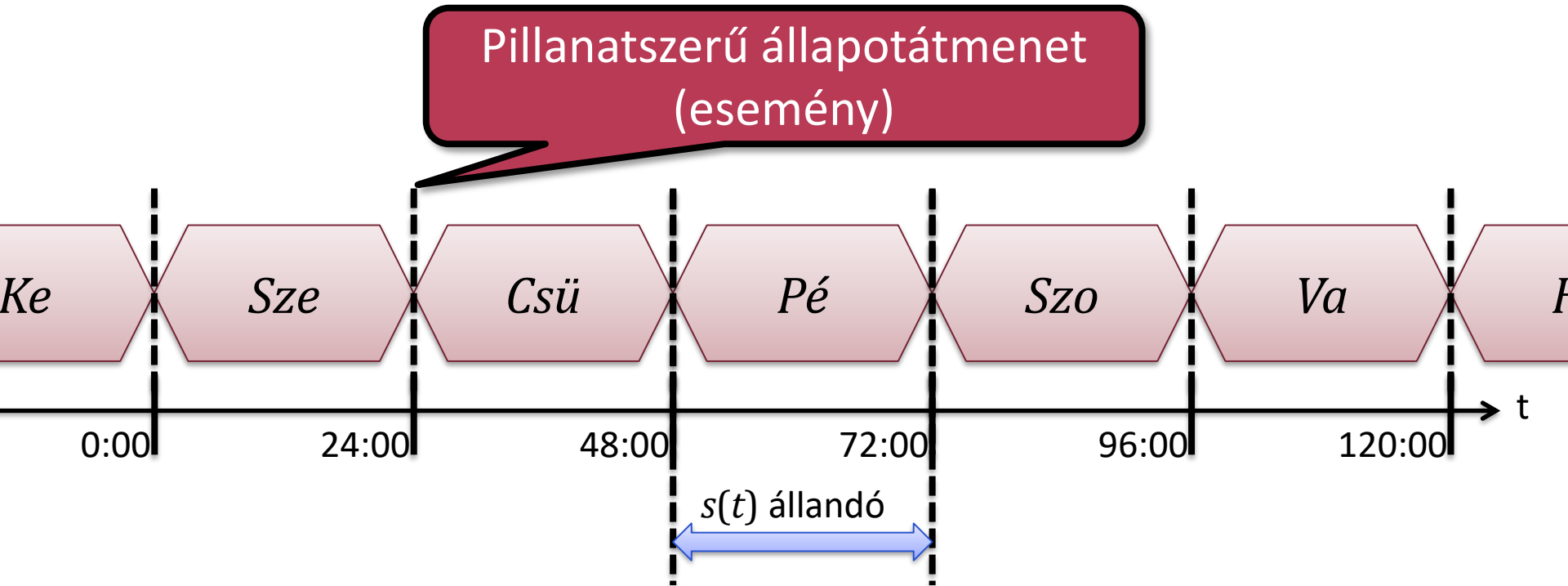
EGYSZERŰ (MEALY) ÁLLAPOTGÉPEK

Kitekintés: más mérnöki diszciplínák

- Potenciálisan végtelen (akár kontinuum) állapottér
 - Pl. a repülő állapotváltozói
 - $v \in \mathbb{R}$ sebesség
 - $h \in \mathbb{R}$ magasság
 - $\alpha \in [-\pi/2, \pi/2]$ emelkedési szög
 - Az állapot időbeli változása lehet folytonos
 - Pl. a repülő emelkedése: $\partial h / \partial t = v \sin \alpha$
- Ezzel szemben tipikus IT rendszermodellekben
 - **Diszkrét állapotok** (nincs köztük folytonos átmenet)
 - Gyakran **véges állapottér** (ellenpélda: számláló $\in \mathbb{N}$)
 - Pillanatszerű **állapotátmenetek**, köztük állandó állapot

Állapotátmenetek

- Állapottér: S
 - Pl. $S = \{Hé, Ke, Sze, Csü, Pé, Szo, Va\}$
- $s(t) \in S$
 - A pillanatnyi állapot az idő függvényeként

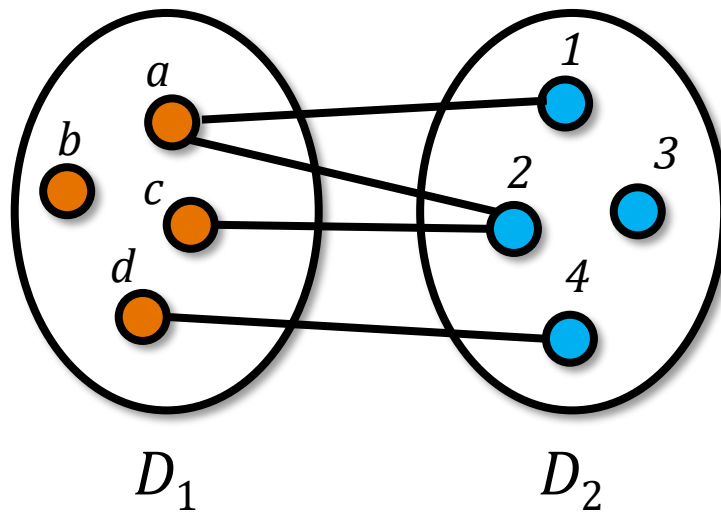


Ismétlés: (bináris) reláció

■ Bináris reláció:

- két halmaz Descartes-szorzatának a részhalmaza

- $R \subseteq D_1 \times D_2$



$$R = \{(a, 1), (a, 2), (c, 2), (d, 4)\}$$

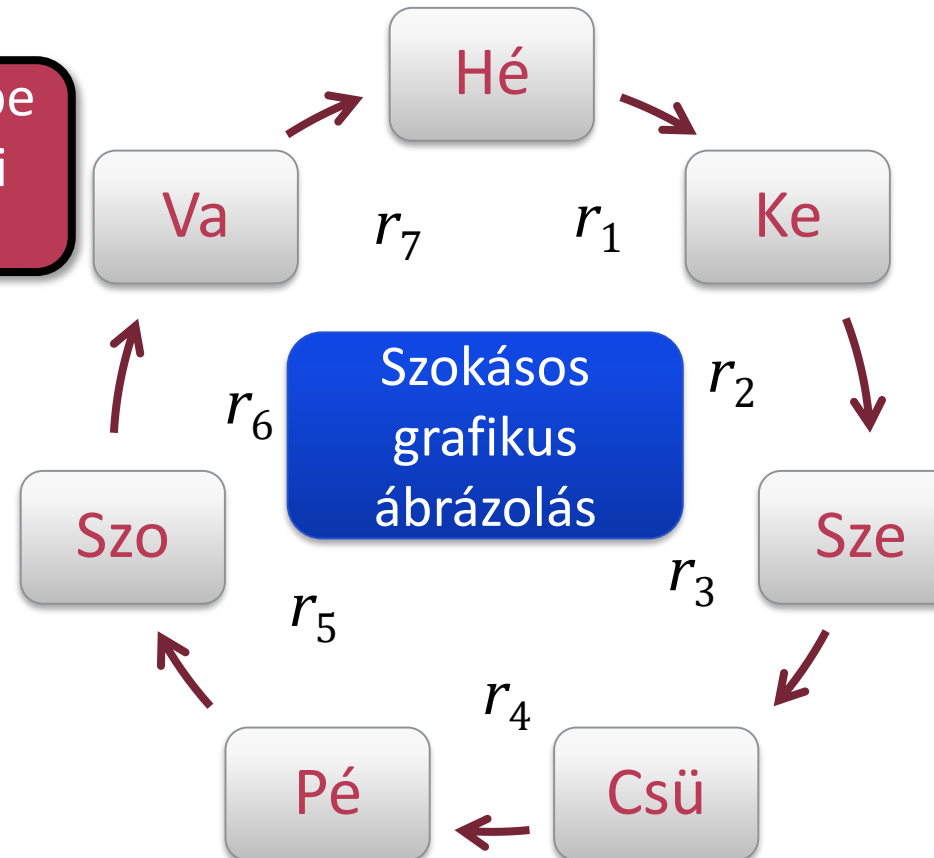
Állapotátmenetek

- Mely állapotokat mely állapotok követhetnek?

- Állapottér $S = \{Hé, Ke, Sze, Csü, Pé, Szo, Va\}$
- Eseménytér: **állapotátmeneti reláció** $R \subseteq S \times S$

- Állapotátmeneti szabályok $r \in R$
- $r_1 = (Hé, Ke)$
 - $r_2 = (Ke, Sze)$
 - $r_3 = (Sze, Csü)$
 - $r_4 = (Csü, Pé)$
 - $r_5 = (Pé, Szo)$
 - $r_6 = (Szo, Va)$
 - $r_7 = (Va, Hé)$

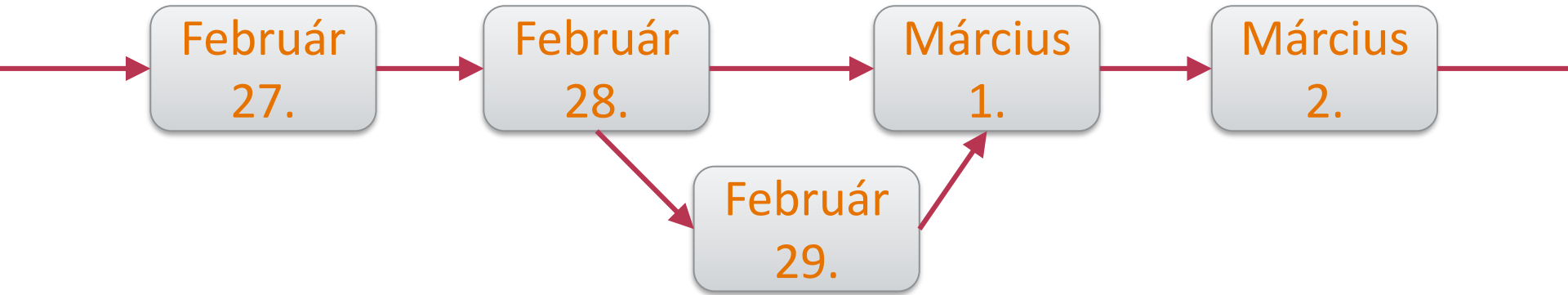
Csü-ből Pé-be
át tud lépni
a rendszer



- Más néven: **állapotgráf**

Állapotátmenetek

- Mely állapotokat mely állapotok követhetnek?
 - Állapottér: az év napjai
 - Állapotgráf:



- Absztrakció: nem modellezzük, hogy mi az állapotátmenet kiválasztásának feltétele

Észrevételek az állapotgráfról

■ Lehetséges, hogy...

- ... teljes gráf $\rightarrow$ minden átmenet engedélyezett
 - Pl. $S_{\text{mikró}} = \{\text{kikapcsolva}, \text{bekapcsolva}\}$
- ... nem minden állapotból érhető el az összes többi
 - Pl. $S_{\text{pohár}} = \{\text{üres}, \text{teli}, \text{törött}\} \rightarrow$ nincs $\text{törött} \leadsto \text{üres}$ út
- ... bizonyos állapotoknak több rákövetkezője is van

kikapcsolva és
nyitva

kikapcsolva és
zárva

olvasztó és zárva

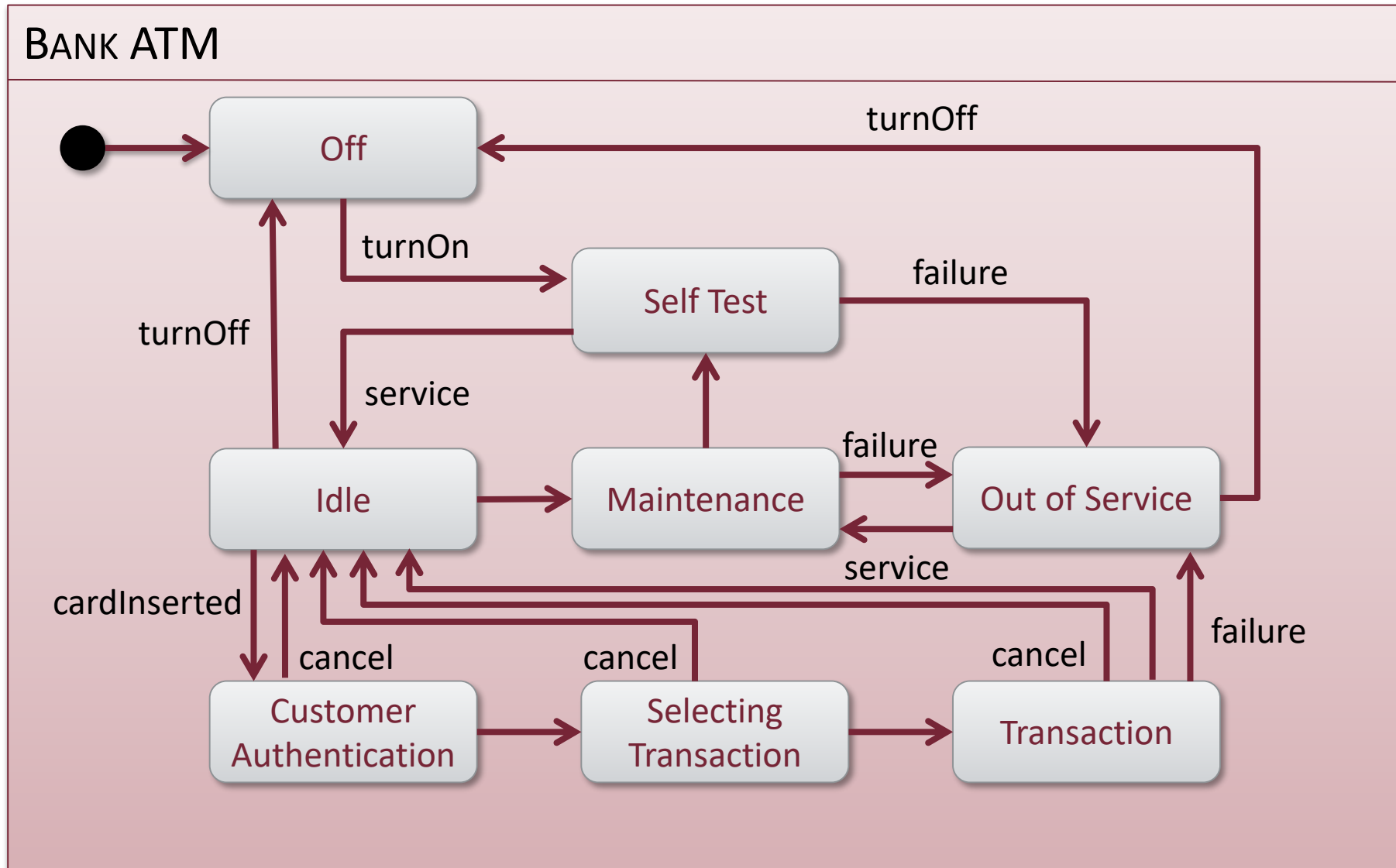
Nemdeterminizmus

○ Lehetséges eredetei:

- A modellezett rendszer működése
- Modellalkotás során bevezetett absztrakció

Pl. figyelembe nem
vett belső változó,
vezérlő input

Állapotgráf példa: ATM



Állapotátmenet címkézése eseménnyel

- Átmeneti szabály címkéje

- Pillanatszerű esemény

- Az átmenet csak az eseménnyel együtt következhet be



- Különféle értelmezés: lehet az esemény...

- ... az állapotátmenet következménye (posztkondíció/utófeltétel)



- ... az állapotátmenet oka (prekondíció/előfeltétel)



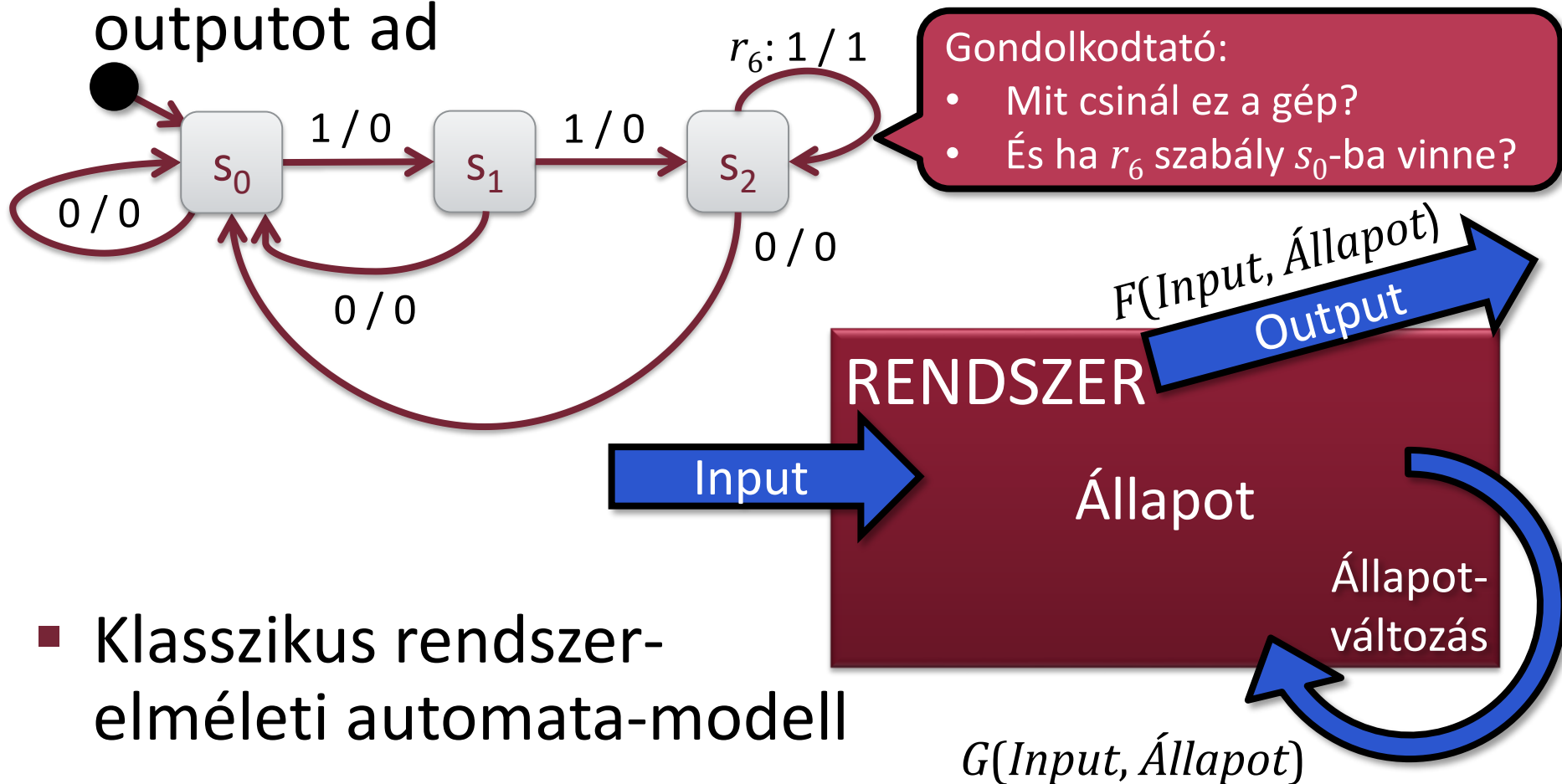
- Egy szabály címkézhető több eseménnyel is

- input beolvasás / output kiírás



Emlékeztető: Mealy véges automata

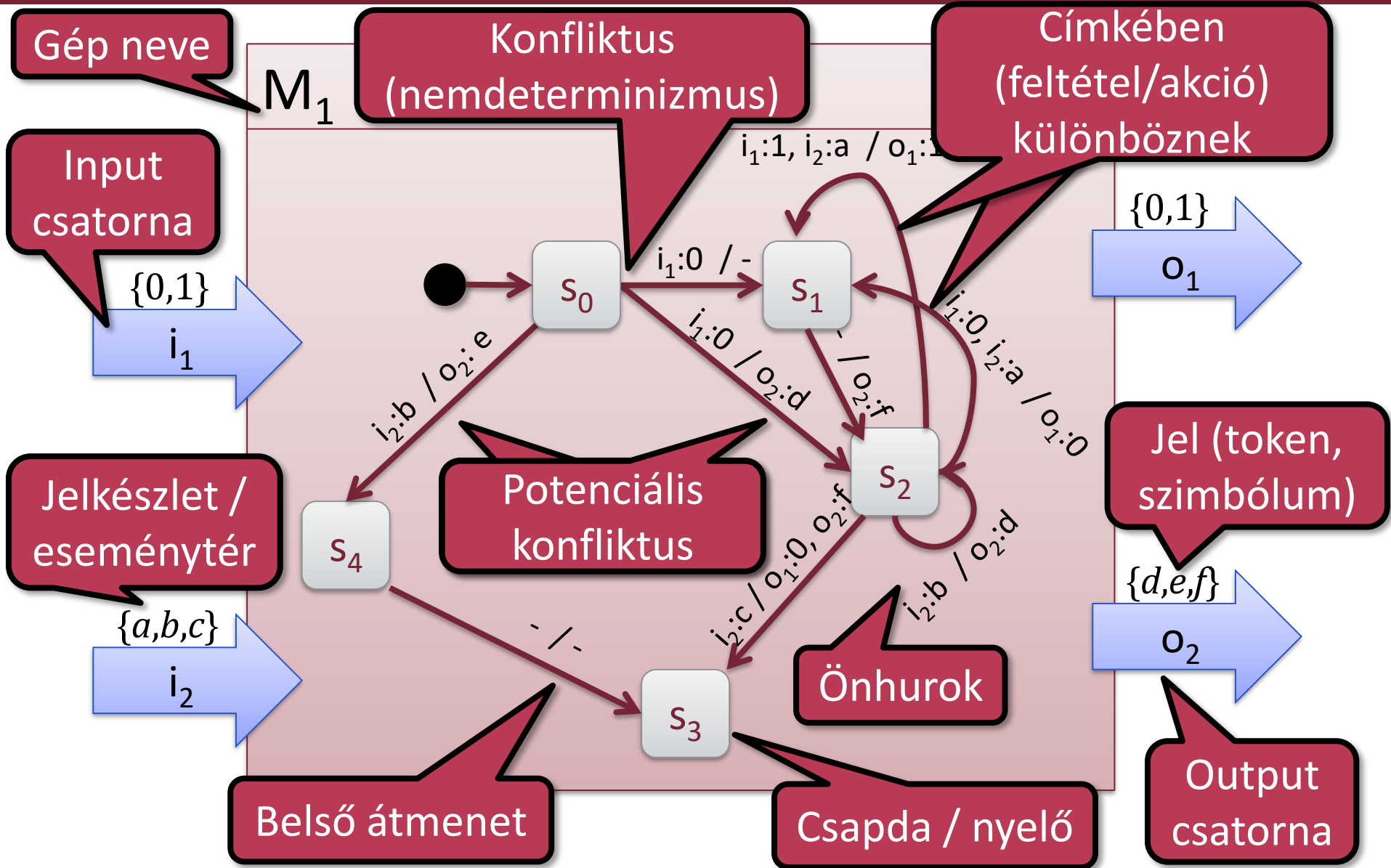
- Kijelölt kezdőállapot $\rightarrow s_0 = s(t=0)$
- Minden lépés determinisztikus, inputot olvas és outputot ad



A Mealy-gép kiterjesztései

- Nemdeterminisztikus modell (vs. input)
- Input olvasás nélküli (**spontán**) lépés
 - Belső, nem modellezett esemény hatására
 - Pl. mikro elkészül, leáll → időzítőt nem modellezzük
- Több output csatorna (külön eseményfolyam!)
 - Külön-külön jelkészlettel
 - A szabály egy részhalmazra küld ki oda illő jeleket
- Több input csatorna (külön eseményfolyam!)
 - A szabály egy részhalmazról olvas jeleket
 - Ebből is adódhat nemdeterminizmus

Kiterjesztett állapotgép

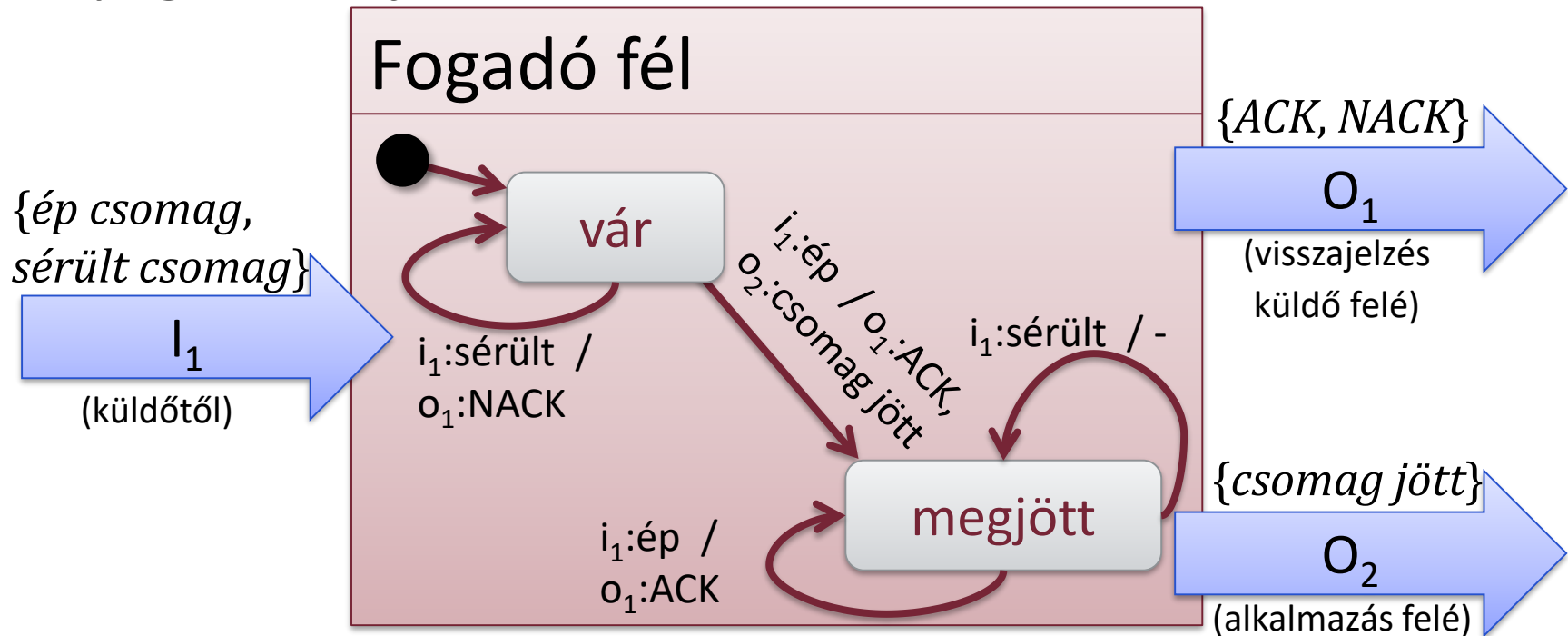


Specifikálatlan input kezelése

- Minden állapotban minden inputra kell szabály?
 - Ha nincs szabály → esemény nem történhet meg
 - Matematikailag így van, de **input**okra nem reális feltételezés
 - Mi van, ha a gyakorlatban mégis megtörténik?
 - Ha nincs szabály → láthatatlan hurokél
 - „Minden egyéb” input beolvasva, figyelmen kívül hagyva
 - Ha nincs szabály → érvénytelen a modell
 - Mindenképp kell “visszajelzés” az eseményre
 - Pl. kritikus beágyazott rendszereknél
 - Az is érvénytelen, ha több szabály van (determinizmus kell)
- Ha mindig van szabály → **teljesen specifikált**

Kitekintés: szakmai példák

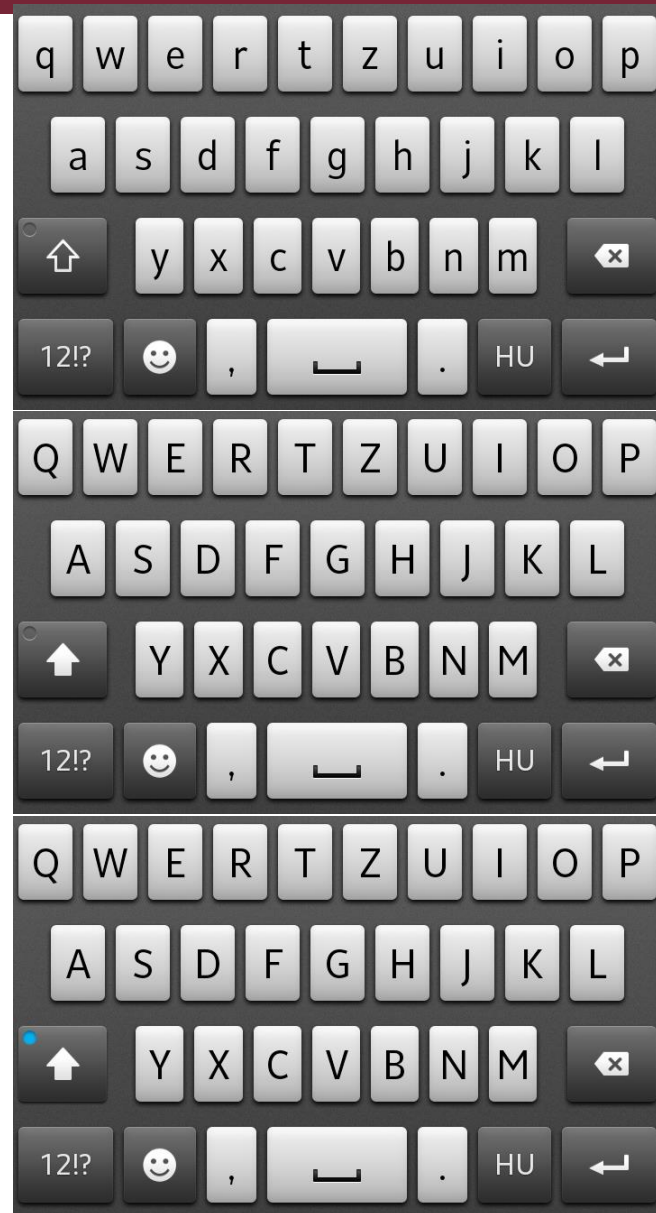
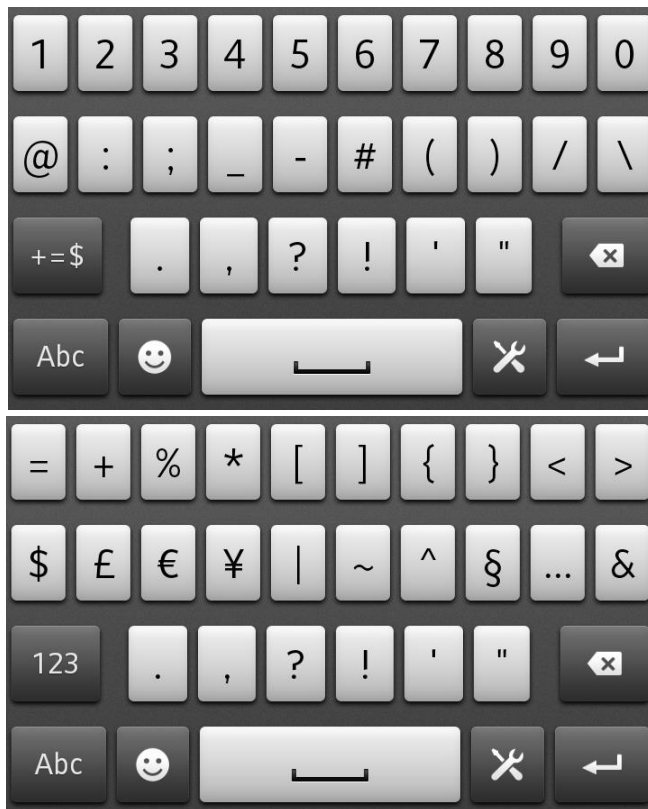
- Csomag alapú adatátviteli protokoll
 - Csomagok elveszhetnek, megsérülhetnek
 - Nyugtázás, újraküldés



- (Bővebben Id. Kommunikációs hálózatok 1. tárgy)

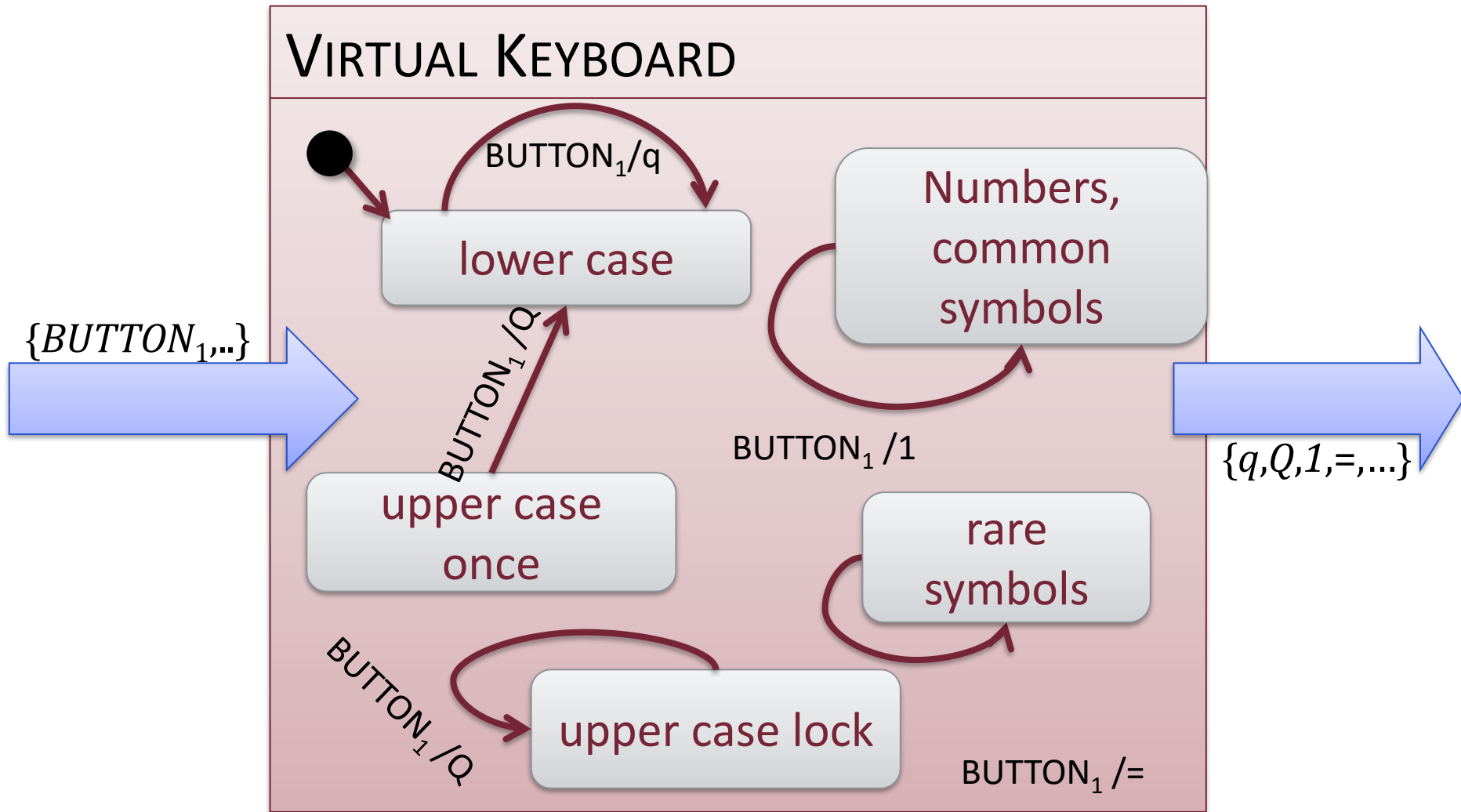
Emlékeztető

- Virtuális billentyűzet érintőképernyőre



Kitekintés: szakmai példák

- Virtuális billentyűzet (részleges) állapotgépe



Kitekintés: szakmai példák

■ Programozás: állapotgép megvalósítása

→ Prog1 6. ea

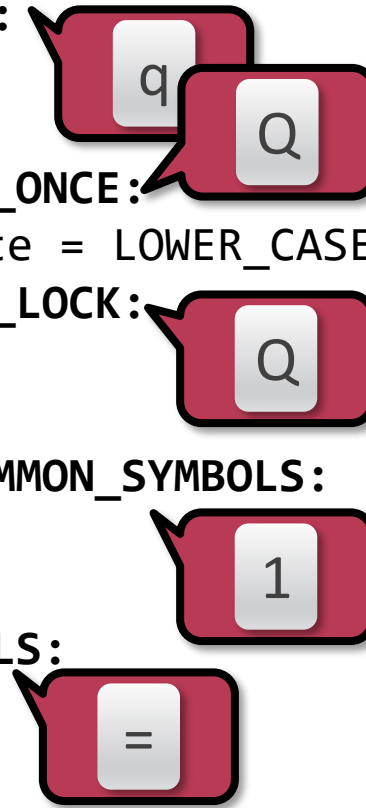
○ Elágazási feltétel:

- állapotváltozók és
- input alapján

○ Minden ágon:

- output kiadás (ha van)
- állapotváltás (ha kell)

```
void handleKey(KeyCode input) {  
    switch(input) {  
        case BUTTON_1:  
            switch(keyboardState) {  
                case LOWER_CASE:  
                    emit('q');  
                    break;  
                case UPPER_CASE_ONCE:  
                    keyboardState = LOWER_CASE;  
                case UPPER_CASE_LOCK:  
                    emit('Q');  
                    break;  
                case NUMBERS_COMMON_SYMBOLS:  
                    emit('1');  
                    break;  
                case RARE_SYMBOLS:  
                    emit('=');  
            }  
            break;  
        case SWITCH_1:  
            // ...  
    }  
}
```



Kitekintés: szakmai példák

- Programozás: állapotgép megvalósítása
 - Táblázatos megoldás
 - Tömörebb, de rugalmatlanabb

```
Character [][] output = {
    {'q', 'Q', 'Q', '1', '='},
    { /* ... */ }
    // ...
};
VirtualKeyboardState [][] jumpTable = {
    // ...
};
void handleKey(KeyCode input) {
    emit(outputTable[input.ordinal()][keyboardState.ordinal()]);
    keyboardState = jumpTable[input.ordinal()][keyboardState.ordinal()];
}
```

Kitekintés: szakmai példák

■ Programozás: állapotgép megvalósítása

○ Kompozit állapottér esetén

Állapottér-robbanás

- Többdimenziós táblázat

- Több állapotváltozó együttes olvasása

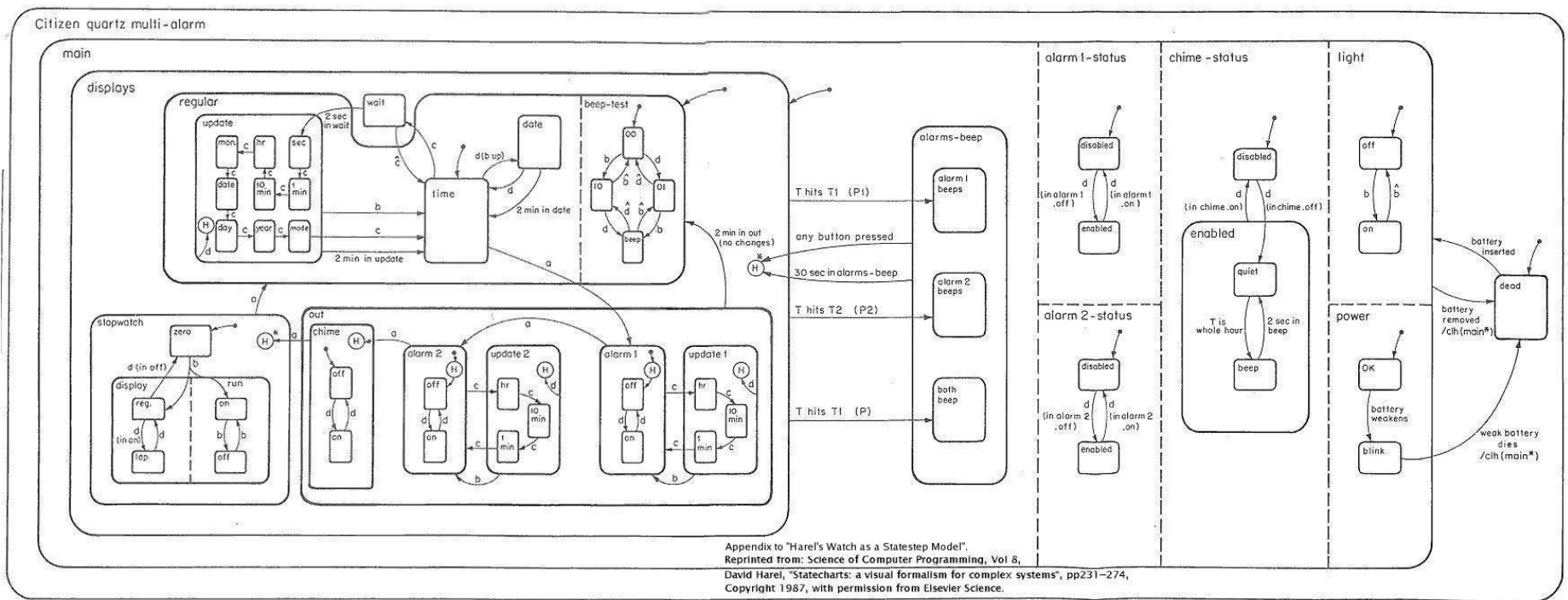
```
if (  
    keyboardFacet == VirtualKeyboardFacet.ALPHABETIC &&  
    capsState      == CapsState.LOWER_CASE  
) {  
    emit('q');  
}
```

- Sokat egyszerűsít, ha bizonyos kódrészletek csak bizonyos állapotváltozókat használnak (esetleg csak egyet!)
 - Pl. szám/szimbólum módban a Caps Lock állás nem érdekes
 - Ez ilyenkor egy jól sikerült dekompozíció

Kitekintés: szakmai példák

- Ha az (állapotgép)modell...
 - ... kellően részletes (determinisztikus), és
 - ... olyan formában van, amit fel lehet dolgozni
 - Ld. szakterület-specifikus célnyelvek (pl. protokolltervezésre)
 - Ld. szabványos modellezési formátumok (pl. UML)
- ... akkor automatikusan programkóddá fordítható
 - Pl. kódgenerálás kommunikációs protokollokhoz
 - Pl. beágyazott vezérlőeszközök modell alapú fejlesztése
- ... vagy általános interpreterrel értelmezhető
 - Pl. IT rendszerüzemeltetés automatizálása

Hogyan jutunk el idáig?



Előismeretek

Állapottér

Mealy gépek

Harel gépek

Kitekintés

ÖSSZETETT (HAREL) ÁLLAPOTGÉPEK

Statechart nyelvek

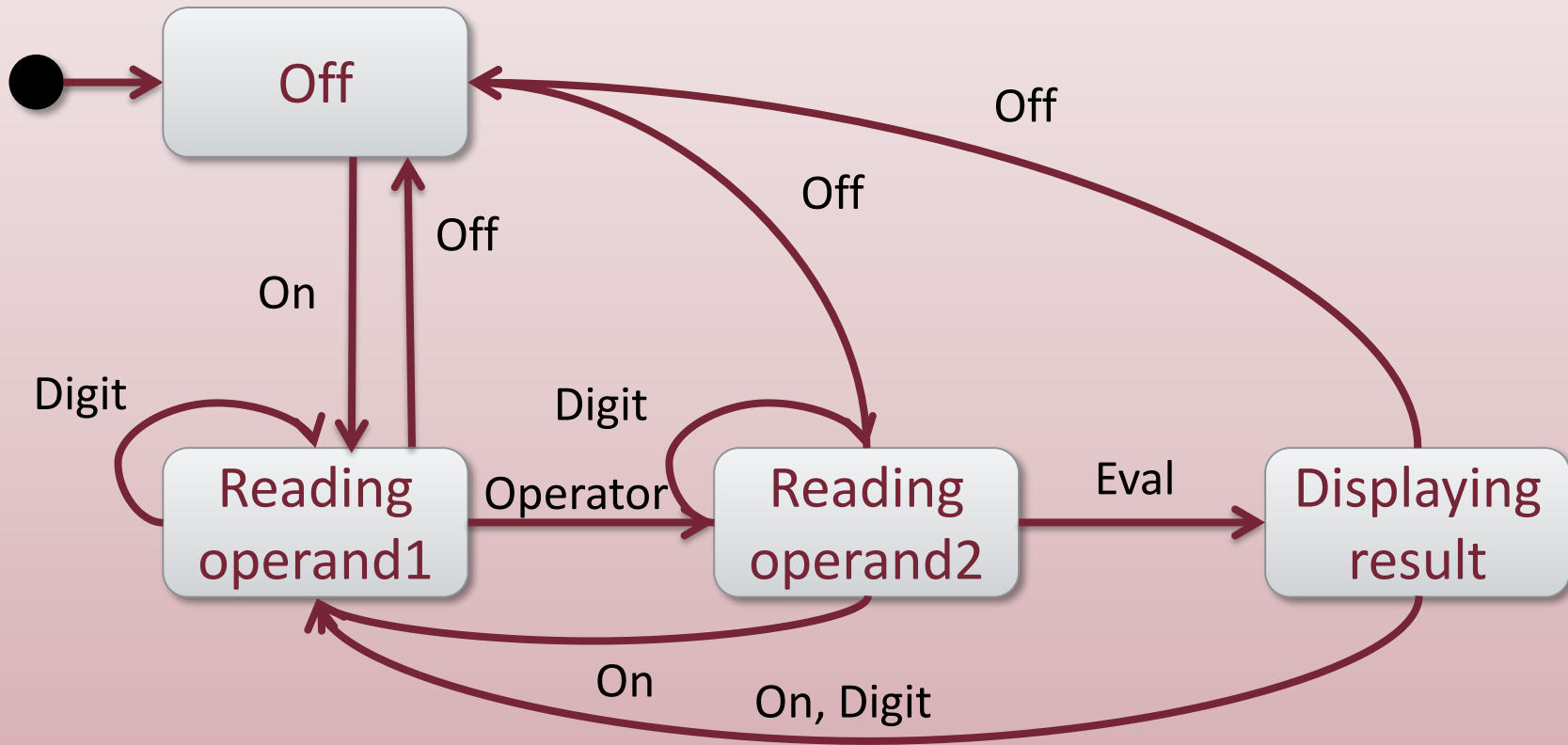
- **Statechart** (vagy Harel-féle összetett állapotgép)
 - Mealy-féle egyszerű állapotgép +
 - Állapothierarchia
 - Ortogonalitás
 - Változók
 - Pszeudoállapotok
 - ...
- Pl.
 - Yakindu (HF)
 - UML (SzoftTech)

Számológép



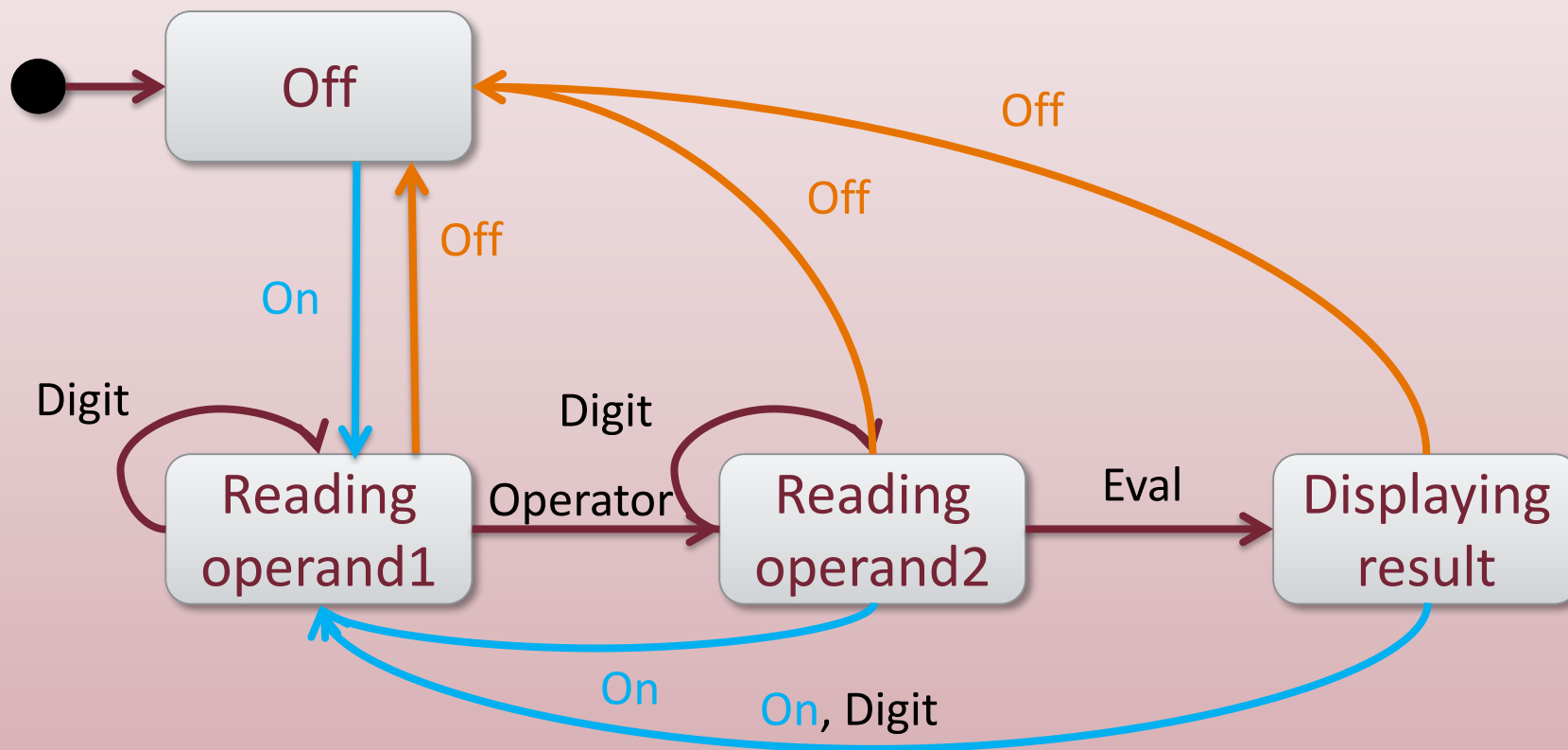
Állapothierarchia

CALCULATOR



Állapothierarchia

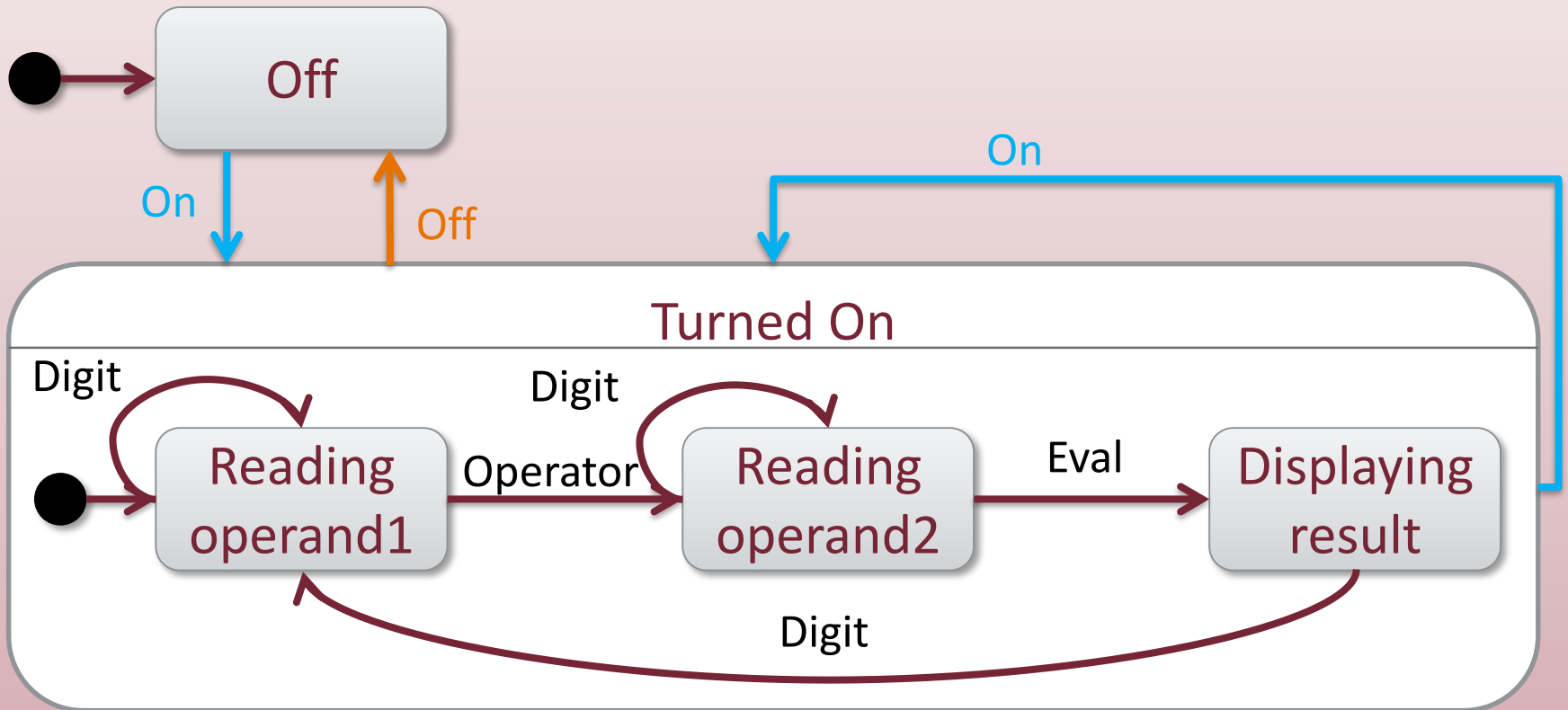
CALCULATOR



- Bemenet: {on, off, digit, operand, eval}
- Feltételezés: kétoperandusú műveleteink vannak

Állapothierarchia

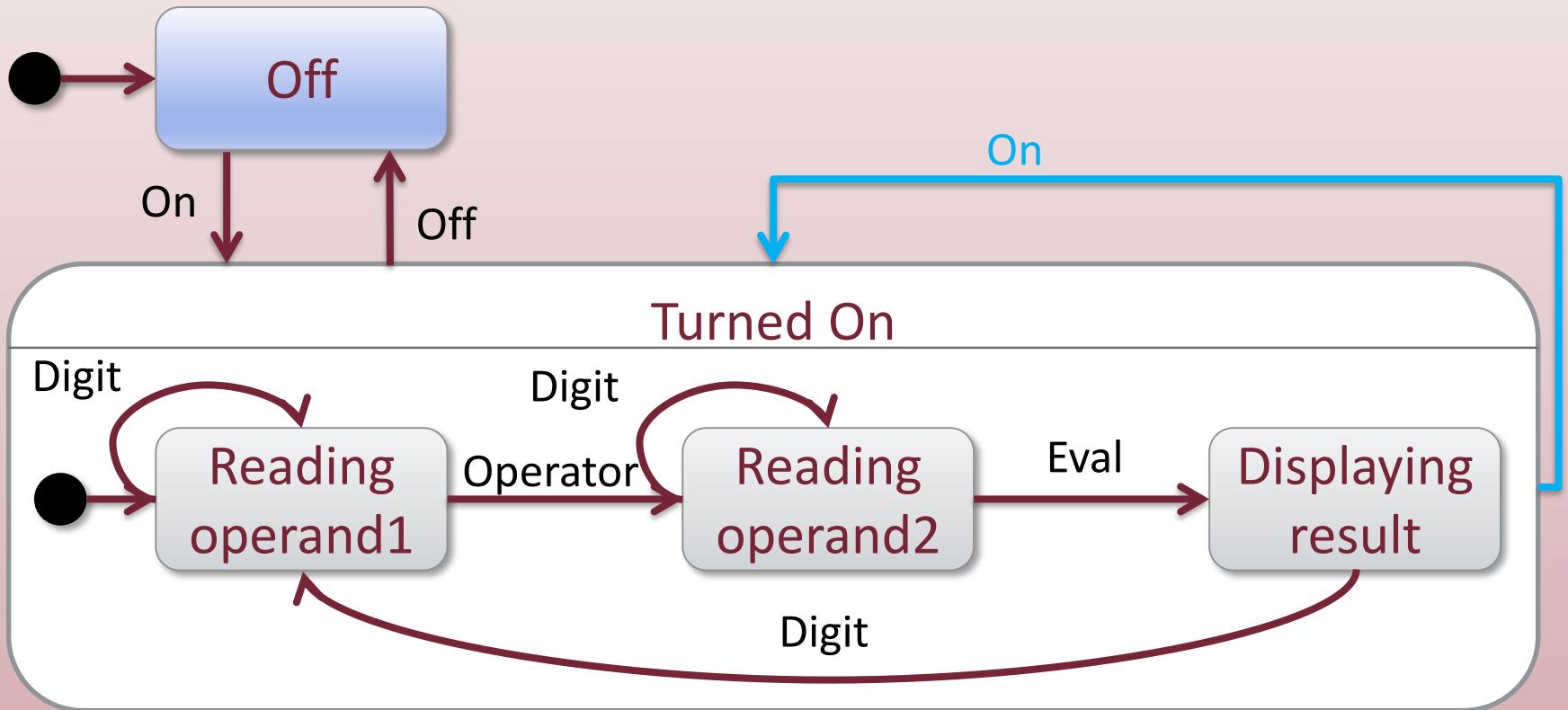
CALCULATOR



- Közös viselkedés kiemelése közös absztrakcióba

Állapothierarchia

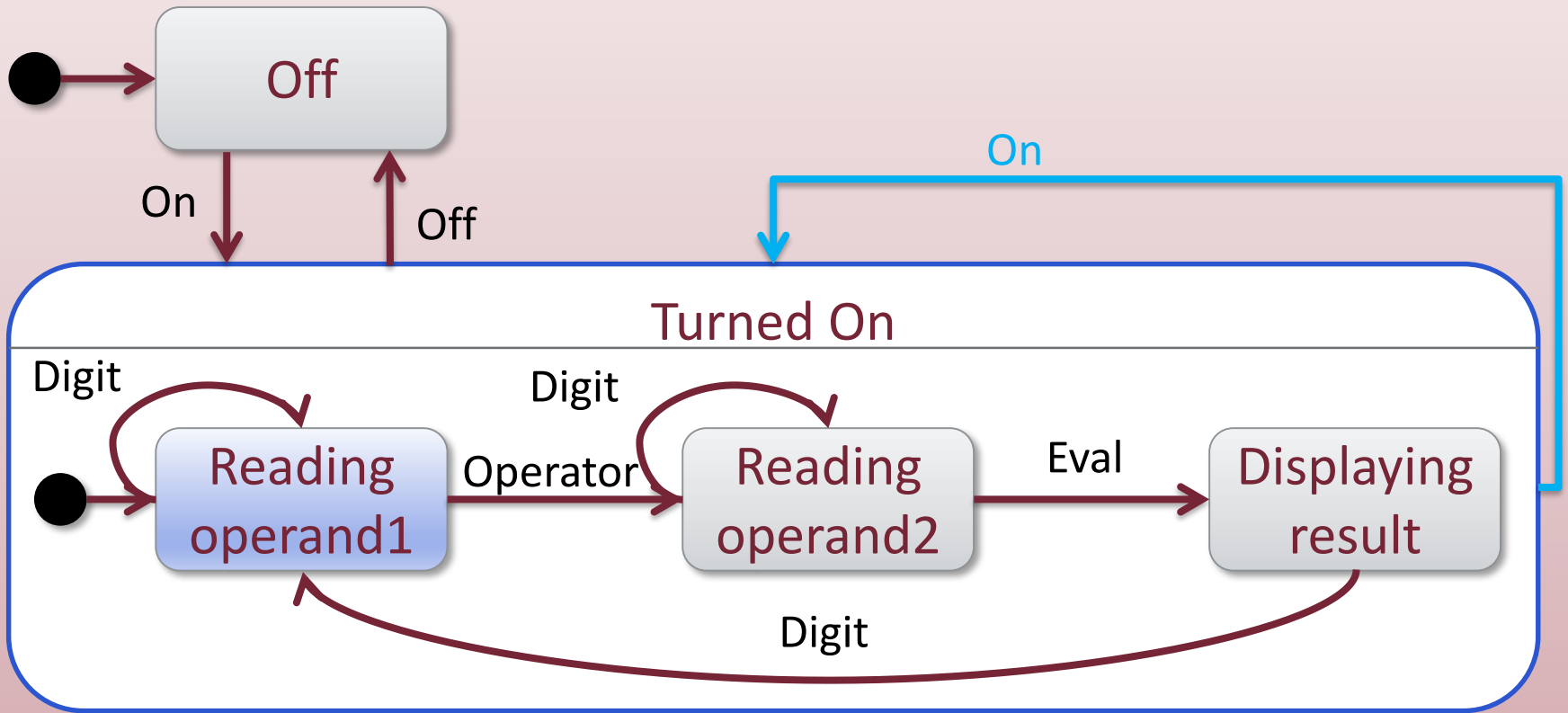
CALCULATOR



- Állapotkonfiguráció: $\{Off\}$

Állapothierarchia

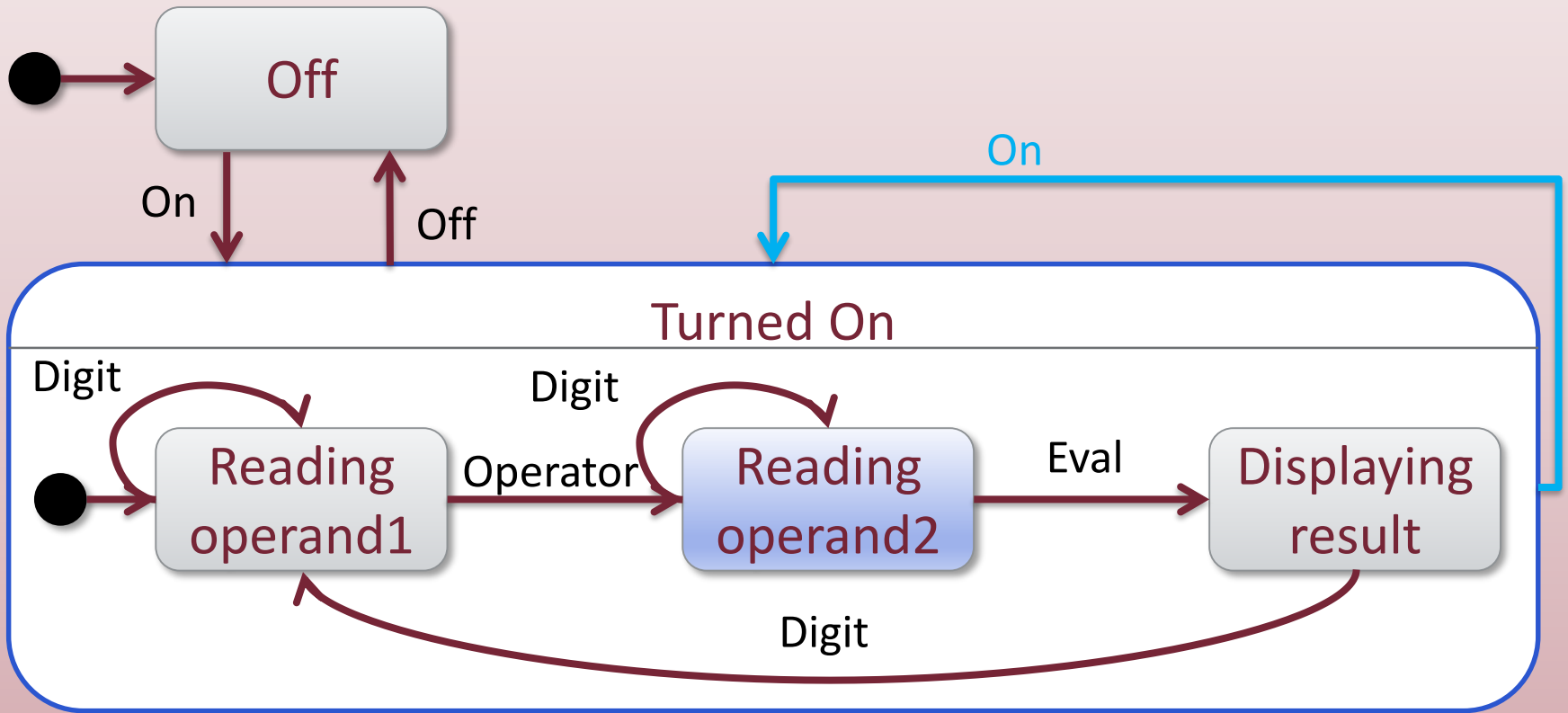
CALCULATOR



- Állapotkonfiguráció: $\{On, Reading\ operand1\}$

Állapothierarchia

CALCULATOR



- Állapotkonfiguráció: $\{On, Reading\ operand2\}$

Állapothierarchia

CALCULATOR

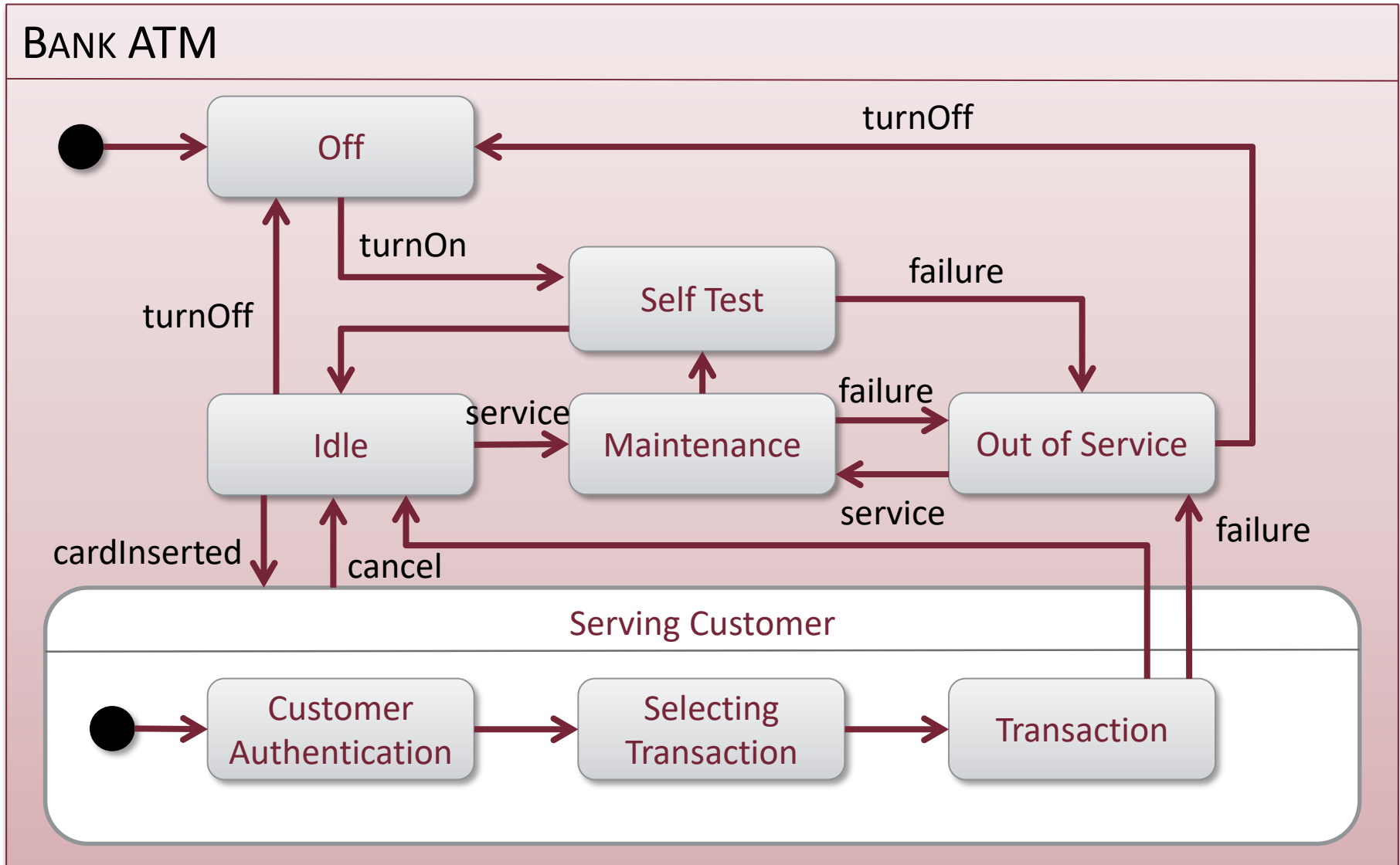
Két állapot egyszerre → sérti a kizárólagosságot?

- Nem, a statechart nem állapottér
- Csak az egy szinten lévő állapotok alkotnak kizárólagos állapothalmazt



- Állapotkonfiguráció: $\{On, Reading\ operand2\}$

Példa: ATM

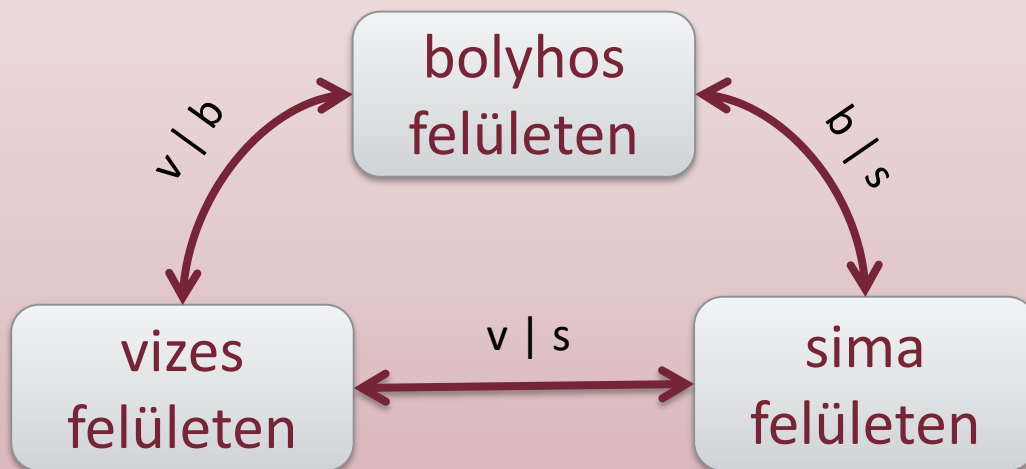


Példa: robotporszívó



Ortogonalitás

ROBOTPORSZÍVÓ HELYE



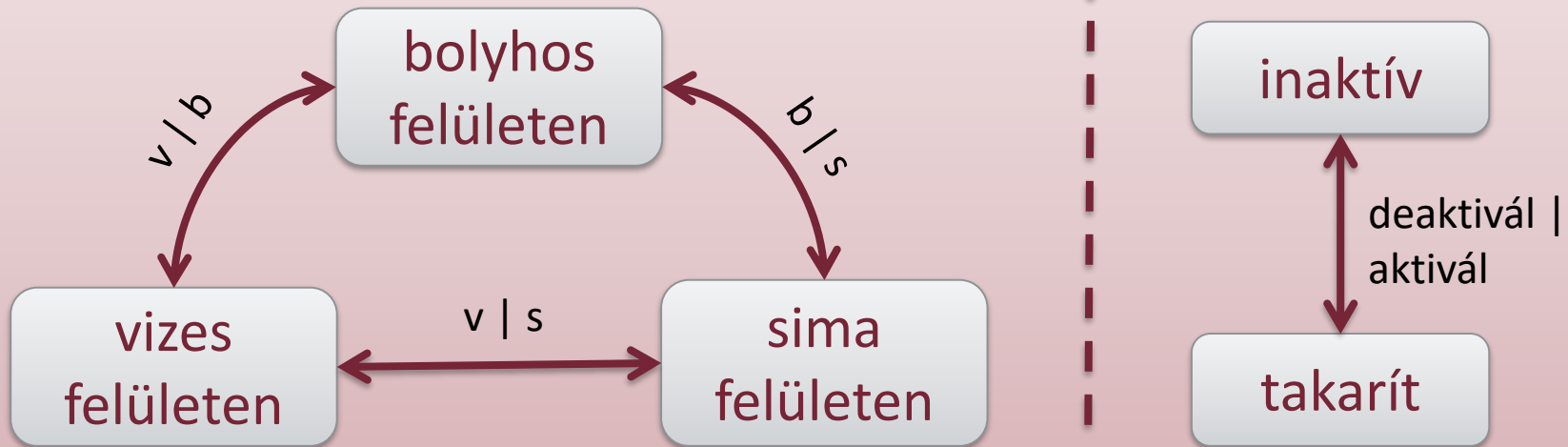
ROBOTPORSZÍVÓ ÜZEMMÓDJA



Megj: kétirányú nyíl nem szokásos, csak a tömör ábrázolás miatt használjuk...

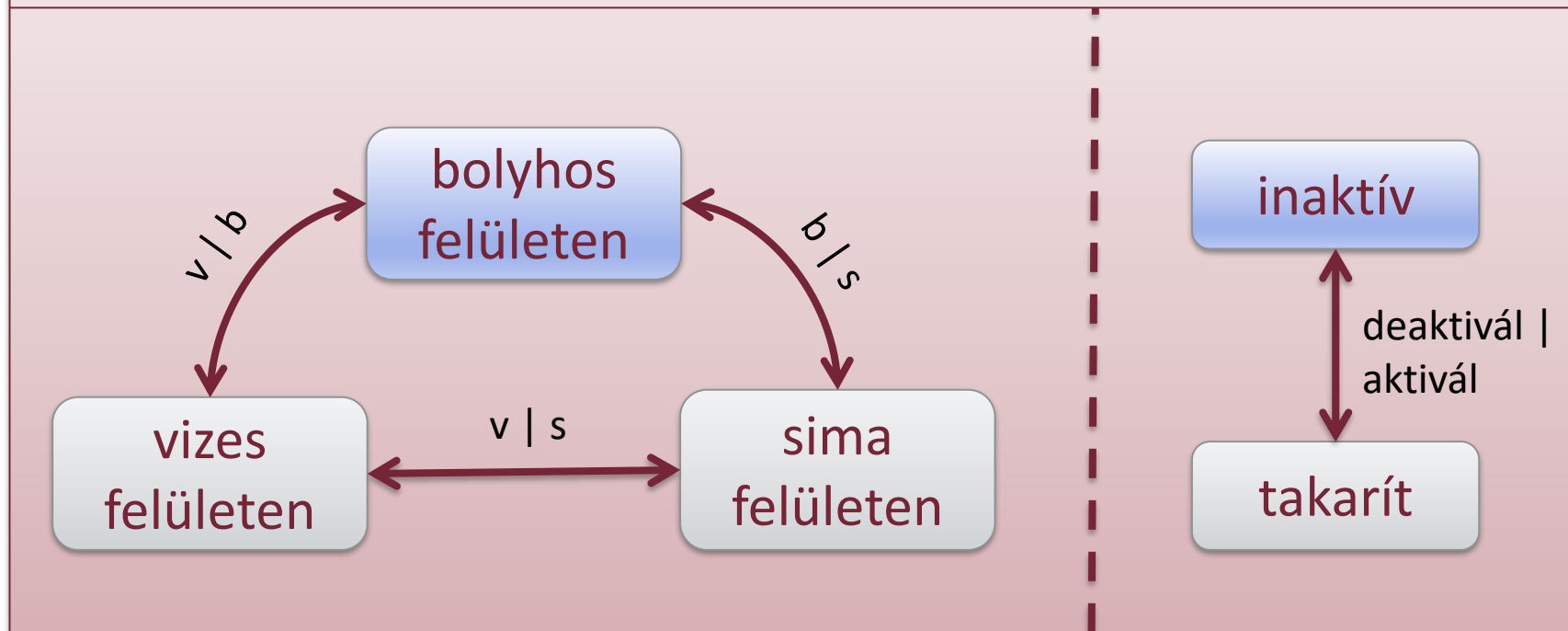
Ortogonalitás

ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJJA



Ortogonalitás

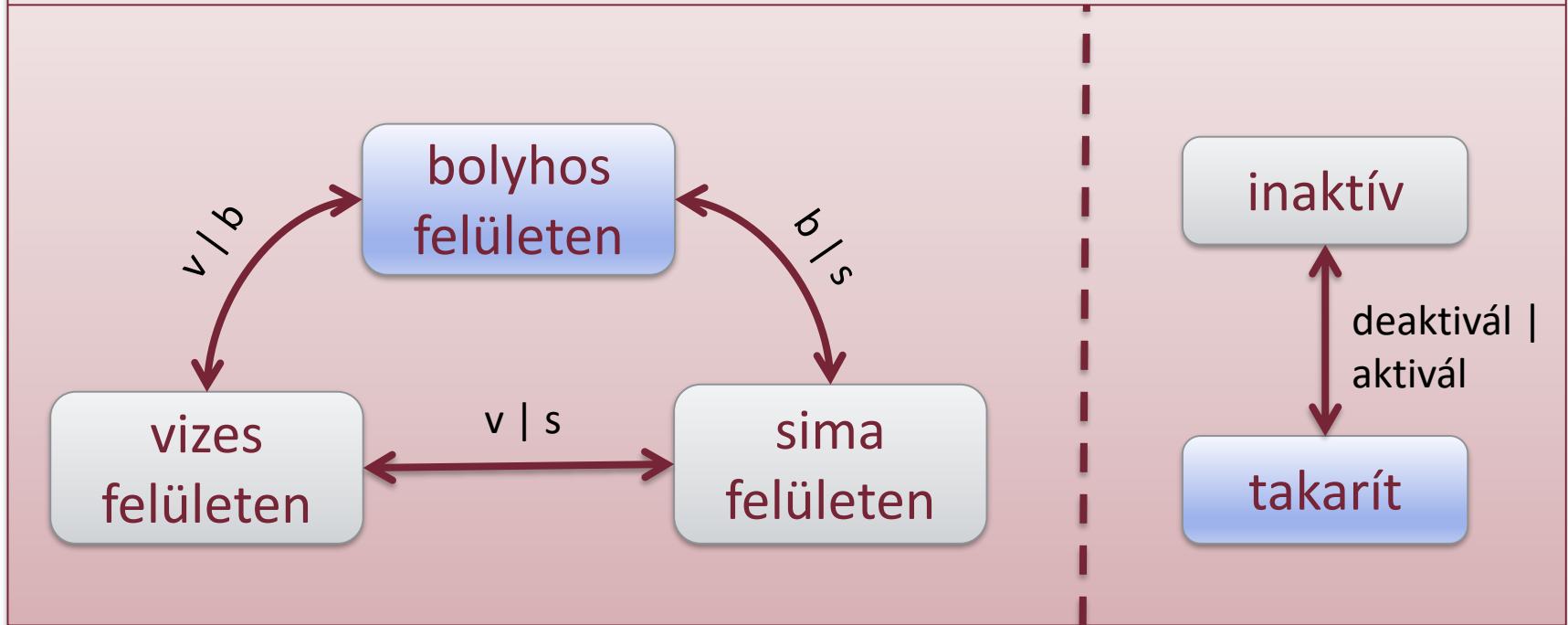
ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJJA



- Állapotkonfiguráció: $\{bolyhos\ felületen, inaktív\}$

Ortogonalitás

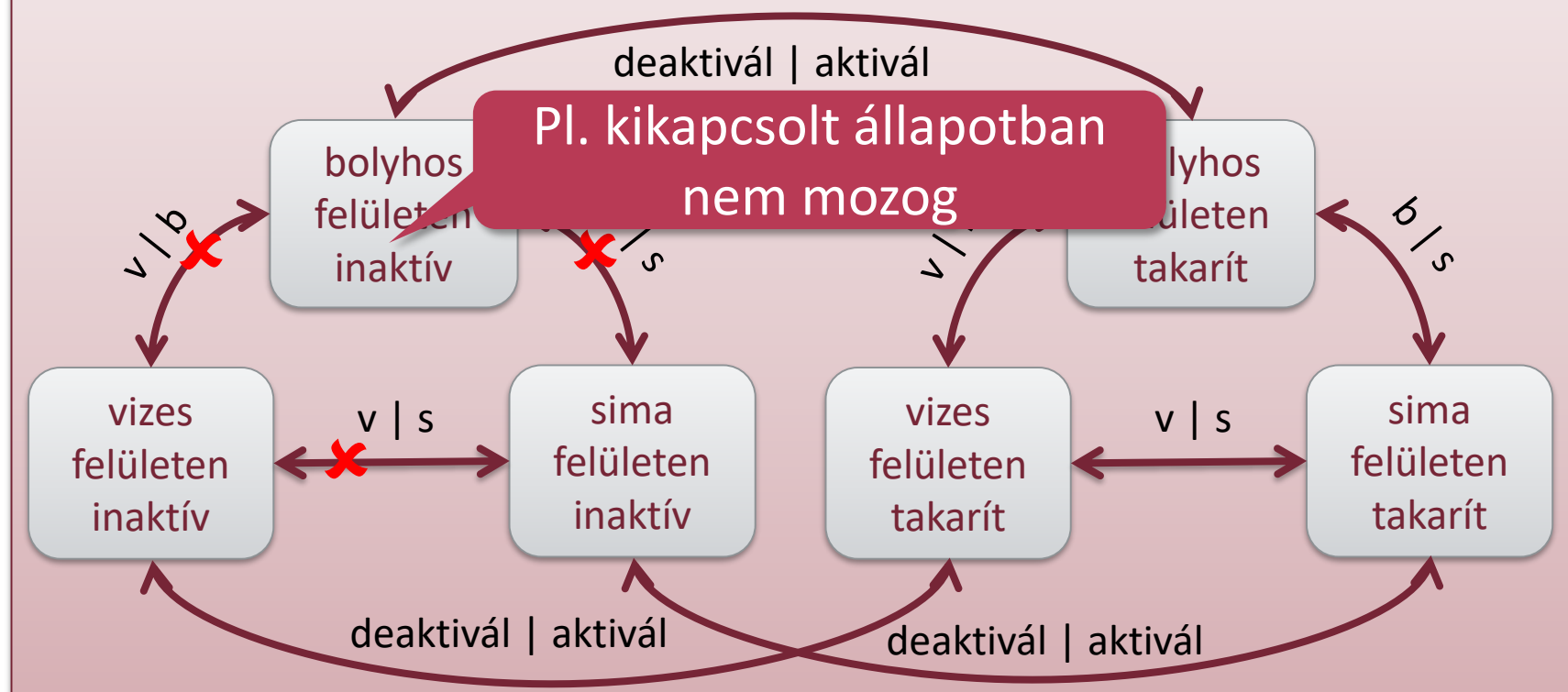
ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJJA



- Állapotkonfiguráció: $\{bolyhos\ felületen, takarít\}$

Régiók aszinkron szorzata

ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJA

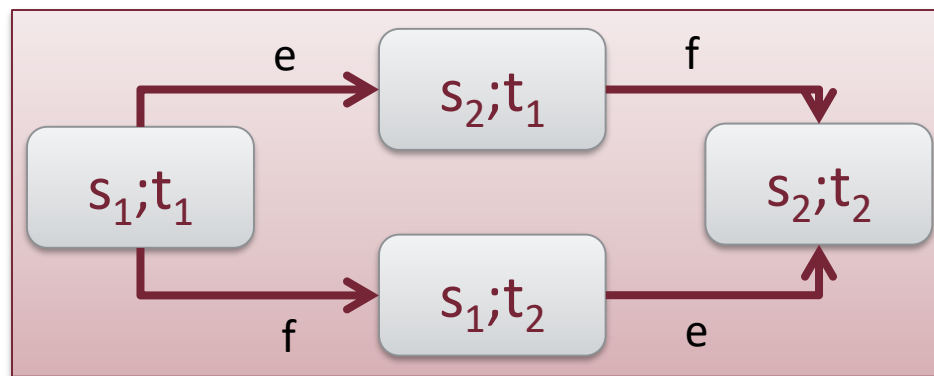
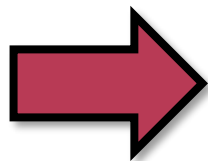
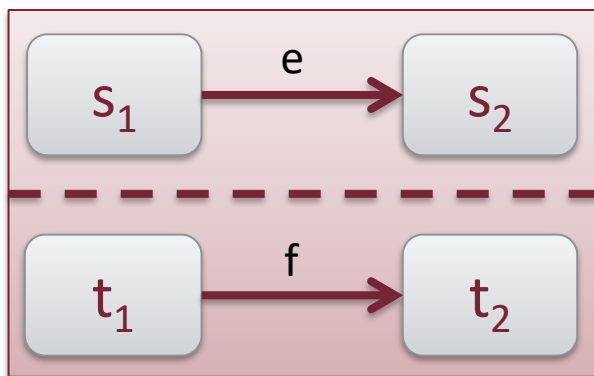


- További finomítást igényel: átmenetek kieshetnek
→ Állapotok így elérhetetlenné válhatnak

Definíció: Aszinkron szorzat

A (Mealy-) állapotgépek **aszinkron szorzata** (régióknak is nevezett) komponens állapotgépeken végzett **kompozíciós művelet**. A szorzat **eredménye** egy (Mealy) állapotgép, melynek

- állapottere a régiók állapottereinek direkt szorzata,
- kezdőállapotában az összes régió kezdőállapotban van,
- és átmeneti szabályait az összes olyan lépés alkotja, amelyben
 - **pontosan egy régió** állapotátmenetet végez,
 - míg a többi régió állapota nem változik.



Változók

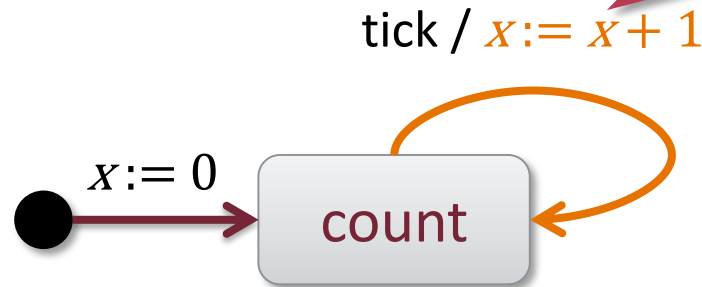
- Végtelen számláló

- $S = \mathbb{N}$



Valójában x odaképezhető egy másik állapot régióba...

- Változó bevezetése: x

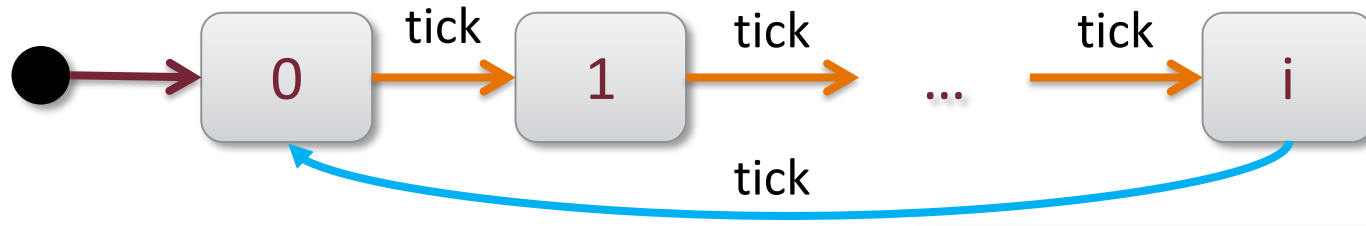


$$(count, \{x \mapsto 0\}) \rightarrow (count, \{x \mapsto 1\}) \rightarrow \dots$$

Változók + őrfeltételek

- Ciklikus számláló

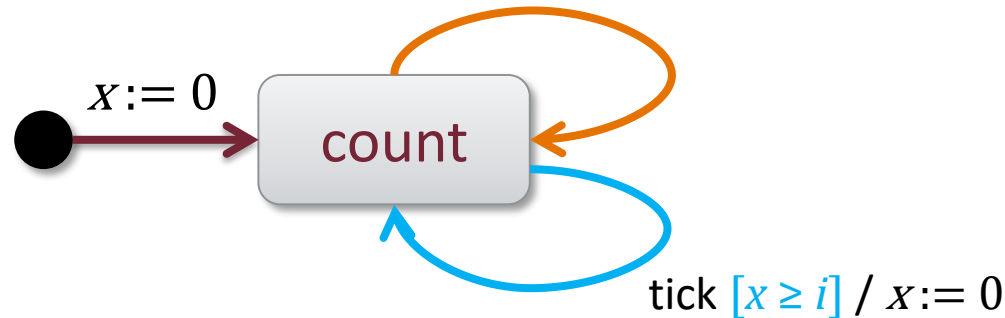
- $S = \{0, 1, \dots, i\}$



- Őrfeltételekkel:

Változó vagy állapotrégió
figyelembe vehető

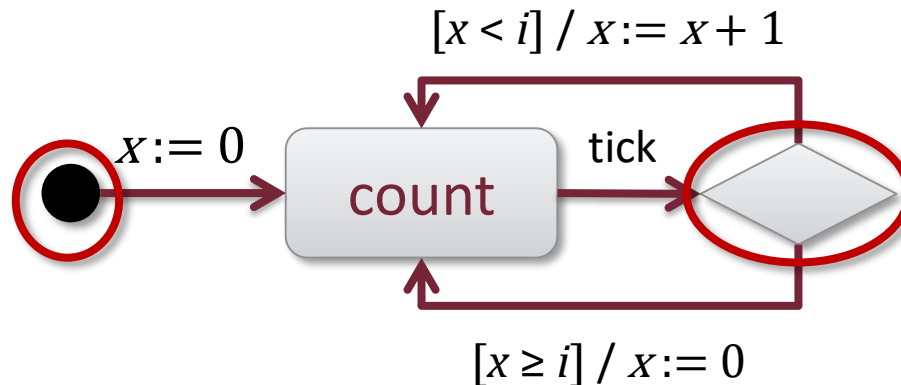
tick $[x < i] / x := x + 1$



Pszedoállapotok

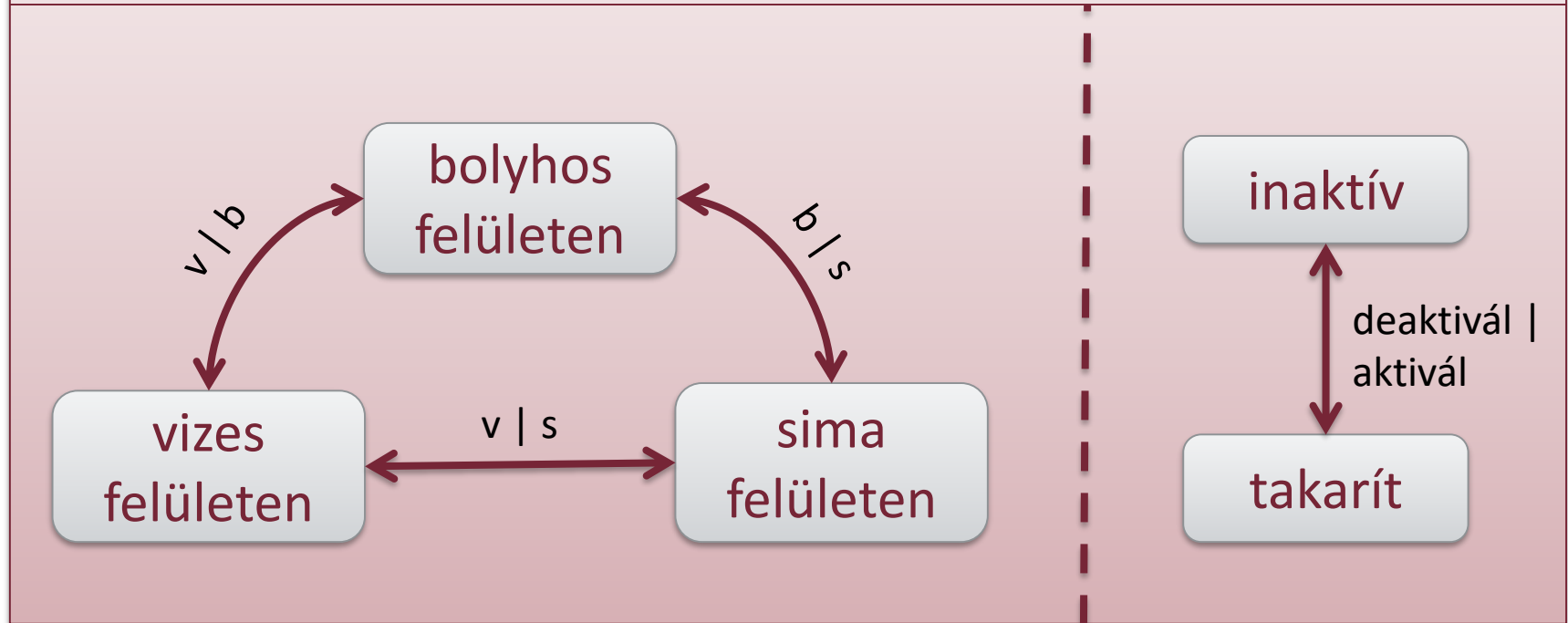
■ Pszeudoállapot:

- Szemantikailag nem állapot:
 - Nincs olyan időpillanat, amikor a rendszert jellemezné
- Szintaktikailag állapot:
 - Lehet tranzíció kezdő- vagy célállapota



Kooperáció aszinkron szorzat esetén

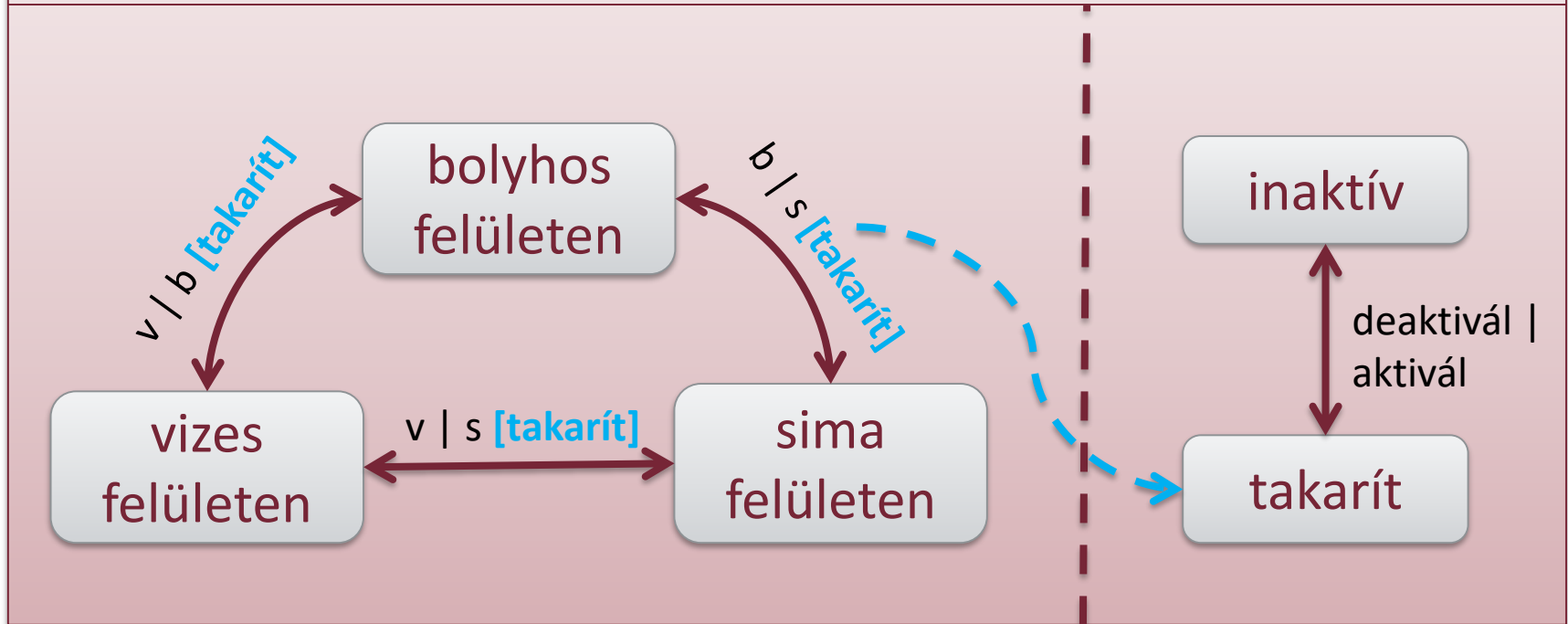
ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJJA



- Hogyan modellezzük a kooperációt?
 - Egészen pontosan hogyan **nem független** a két régió?

Kooperáció aszinkron szorzat esetén

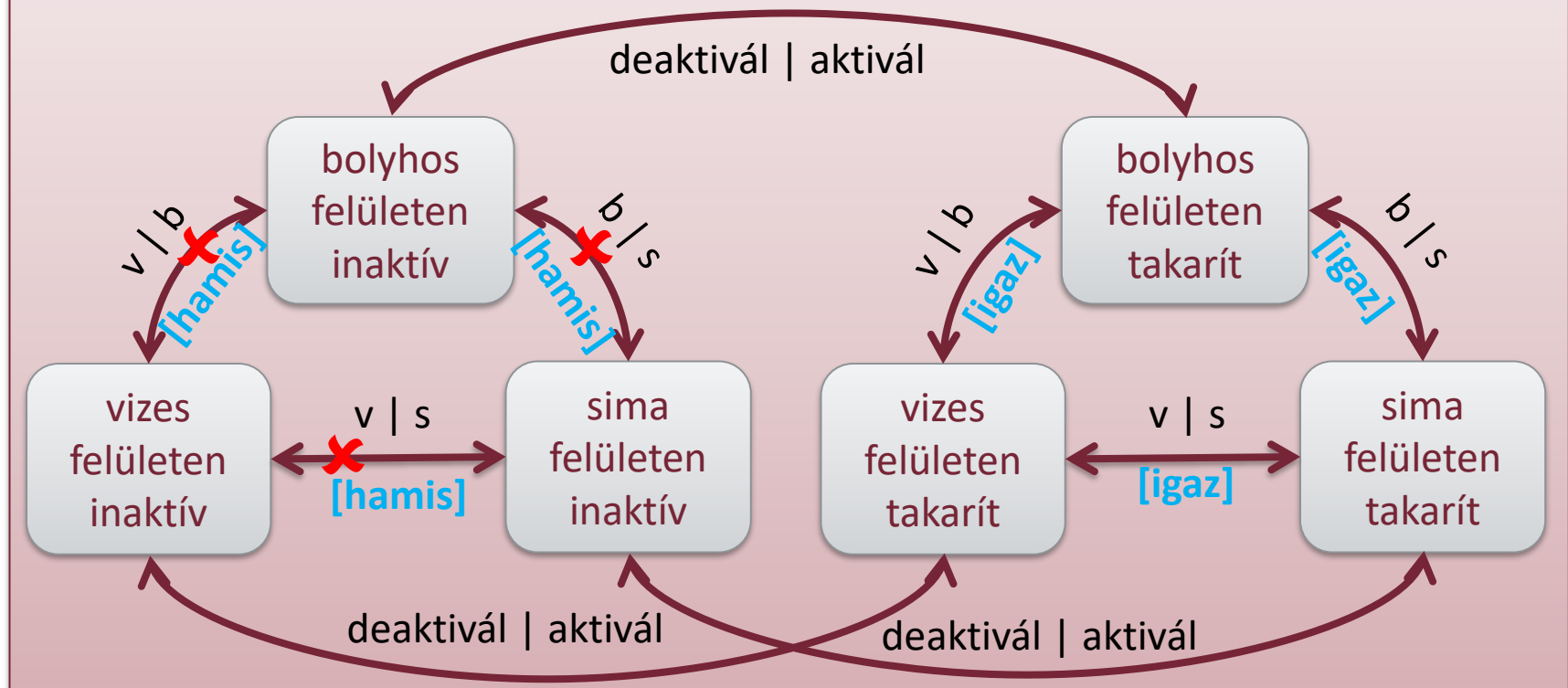
ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJA



- Kooperáció **őrfeltétellel**
 - Egyik régióban átmenet feltétele másik régió állapota

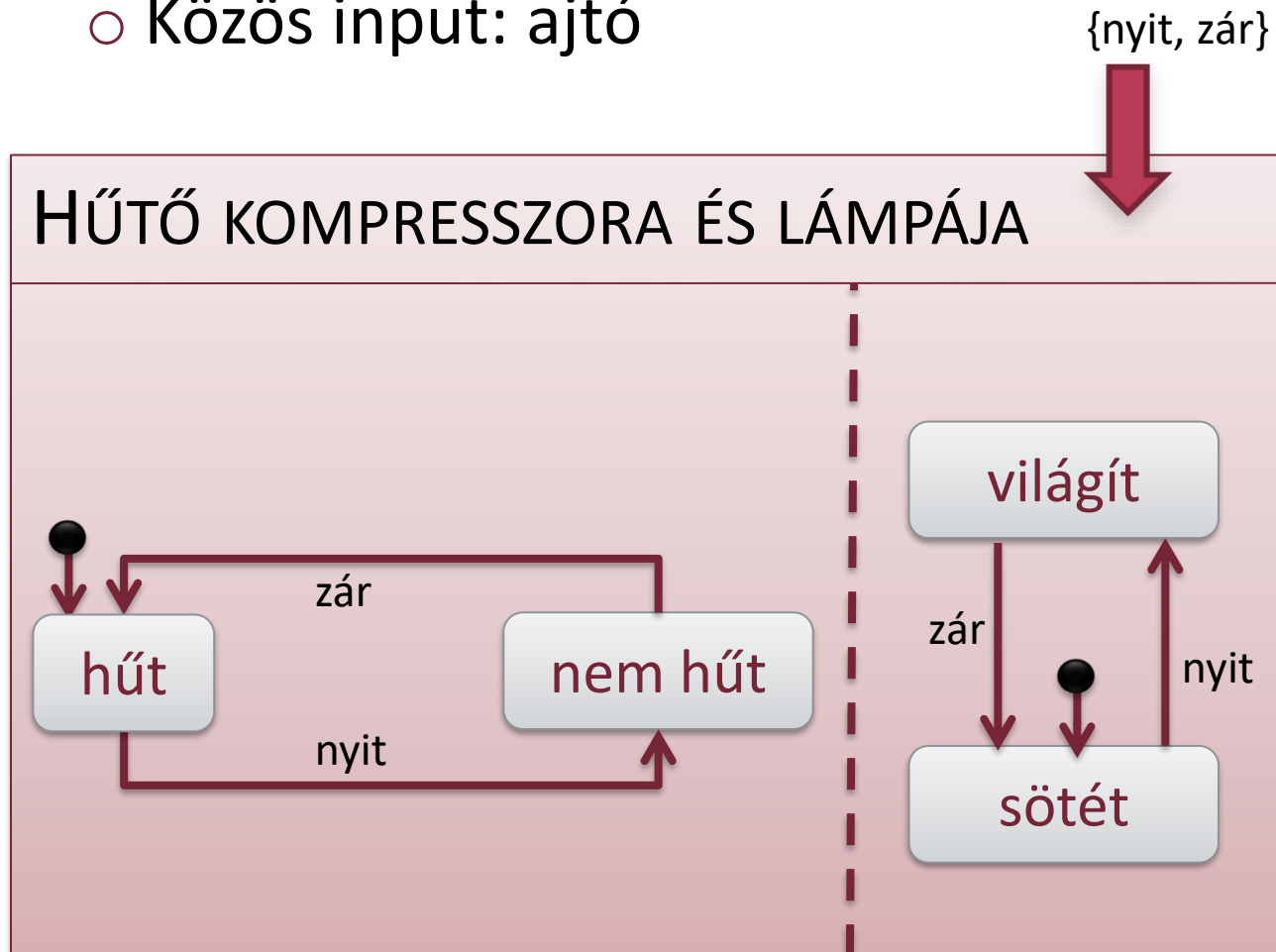
Kooperáció aszinkron szorzat esetén

ROBOTPORSZÍVÓ HELYE ÉS ÜZEMMÓDJA



Szinkron szorzat példa

- Hűtőszekrény kompresszor vs. lámpa
 - Közös input: ajtó



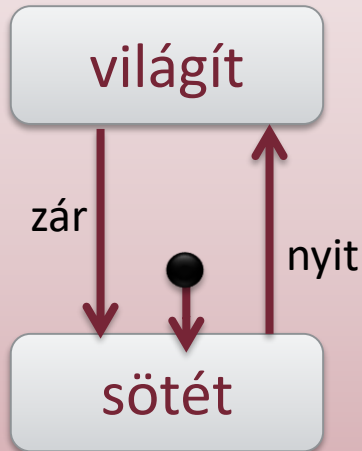
Szinkron szorzat példa

- Közös inputolvasás
→ szinkron lépés
 - (A kezdőállapotból elérhetetlenné válhatnak állapotok)

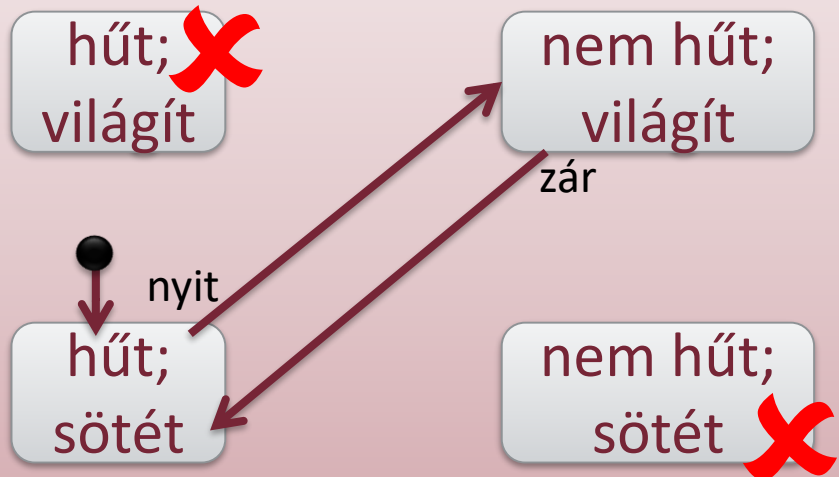
KOMPRESSZOR



LÁMPA

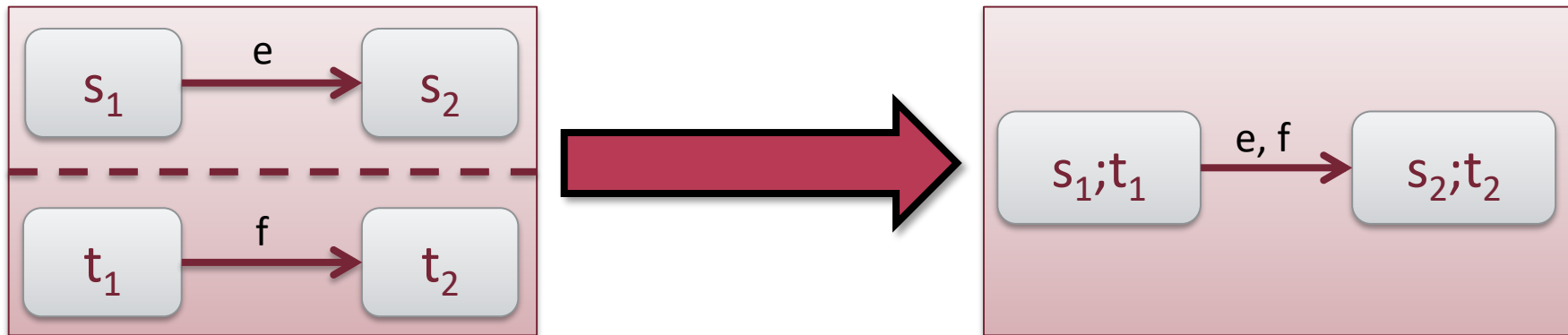


HŰTŐ KOMPRESSZORA ÉS LÁMPÁJA



Szinkron szorzat

- Állapotgépek szorzata
 - Modell felépítése állapotrégiókból (komponensekből)
 - Állapothalmaz: a régiók állapottereinek **direkt szorzata**
 - Kezdőállapot: a régiók kezdőállapotaiból álló n-es
- Átmenetek
 - **Szinkron szorzat:** mindkét állapotváltozó egyszerre lép
 - Egy-egy átmenet „összeragasztása”, címkék uniója



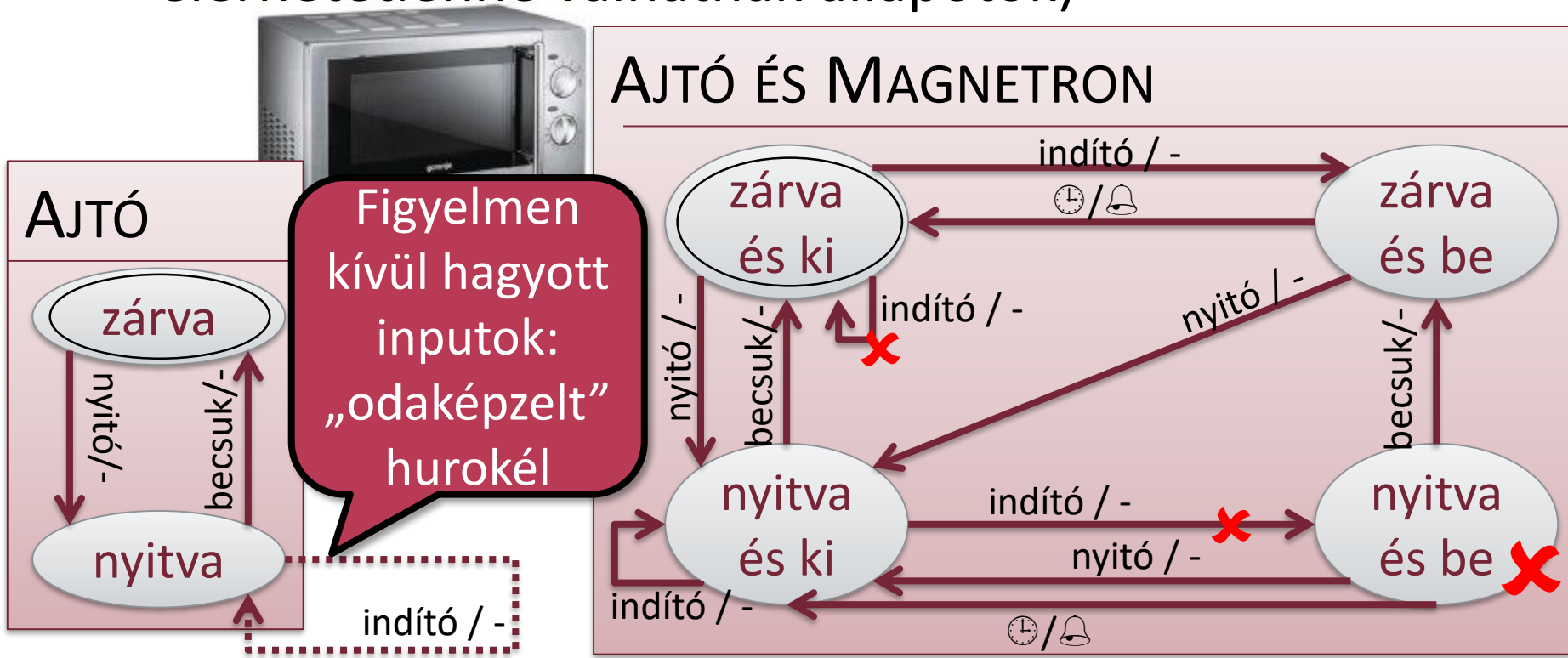
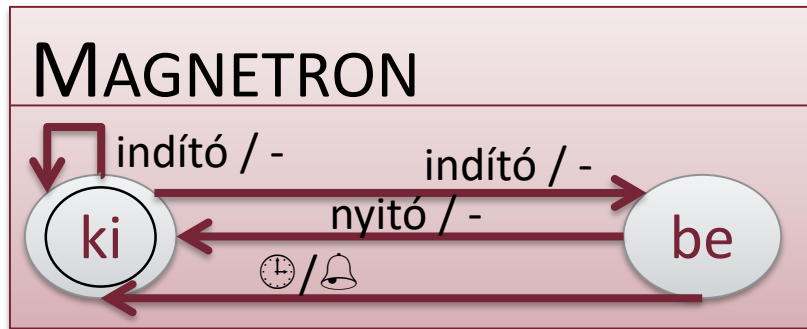
Vegyes szorzat

- Állapotgépek szorzata
 - Modell felépítése állapotrégiókból (komponensekből)
 - Állapothalmaz: a régiók állapottereinek **direkt szorzata**
 - Kezdőállapot: a régiók kezdőállapotaiból álló n -es
- Átmenetek
 - **Vegyes szorzat**: helyenként szinkronizáció történik
 - Alapvetően aszinkron kompozíció...
 - ...de bizonyos esetekben együtt lépnek a régiók

Szinkronizáció egyszerű esete:
van közös input (is)

Vegyes szorzat példa

- További finomítást igényel
 - Átmenetek kieshetnek
 - (A kezdőállapotból így elérhetetlenné válhatnak a



Vegyes szorzat

- Állapotgépek szorzata
 - Modell felépítése állapotrégiókból (komponensekből)
 - Állapothalmaz: a régiók állapottereinek **direkt szorzata**
 - Kezdőállapot: a régiók kezdőállapotaiból álló n-es
- Átmenetek
 - **Vegyes szorzat**: helyenként szinkronizáció történik
 - Alapvetően aszinkron kompozíció...
 - ...de bizonyos esetekben együtt lépnek a régiók

Szinkronizáció egyszerű esete:
van közös input (is)

Fejlett kooperáció: **randevú**
(belső szinkronizáló esemény)

Szorzatok áttekintése

■ Állapotterek szorzata

- **Direkt szorzat:** $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$

- Összetett állapot: komponensek állapotaiból képzett n-es

■ Állapotgépek szorzata

- Az állapottér mindig a direkt szorzat (finomítása)

- **Szinkron szorzat**

- Mindig egyszerre lépnek a komponensek / régiók

- **Aszinkron szorzat**

- Mindig csak egy komponens / régió lép

- **Vegyes szorzat**

- Helyenként egy, helyenként több komponens / régió lép

Szorzatok áttekintése

■ Állapotterek szorzata

- **Direkt szorzat:** $S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$

- Összetett állapot: komponensek állapotaiból képzett n-es

■ Állapotgépek szorzata

- Az állapottér mindig a direkt szorzat (finomítása)

- **Szinkron szorzat**

- Mindig egyszerre lépnek a komponensek / régiók

- **Aszinkron szorzat**

- Mindig csak egy komponens / régió lép

- **Vegyes szorzat**

- Helyenként egy, helyenként több komponens / régió lép

Kooperáció módjai

Örfeltétel

Randevú

Előismeretek

Állapottér

Mealy gépek

Harel gépek

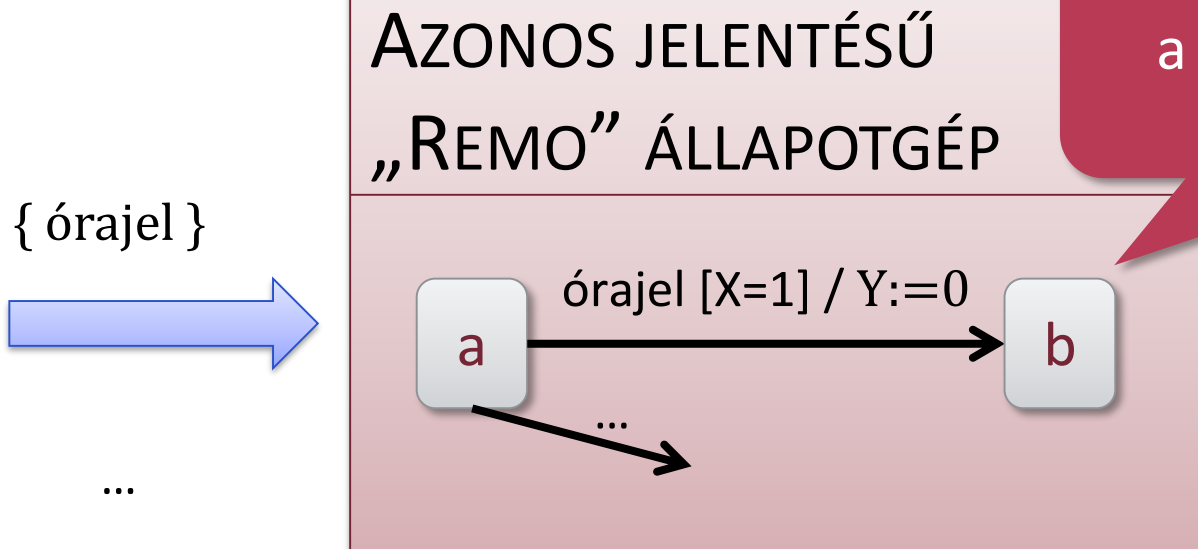
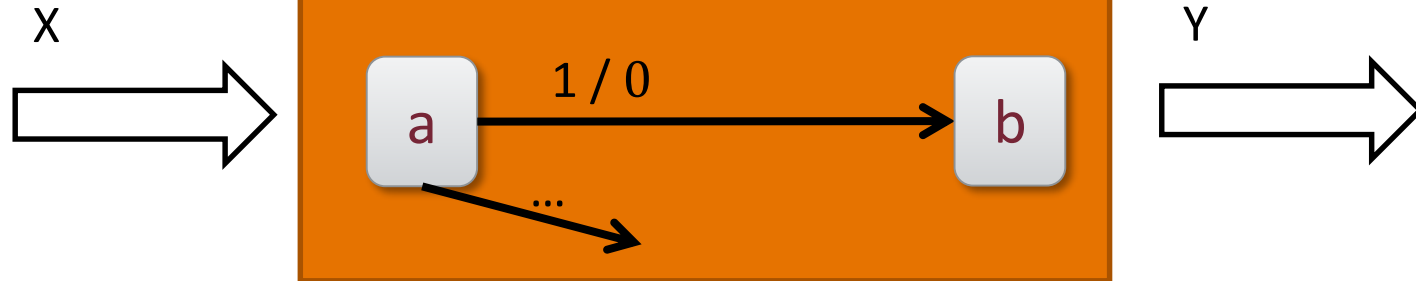
Kitekintés

KITEKINTÉS, SZOFTVERTÁMOGATÁS

Az állapotátmenet értelmezése

- Digitális áramkörtervezésnél
 - Szinkron sorrendi hálózat (ld. *Digitális Technika*)
 - Egyféle input esemény (órajel)
 - Állapotátmeneten feltüntetett input feltételek
 - Mindig órajelre lép → fel se tüntetjük
 - Input feltétel: a bemenő jelvezetékek *állapotára* vonatkozik
- Ezzel szemben **általános rendszermodellezésnél**
 - Sokféle modellezett input esemény (jel)
 - Állapotátmeneten feltüntetett input feltételek
 - Elsődleges feltétel: kiváltó **input esemény**
 - Opcionálisan más részrendszerek állapotától függ: **őrfeltétel**

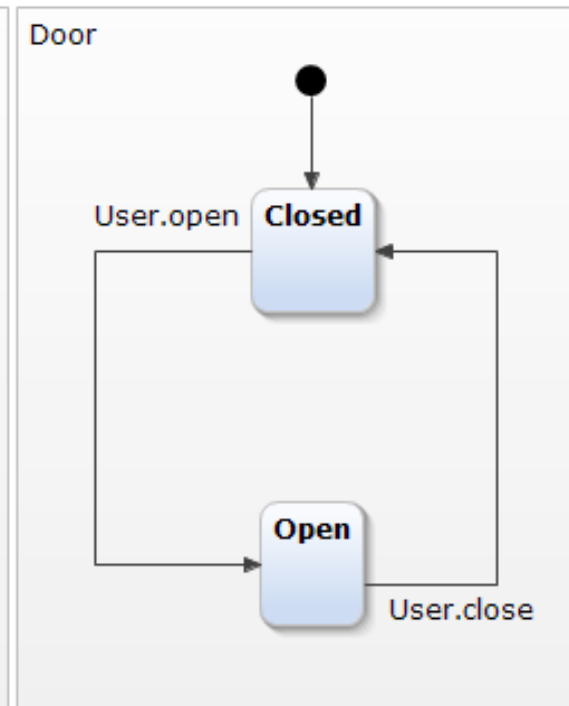
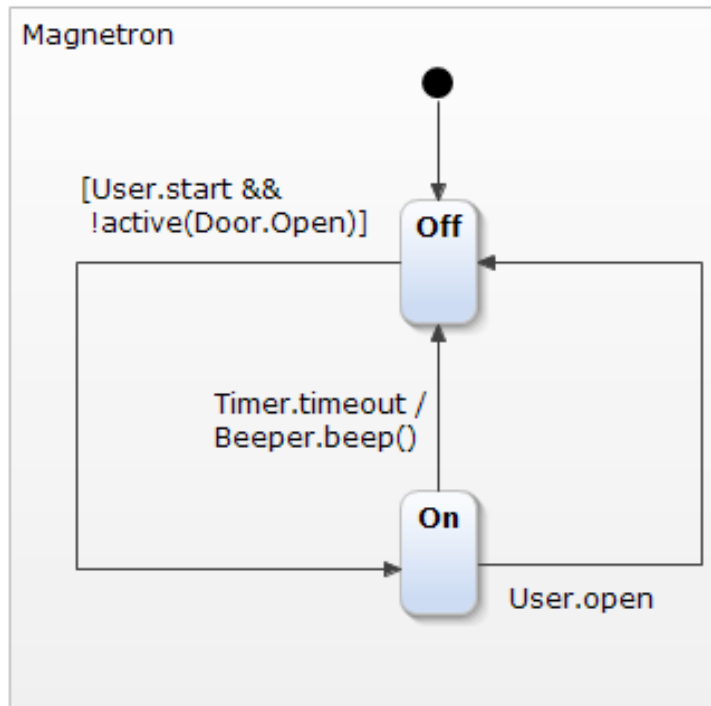
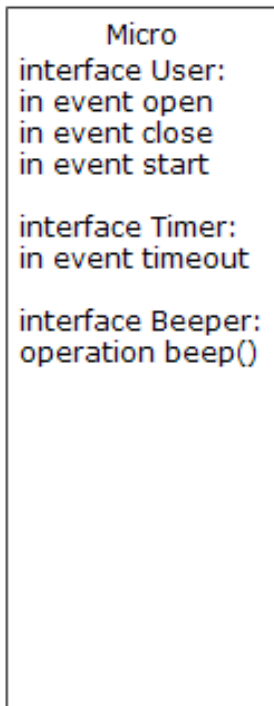
Az állapotátmenet értelmezése



Az órajel input esemény,
a vezetékeken lévő jel
állapotváltozó

Yakindu Statechart Tools

- Kompozit állapotgépek szerkeszthetők 
 - (statechart nyelv → tömören kifejezhető kompozíció)



Yakindu végrehajtási üzemmódok

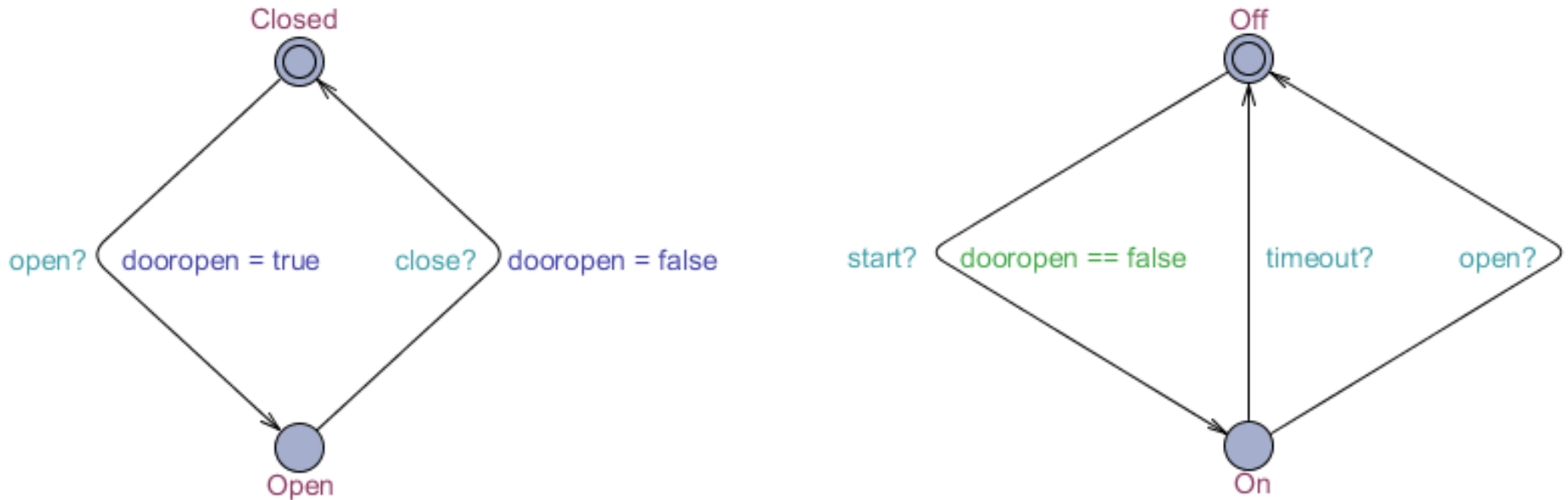
- „Digites” állapotgép:
 - Cycle-based működési mód (alapértelmezett)
 - `CycleBased(200ms)` annotáció
 - 200ms-onként „magától” végrehajtódik és feldolgozza az összes bejövő eseményt
 - Triggerelhetünk több esemény kombinációjára is
- „Remo” állapotgép:
 - Event-based működési mód (alapértelmezett)
 - `EventBased` annotáció
 - Minden (időzítő) eseményre azonnal végrehajtódik
 - Egy eseményre triggerelhetünk

Yakindu Statechart Tools

- Kész állapotgépből C / Java / ... kód generálható
 - *Magnetron* lép *On* állapotban (egyszerűsítve)

```
/* The reactions of state On. */
private void reactMagnetron_On() {
    if (sCITimer.timeout) {
        sCIBeeper.operationCallback.beep();
        stateVector[0] = State.magnetron_Off;
    } else {
        if (sCIUser.open) {
            stateVector[0] = State.magnetron_Off;
        }
    }
}
```

■ Állapotgépek vegyes szorzata



■ Kompozit állapotgép viselkedése...

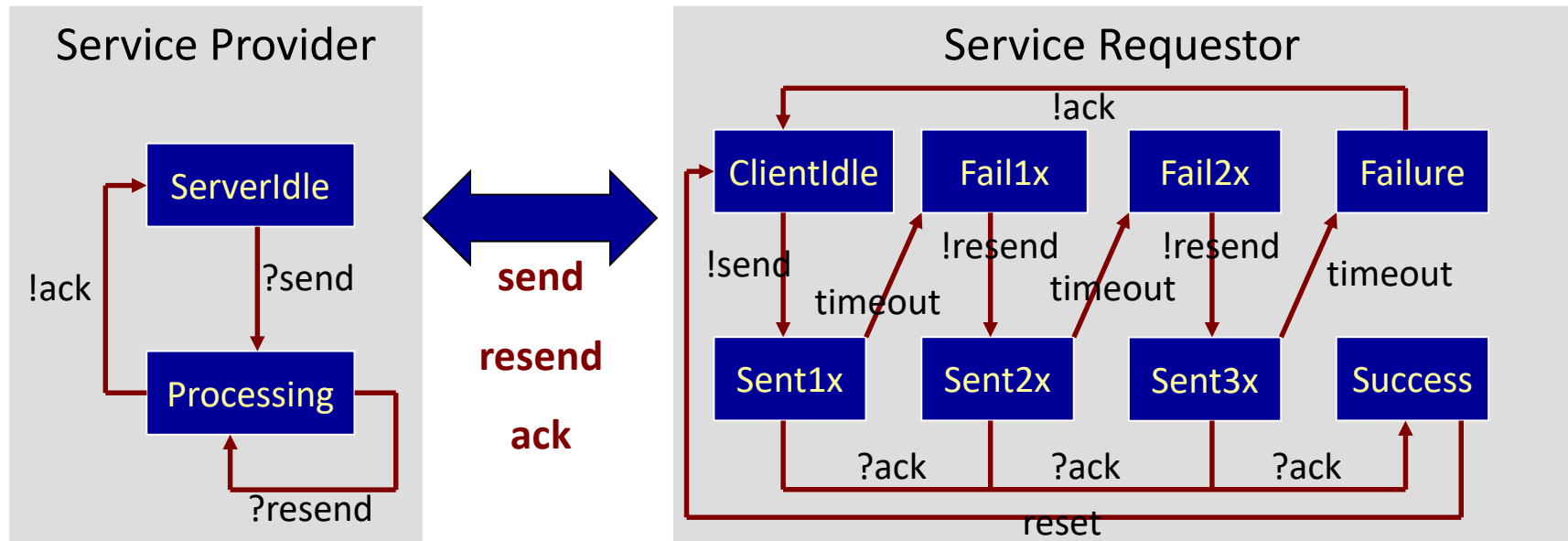
- ...szimulálható
- ...verifikálható

```
A[ ] (! (door.Open && magnetron.On) )
```



Példa: mi a biztonságos üzenetküldés ára?

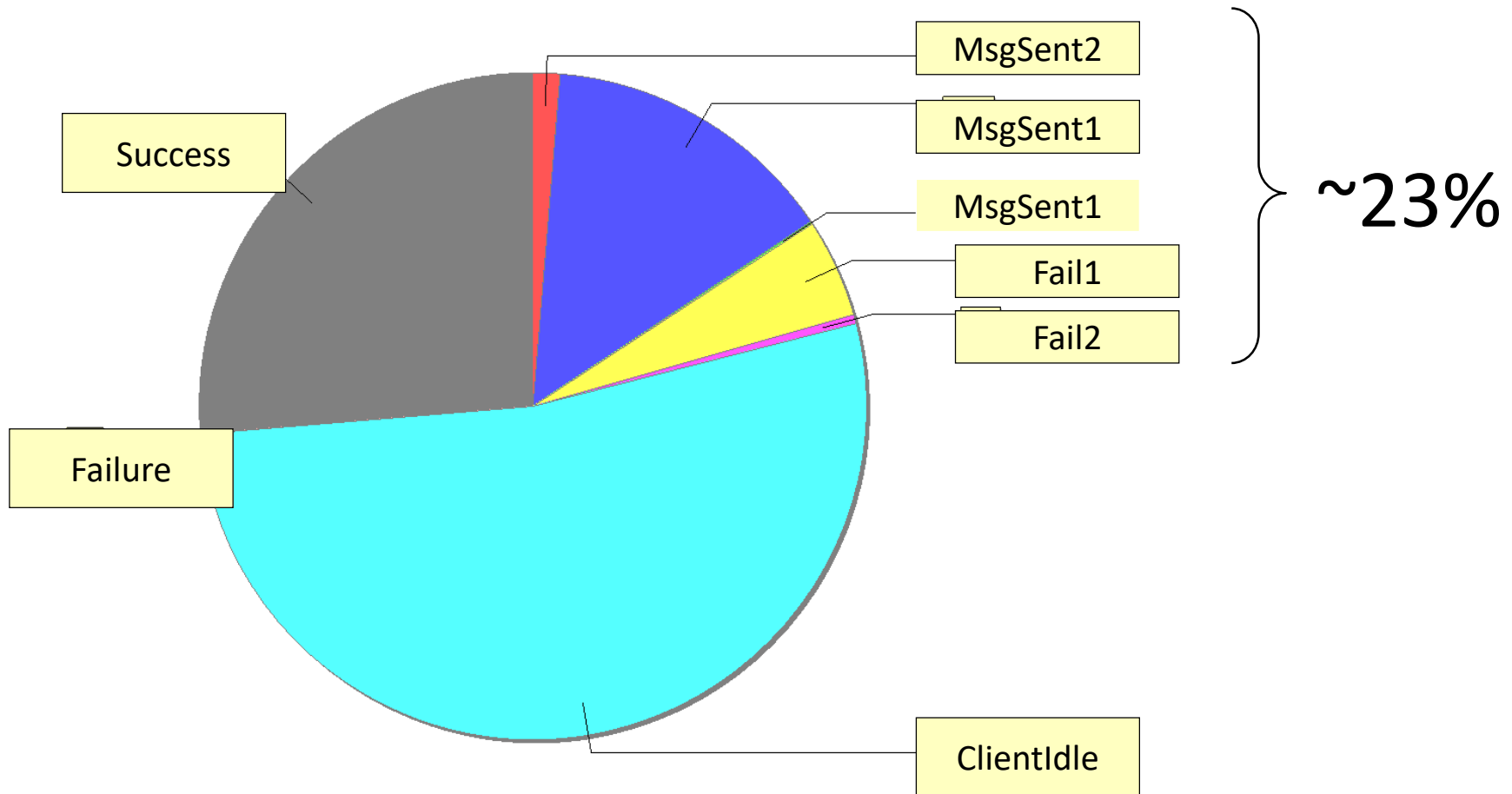
- Újraküldhető üzenetek (max.3.)
- Időzítések



Analízis eredmények: Kihasználtság

Állandósult állapot vizsgálata

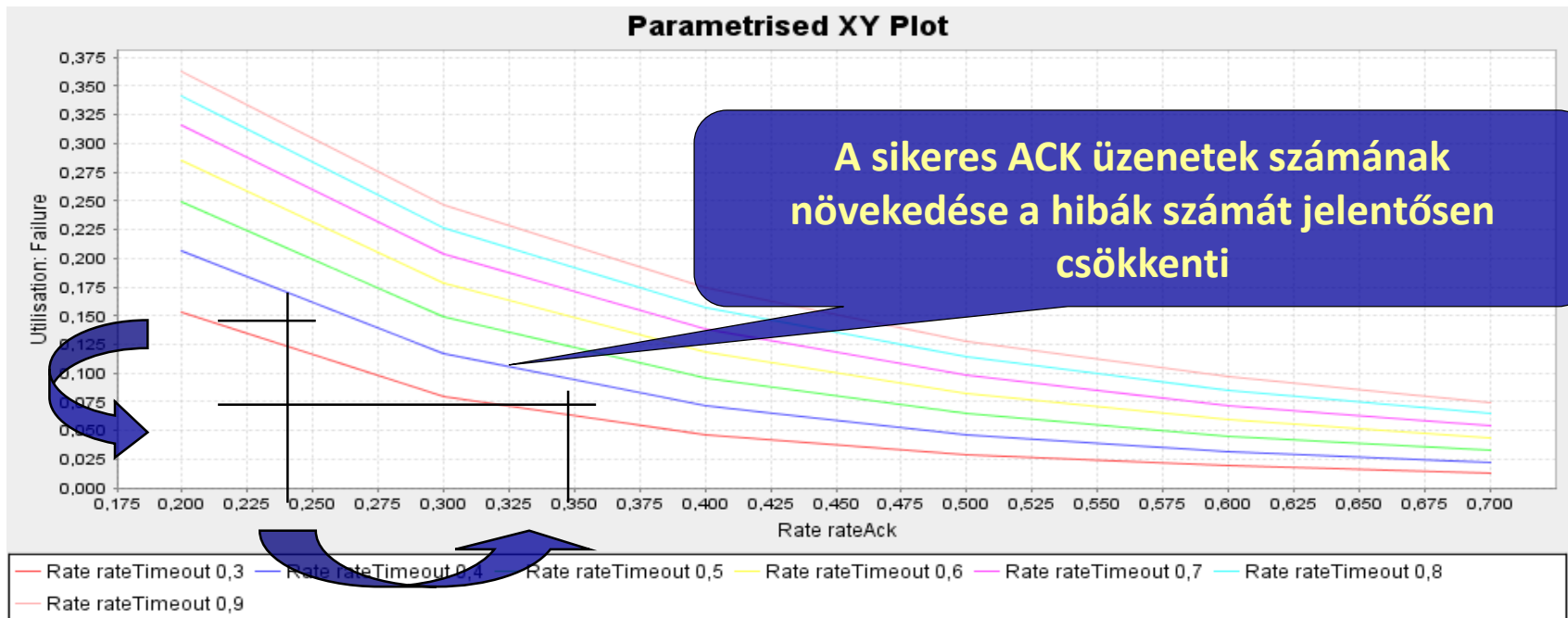
Az idő mekkora része telik a hibák kezelésével?



Analízis eredmények: érzékenységvizsgálat

Érzékenységvizsgálat: hol változtassunk?

Hogyan változik a rendszerszintű hiba valószínűsége a „resend” időzítés változásának hatására?



ÖSSZEFOGLALÁS

Definíció: Állapottér

Az **állapottér** egymástól megkülönböztetett **rendszerállapotok** halmaza, amelynek minden időpontban pontosan egy eleme jellemzi a rendszert.

Egy adott időpontban a rendszer **pillanatnyi állapota** az állapottér azon egyetlen eleme, amelyik abban az időpontban jellemző a rendszerre.

○ Állapottér példák

- {*hétfő, kedd, szerda, csütörtök, péntek, szombat, vasárnap*}
- mikro állapotai: {*teljes fokozat, kiolvasztó mód, kikapcsolva*}

○ Pillanatnyi állapot példák

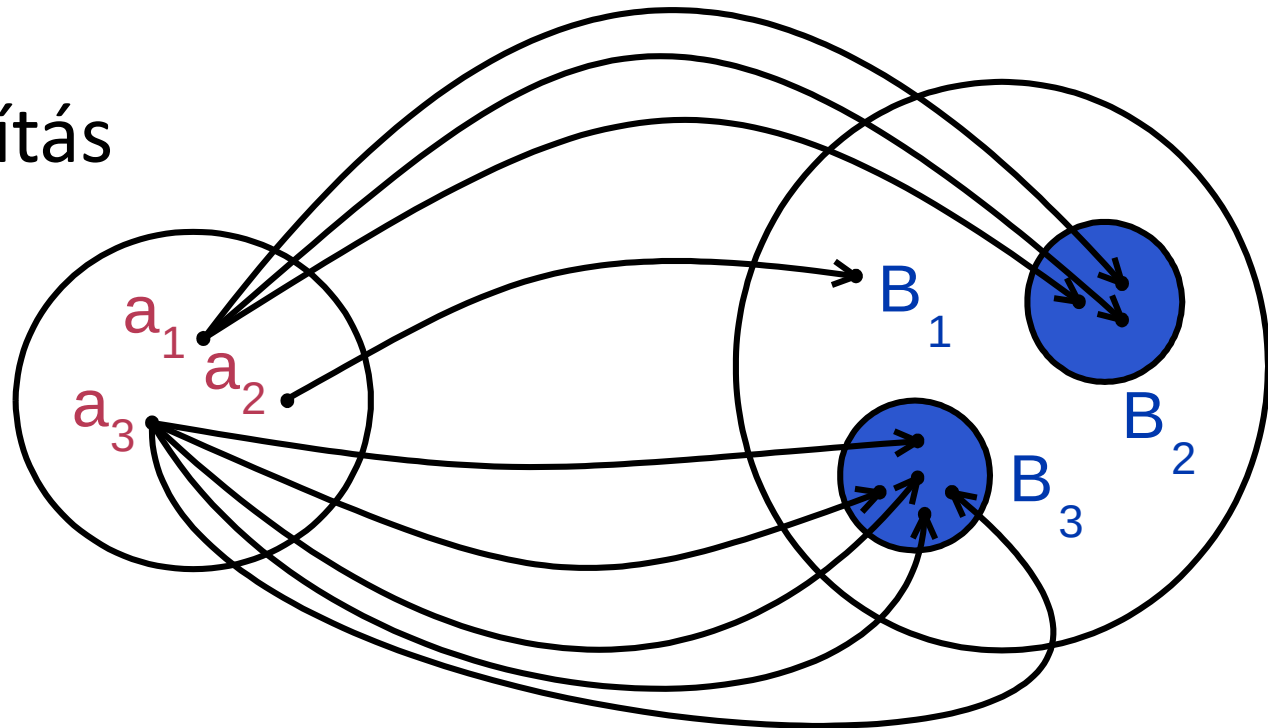
- ma *szerda* van
- a mikro ajtaja *nyitva*

Definíció: Állapotfinomítás és -absztrakció

Az **állapotfinomítás** ill. **állapotabsztrakció** az állapottéren mint halmazon végzett **halmazfinomítás** ill. **halmazabsztrakció**, melynek eredménye egy újabb állapottér.

- (Másfajta absztrakciókkal is találkozunk majd...)

Ismétlés:
halmazfinomítás



Definíció: Állapotterek (direkt) szorzata

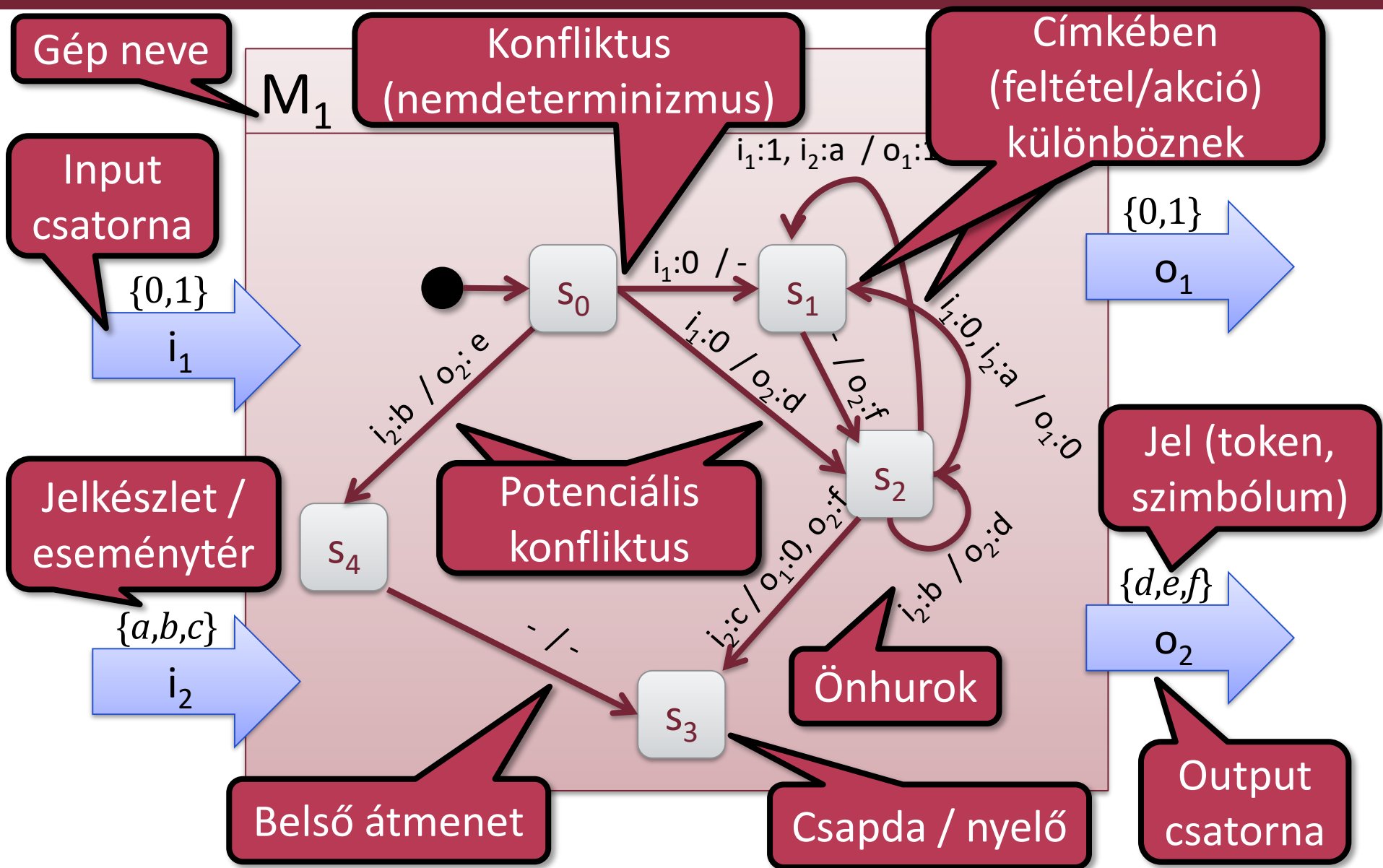
Az állapotterek **direkt szorzata** komponens állapottereken végzett **kompozíciós művelet**.

A szorzat **eredménye** egy újabb állapottér, amely a komponens állapotterek mint halmazok Descartes-szorzataként áll elő

A szorzat állapottérben a komponens állapotterek minden állapot-kombinációjának egy összetett állapot felel meg.

A komponens(ek)re történő **vetítés** egy **állapotabsztrakciós művelet**, amely a szorzat állapottérből egy vagy több komponenst tart meg, a többit elhanyagolja.

Kiterjesztett állapotgép



Állapothierarchia

CALCULATOR



Két állapot egyszerre → sérti a kizárólagosságot?

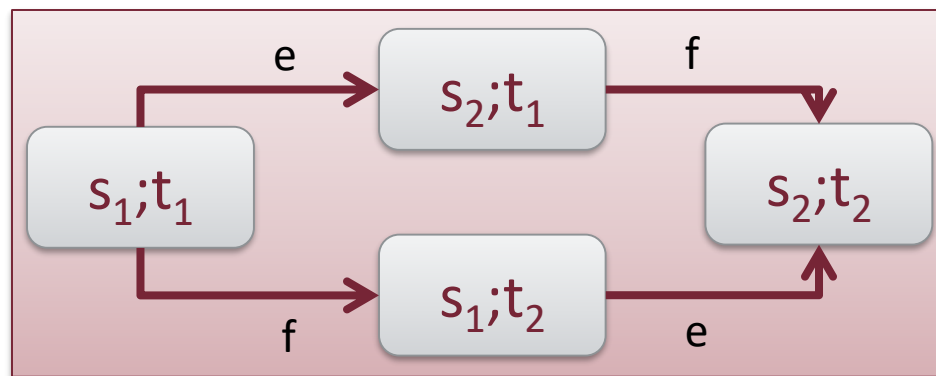
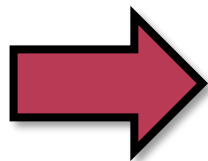
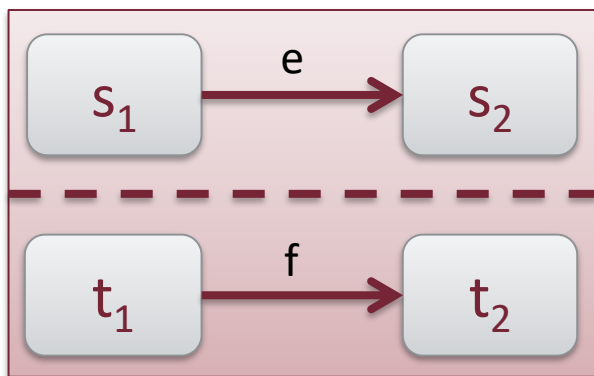
- Nem, a statechart nem állapottér
- Csak az egy szinten lévő állapotok alkotnak kizárólagos állapothalmazt

- Állapotkonfiguráció: $\{On, Reading\ operand2\}$

Definíció: Aszinkron szorzat

A (Mealy-) állapotgépek **aszinkron szorzata** (régióknak is nevezett) komponens állapotgépeken végzett **kompozíciós művelet**. A szorzat **eredménye** egy (Mealy) állapotgép, melynek

- állapottere a régiók állapottereinek direkt szorzata,
- kezdőállapotában az összes régió kezdőállapotban van,
- és átmeneti szabályait az összes olyan lépés alkotja, amelyben
 - **pontosan egy régió** állapotátmenetet végez,
 - míg a többi régió állapota nem változik.



Magyar - English

Felépítési modell	Structural model
Viselkedési modell	Behavioural model
Esemény	Event
Pillanatszerű	Instantaneous
Eseményfolyam	Event stream
Állapot	State
Állapot alapú modell	State based model
Állapottér	State space
Kölcsönösen kizárólagos	Mutually exclusive
Teljes	Complete
Állapotmentes	Stateless

Magyar - English

Állapotterek szorzata	Product of state spaces
Állapotváltozó	State variable
Összetett	Composite
Állapottér-robbanás	State space explosion
Véges	Finite
Diszkrét („szétválasztható”)	Discrete
<i>Diszkrét („nem pletykál”)</i>	<i>Discreet</i> 😊
Állapotátmenet	Transition
Állapotátmeneti szabály	Transition rule
Nemdeterminizmus / Konfliktus	Nondeterminism / Conflict

Magyar - English

Állapotgép / Automata	State machine / Automaton
Kezdőállapot	Initial state
Címke	Label
Ok / Előfeltétel	Cause / Precondition
Következmény / Utófeltétel	Consequence / Postcondition
Hurokél	Loop edge
Csatorna	Channel
Jel / Szimbólum	Signal / Token / Symbol
Nyelő / Csapda	Sink / Trap
Szinkron szorzat	Synchronous product
Aszinkron szorzat	Asynchronous product