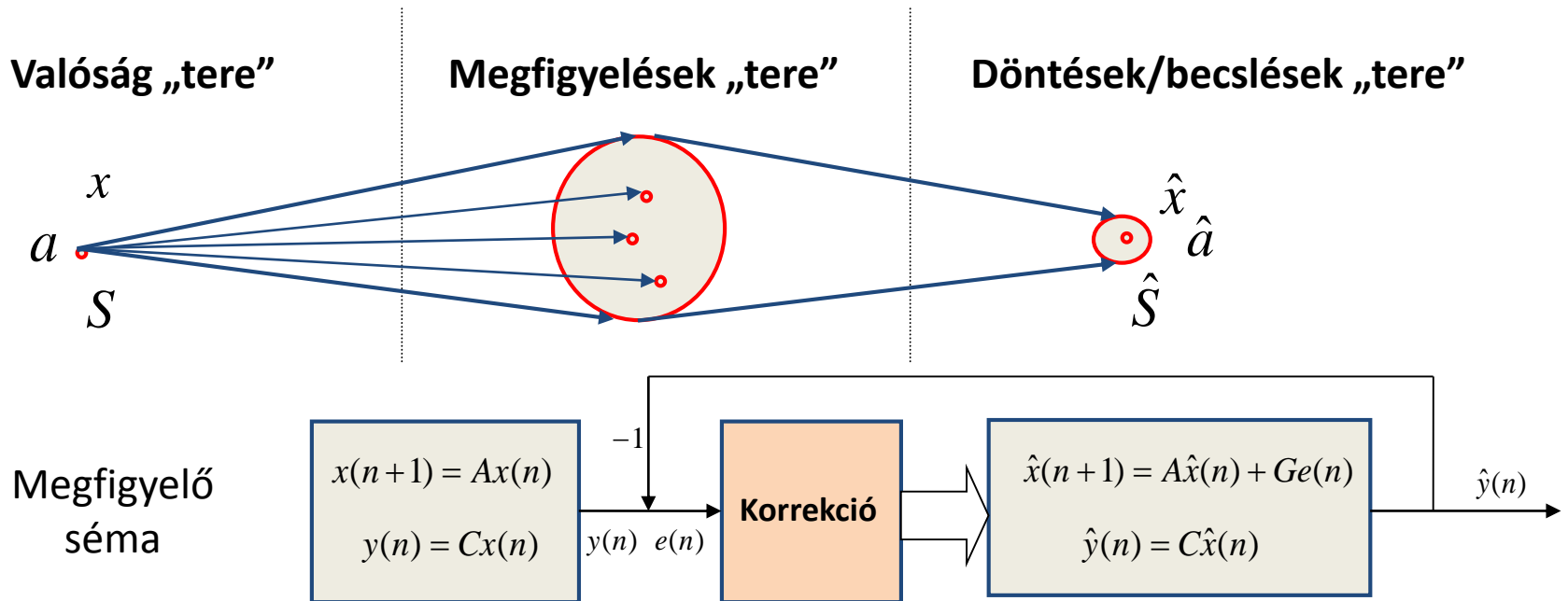


Kiberfizikai rendszerek

A “fizikai” vonatkozásokról ...
2. folytatás

2015. november 12.

A befogadó környezet modellezése



A fizikai rendszerek dinamikus viselkedését leíró modell-fajták:

Folytonos rendszerek: időbeli és amplitudóbeli folytonosság \rightarrow differenciálegyenletek

Diszkrét rendszerek: diszkrét lépések sorozatát hajtják végre \rightarrow FSM, differenciaegyenletek

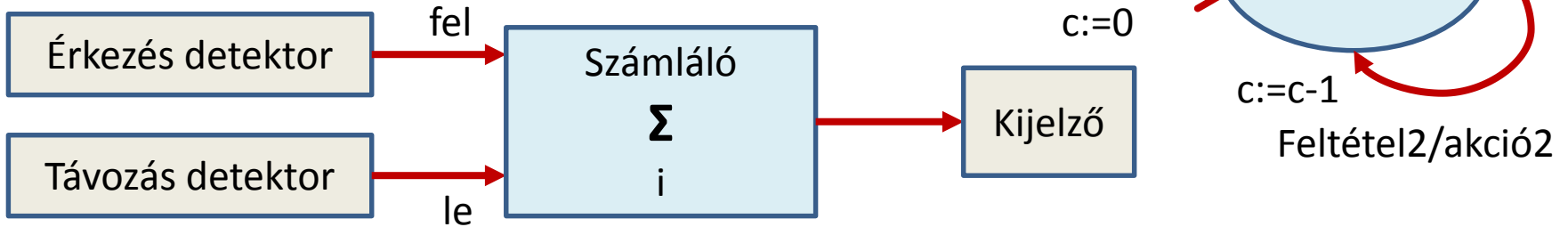
Hibrid rendszerek: folytonos és diszkrét rendszerek kombinációja

Kvalitatív modellek: problémamegoldás mennyiségek változási tendenciáira alapozva

Egyéb, nem-konvencionális ismeretrepresentációs technikák: pl. fuzzy

Diszkrét rendszerek

Példa: Parkoló gépkocsik száma egy parkolóházban (max. M)



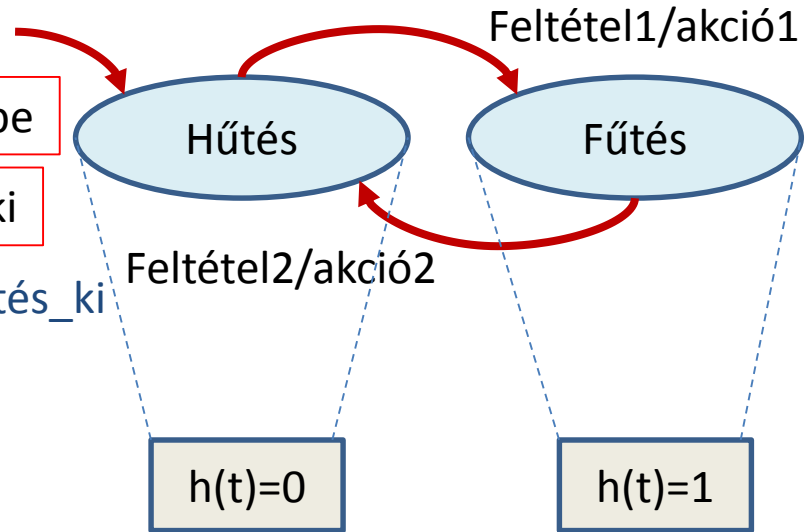
Feltétel1/akció1: $fel \wedge \neg le \wedge c < M / c+1$ Feltétel2/akció2: $le \wedge \neg fel \wedge c > 0 / c-1$

Példa: Termosztát hiszterézissel

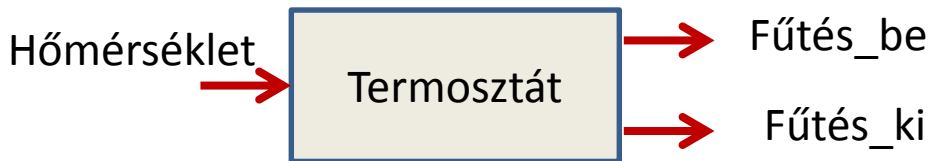
Feltétel1/akció1: $Hőmérséklet \leq 18 \text{ fok} / fűtés_be$

Feltétel2/akció2: $Hőmérséklet \geq 22 \text{ fok} / fűtés_ki$

Bemenet: hőmérséklet. **Kimenet:** fűtés_be, fűtés_ki



Ehhez rendelhető ún. **aktor modell:**



Diszkrét rendszerek

„Software Tools Supporting FSMs

FSMs have been used in theoretical computer science and software engineering for quite some time (Hopcroft and Ullman, 1979). A number of software tools support design and analysis of FSMs. **Statecharts** (Harel, 1987), a notation for concurrent composition of hierarchical FSMs, has influenced many of these tools. One of the first tools supporting the Statecharts notation is **STATEMATE** (Harel et al., 1990), which subsequently evolved into **Rational Rhapsody**, sold by IBM. Many variants of **Statecharts** have arisen (von der Beeck, 1994), and some variant is now supported by nearly every software engineering tool that provides **UML** (unified modeling language) capabilities (Booch et al., 1998). **SyncCharts** (Andr e, 1996) is a particularly nice variant in that it borrows the rigorous semantics of **Esterel** (Berry and Gonthier, 1992) for composition of concurrent FSMs. **LabVIEW** supports a variant of **Statecharts** that can operate within dataflow diagrams, and **Simulink** with its **Stateflow** extension supports a variant that can operate within continuous-time models.”

(Lee & Seshia, Introduction to Embedded Systems)

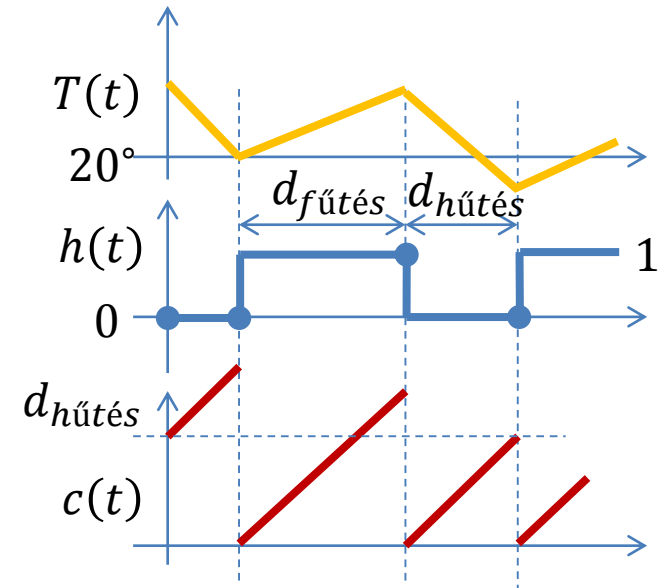
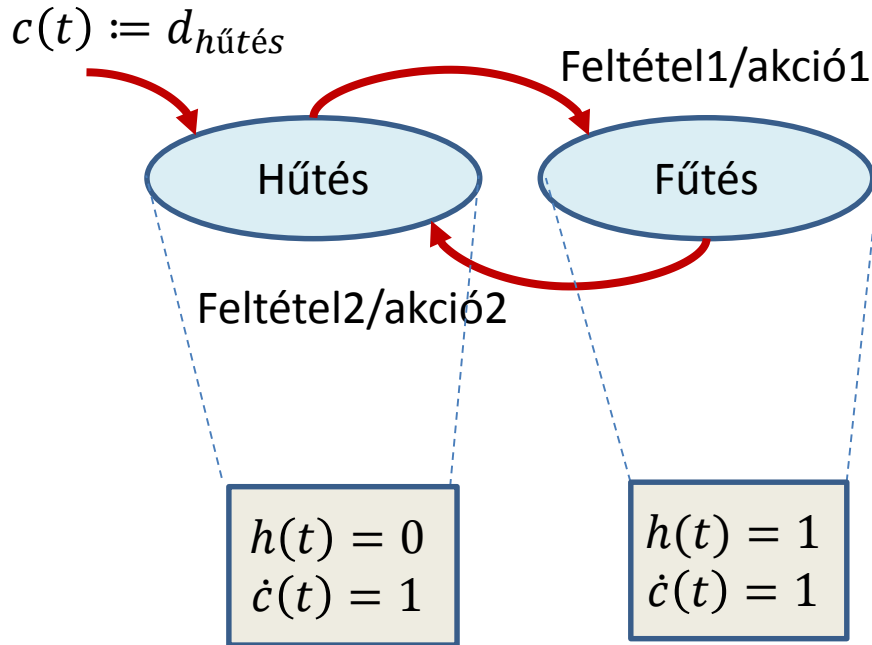
Hibrid rendszerek

A CPS rendszerekben szükség van az idő mérésére, és időzített akciók végrehajtására.

Az **időzített automata (timed automata)** a legegyszerűbb nem-triviális hibrid rendszer.

Az állapotaik mögött (adott időtartamig) mérik az idő múlását: $\forall t \in d_m$ $\dot{c}(t) = a$

Példa: Termosztát hiszterézis helyett időzítéssel



Megjegyzés: $h(t)$ és $c(t)$ az állapotfinomítás eszközei. Szokás (üzem)módról beszélni. (Modal systems)

Feltétel1/akció1: $T(t) \leq 20 \wedge c(t) \geq d_{hűtés}/c(t) := 0$

Feltétel2/akció2: $T(t) \geq 20 \wedge c(t) \geq d_{fűtés}/c(t) := 0$

Hibrid rendszerek

Példa: Önjáró targonca (Automated Guided Vehicle, AGV)

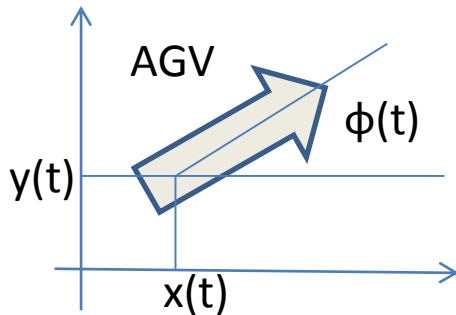
Két szabadságfokú jármű, felfestett csík követésére képes. Minden t időpontban a

hossztengelye mentén $v(t)$ sebességgel mozog azzal, hogy

$$0 \leq v(t) \leq 10 \text{ km/h}$$

A súlypontja körül fordulni is tud $\omega(t)$ szögsebességgel, azzal hogy:

$$-\pi \leq \omega(t) \leq \pi \text{ rad/sec}$$



$$\dot{x}(t) = v(t)\cos(\phi(t))$$

$$\dot{y}(t) = v(t)\sin(\phi(t))$$

$$\dot{\phi}(t) = \omega(t)$$

Kétszintű szabályozás: a targonca mindig 10 km/h sebességgel halad. Négy működési módja van:

balra, jobbra, egyenesen, megállás.

Minden működési módhoz külön differenciálegyenlet tartozik:

egyenesen: $\dot{x}(t) = 10\cos(\phi(t))$

$$\dot{y}(t) = 10\sin(\phi(t))$$

$$\dot{\phi}(t) = 0$$

balra: $\dot{x}(t) = 10\cos(\phi(t))$

$$\dot{y}(t) = 10\sin(\phi(t))$$

$$\dot{\phi}(t) = \pi$$

jobbra: $\dot{x}(t) = 10\cos(\phi(t))$

$$\dot{y}(t) = 10\sin(\phi(t))$$

$$\dot{\phi}(t) = -\pi$$

megállás: $\dot{x}(t) = 0$

$$\dot{y}(t) = 0$$

$$\dot{\phi}(t) = 0$$

Hibrid rendszerek

A targonca érzékelője:

Kimenőjele: $e(t) = f(x(t), y(t))$

$e(t) > 0$ balra tér el.

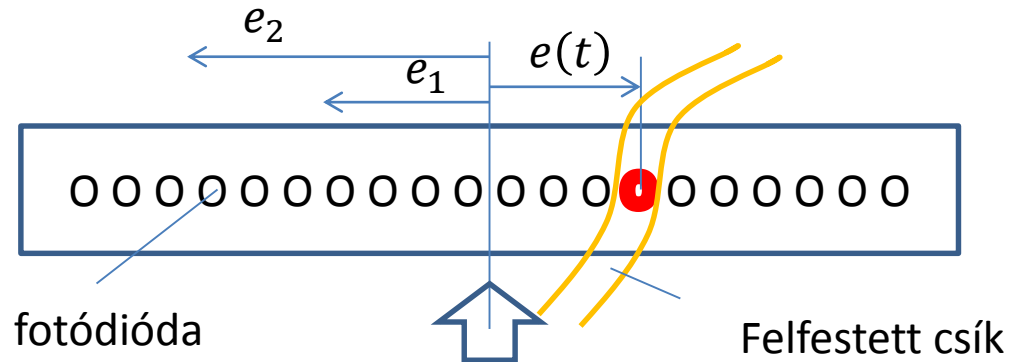
$e(t) < 0$ jobbra tér el.

A targonca vezérlése:

$|e(t)| < e_1$ egyenesen haladjon tovább!

$0 < e_2 < e(t)$ túlságosan eltér balra, forduljon jobbra!

$0 > -e_2 > e(t)$ túlságosan eltér jobbra, forduljon balra!



Bemeneti események halmaza: $u(t) \in \{stop, start, nincsesemény\}$

Állapotátmenetet generáló feltételek:

$induljel = \{(v(t), x(t), y(t), \phi(t)) | u(t) = start\}$

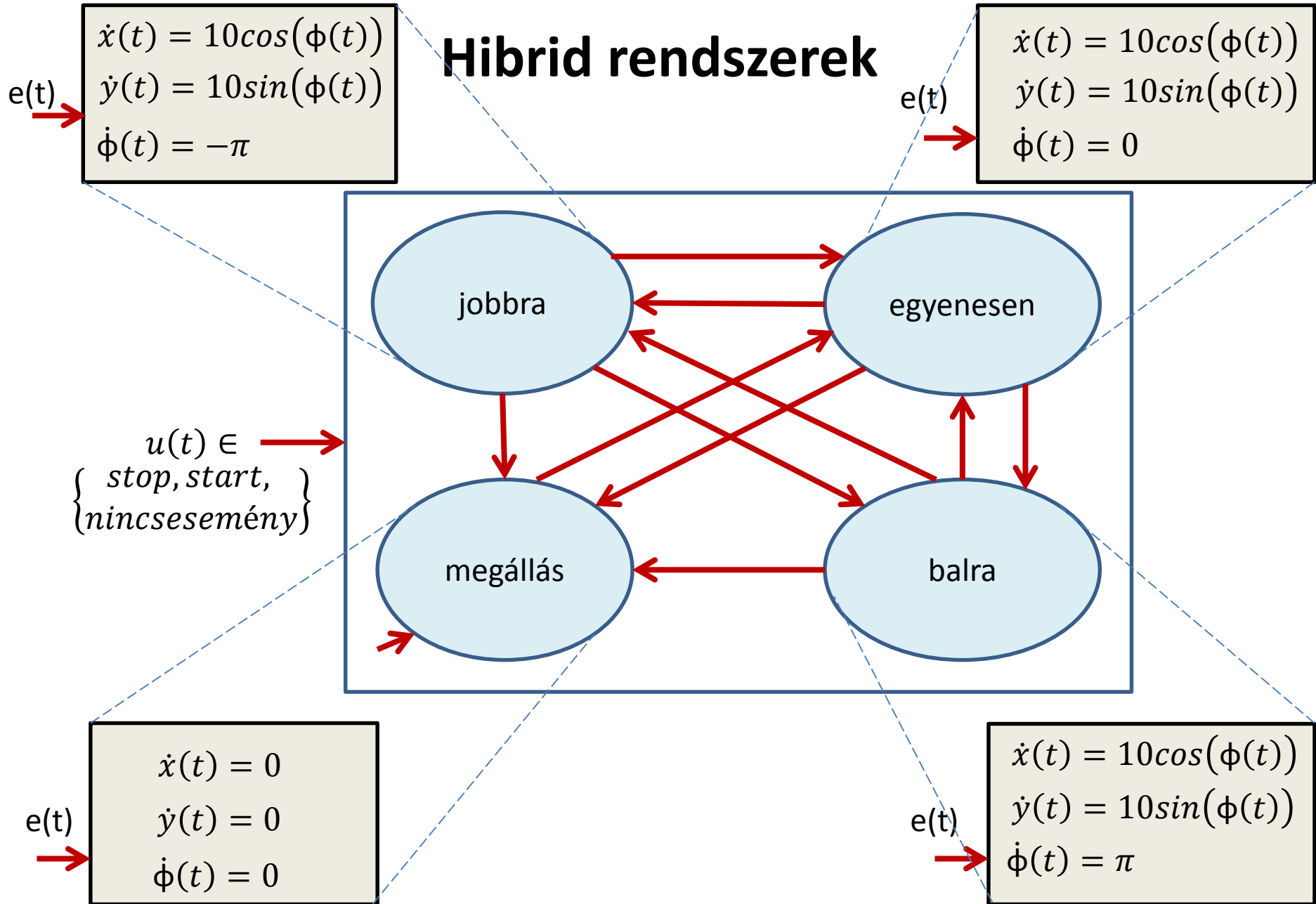
$menjegyenesen = \{(v(t), x(t), y(t), \phi(t)) | u(t) \neq stop, |e(t)| < e_1\}$

$menjjobbra = \{(v(t), x(t), y(t), \phi(t)) | u(t) \neq stop, e_2 < e(t)\}$

$menjbalra = \{(v(t), x(t), y(t), \phi(t)) | u(t) \neq stop, -e_2 > e(t)\}$

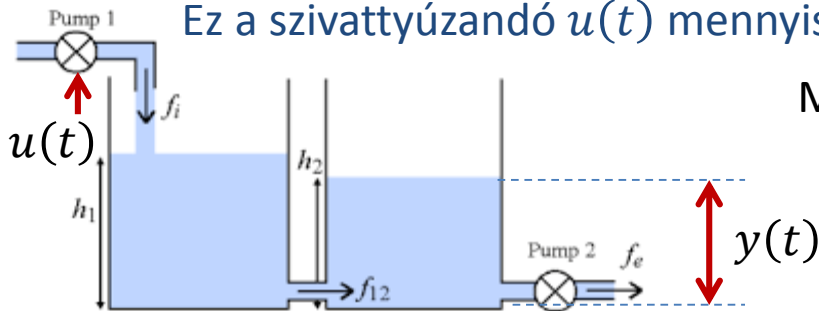
$álljmeg = \{(v(t), x(t), y(t), \phi(t)) | u(t) = stop\}$

Hibrid rendszerek



Kvalitatív modellezés és szabályozás

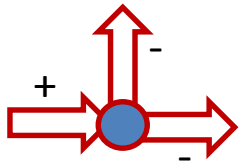
Feladat: Olyan szabályzó tervezése, amely a második tartály szintjét előírt értéken tartja. Ez a szivattyúzandó $u(t)$ mennyiség megfelelő beállításával lehetséges.



Megjegyzés: A kvantitatív modell problémái:

- A fizikai korlátok nincsenek beépítve;
- Az összefüggéseket linearizáltuk;
- A numerikus értékek nem pontosak és időben változnak.

Kvalitatív okoskodás (Qualitative Reasoning): Csak a mennyiségek irányultságát vesszük figyelembe, az értékészlet: $\{-, 0, +\}$. Alapvető fizikai kényszereket betartunk!



Ha egy csomóponti elágazásnál két ágon kifolyik az “anyag”, akkor a harmadikon befolyik.

Egy “Q” mennyiség kvalitatív értéke egy “a” értékre vonatkoztatva: $[Q]_a$

Egy “Q” mennyiség megváltozásának kvalitatív értéke a kvalitatív derivált: $[\delta Q]_a, [\delta^2 Q]_a, \dots$

Műveletek: (*invert A*): Megfordítja az előjelet.

(*vote A₁, A₂, ..., A_n*) : Értéke a többségi előjel.

Kvalitatív modellezés és szabályozás

A 2. tartály szintjének kvalitatív szabályozása: L_2 jelöli a második tartály szinthibáját.

$[L_2]=+:$ magasabb, mint kellene.	$[\delta U]=+:$ a szivattyúzás mértéke növelendő.
$[L_2]=0:$ megegyezik.	$[\delta U]=0:$ a szivattyúzás mértéke megfelelő.
$[L_2]=-:$ alacsonyabb, mint kellene.	$[\delta U]=-:$ a szivattyúzás mértéke csökkentendő.

A kvalitatív értékek csak a mintavételi időpontokban léteznek.
A mintavételi időpontok között nincsen detektálás.

$[\delta U]=+$ Rögzített értékű növekmény: ΔU

$$[L_2]_{(k)} = [\text{aktuális szint}_{(k)} - \text{megkívánt szint}_{(k)}]$$

Egy igen egyszerű szabályzó:

$$Q1 \stackrel{\text{def}}{\cong} [\delta U]_{(k)} = (\text{invert}[L_2])_{(k)}$$

Ha ΔU nagyobb érték, akkor nő a túllövés és az oszcilláció, de gyors.

Ha ΔU kisebb érték, akkor csökken a túllövés és az oszcilláció, lassúbb a működés.

Javított szabályzók:

Figyelembe vett mennyiségek:

A 2. tartály szintjének hibája: $+,-,0$

A 2. tartály szintváltozási sebessége: $+,-,0$

Az első tartály szintváltozási sebessége: $+,-,0$

} $3*3*3=27$ eset

$$Q2 \stackrel{\text{def}}{\cong} [\delta U]_{(k)} = \left(\text{invert} \left(\text{vote} \left(\text{vote} \left([L_2]_{(k)}, [\delta L_2]_{(k)} \right), [\delta L_1]_{(k)} \right) \right) \right)_{(k)}$$

$$Q3 \stackrel{\text{def}}{\cong} [\delta U]_{(k)} = \left(\text{invert} \left(\text{vote} \left([L_2]_{(k)}, [\delta L_2]_{(k)}, [\delta L_1]_{(k)} \right) \right) \right)_{(k)}$$

Kvalitatív modellezés és szabályozás

$[\delta L_1]$ meghatározása:
alapján mérésel.

$$\delta L_1 = (L_{2(k)} - L_{2(k-1)}) - (L_{2(k-1)} - L_{2(k-2)}) = \delta^2 L_2$$

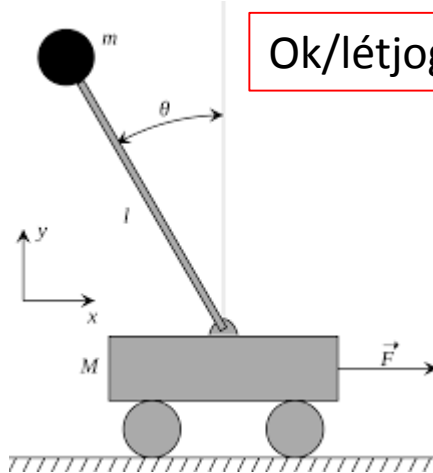
	$[L_2]$	$[\delta L_2]$	$[\delta L_1]$	$Q1$	$Q2$	$Q3$
1	+	+	+	-	-	-
2	+	+	0	-	-	-
3	+	+	-	-	0	-
4	+	0	+	-	-	-
5	+	0	0	-	-	-
...						
20	-	+	0	+	0	0
...						
27	-	-	-	+	+	+

Megjegyzés: (1) A feladatra empirikusan kidolgozott szabályrendszer nem tudta kezelni a "A 2. tartály a kívánt szint felett állandó értéket mutat, az 1. tartály szintje esik."
(2) A mintavételezési idő és a ΔU érték megválasztása kritikus tervezői döntés.

Kvalitatív modellezés és szabályozás

Példa: Kvalitatív modellezés nem determinisztikus automatával.

Olyan rendszerek esetében, amikor az $x(k)$ állapotvektorról csak egy $[x(k)]$ kvantált érték ismert.



Ok/létjogosultság: szög és szögsebesség mérés pontatlansága

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{(m+M)g}{Ml} & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m} \\ 0 \\ -\frac{1}{Ml} \end{bmatrix} u(t)$$

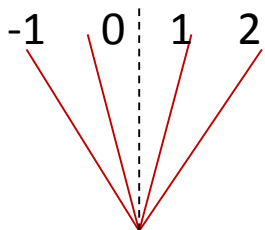
$$x(t) = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

$$u(t) = F$$

Linearizált modell $\theta = 0$ környezetében. $M = 1kg, m = 0.1kg, l = 0.5m, g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

A mérési érzékenység: 0.0175 rad a $\theta - ra$, és $0.0175/20ms$ a $\dot{\theta} - ra$.

Nem stabilizálható a rúd, ha $|x_3| > 0.21rad$ (12°) $|x_4| > 0.87$



$$g_{3,-1} = -0.210, g_{3,0} = -0.0175, g_{3,1} = 0.0175, g_{3,2} = 0.210$$

$$g_{4,-1} = -0.870, g_{4,0} = -0.0175, g_{4,1} = 0.0175, g_{4,2} = 0.870$$

Kvalitatív modellezés és szabályozás

A kvalitatív állapotok:

$$z_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad z_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad z_3 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad z_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad z_5 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$z_6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad z_7 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad z_8 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad z_9 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad z_{10} = \text{kívül}.$$

A bemenőjel (“rántás”) kvalitatív értékei:

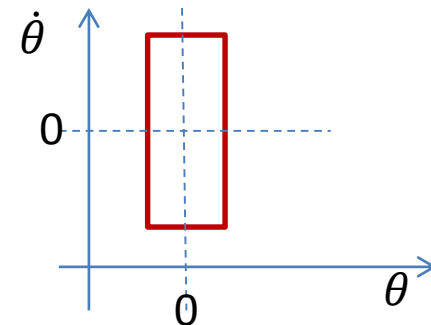
$$u(k) = 10 \Leftrightarrow v(k) = 1 \quad u(k) = 0 \Leftrightarrow v(k) = 0 \quad u(k) = -10 \Leftrightarrow v(k) = -1$$

$z(k)$	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_8
$u(k)$	-1	0	0	-1	0	1	0	0	1

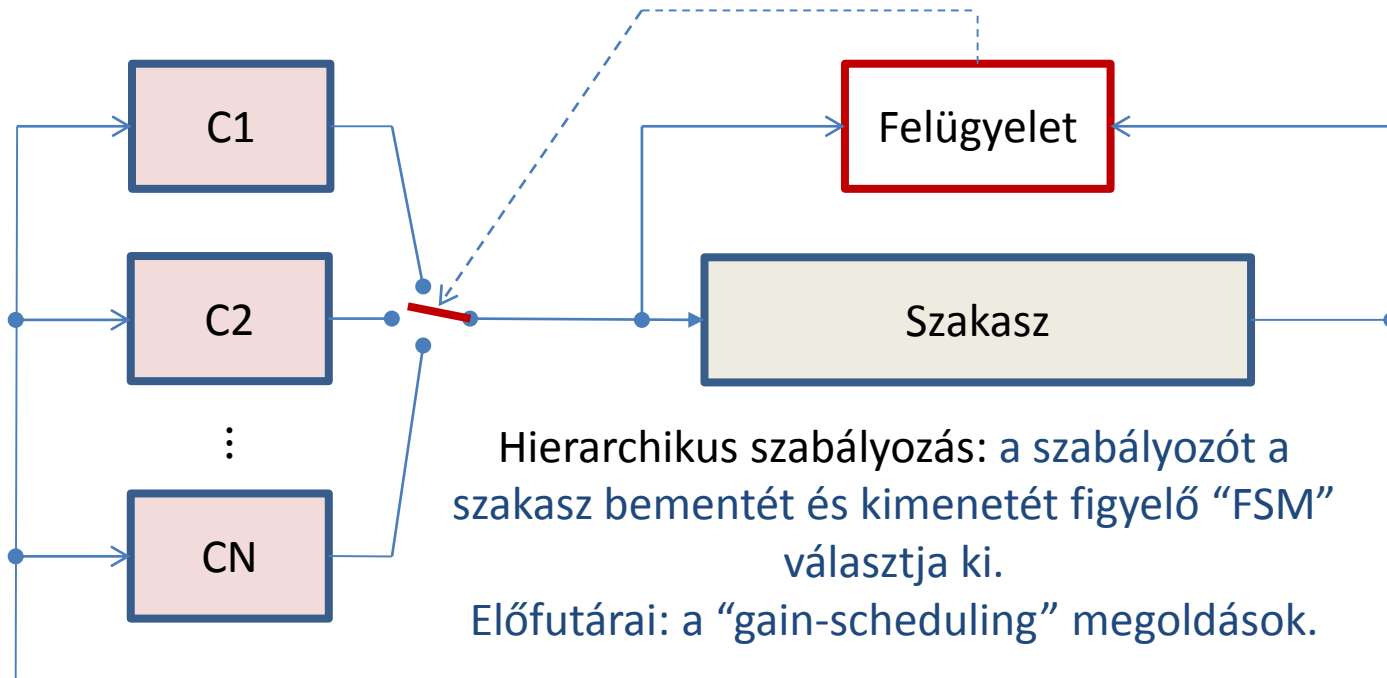
Kvalitatív szabályzó:

$$[u(k)] = f([x(k)])$$

Megjegyzés: A mintavételezési idő és az F érték megválasztása kritikus tervezői döntés.



Hibrid rendszerek: Switching control



Kihívások: (1) Kapcsolgatott rendszer stabilitása (Hibrid rendszerek stabilitása!)
(2) Az átkapcsolások tranziensei.

Törekvések: (1) Stabilitás biztosítása a “passzivitás” fenntartásával.
(2) Tranziens menedzsment megvalósítása.

$$Z_{be}(s) = R + \frac{1}{sC}$$

