

RENDSZEREK ÉS IRÁNYÍTÁSUK A HÁZTARTÁSBAN EGY FŐZÉSI PÉLDÁN

Prof. Katalin Hangos

MTA SZTAKI – Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet

A rendszer- és irányításelmélet az időbeli viselkedés tudománya, azt vizsgálja, hogy a bennünket körülvevő világ objektumai az időben hogyan viselkednek, a rájuk jellemző folyamatok lassúak-e vagy gyorsak, és milyen kvalitatív (minőségi) jellemzőkkel bírnak, valamint azt, hogy befolyásolható-e ezen viselkedésük, és ha igen, hogyan és milyen mértékben.

Ezek az ismeretek alapvető fontosságúak mindennapi életünkben, még a háztartást vezető, matematikai ismeretekkel alig rendelkező személyeknek is hasznos ismereteket jelentenek. Ezért ez a tanulmány azt tűzi ki célul, hogy a mindennapok emberének gondolatébresztő és ugyanakkor hasznos ismereteket közvetítsen a rendszer- és irányításelméletből minimális mértékben használva annak mély matematikai apparátusát, de támaszkodva a közvetlen tapasztalatokra, amit a háztartás teendőinek, elsősorban a főzésnek végzésével mindenki megszerez.

1. Rendszerek a háztartásban

A bennünket körülvevő világ egy jól meghatározott valós vagy képzeletbeli, merev vagy esetleg mozgó határoló felülettel körülvett részét, amelynek az időbeli viselkedése érdekel bennünket, **rendszernek** nevezzük. A rendszer határa elválasztja a rendszert a **környezetétől**. A rendszer és környezete kölcsönhatásban állnak egymással: a környezet hat a rendszerre – ez a hatás a rendszer időbeli viselkedésének okaként szerepel, és a rendszer is visszahat a környezetre viselkedésének eredményeként.

A rendszerek viselkedése **változik az időben**, a rendszerelmélet feladata pedig az, hogy általános elveket, módszereket és eszközöket nyújtson ezen időbeli változások követéséhez, leírásához, előrejelzéséhez és befolyásolásához, vagy szakszóval irányításához.

Ha egy rendszert pontosan meg akarunk adni, azaz specifikálni szeretnénk, akkor meg kell adnunk

- a **rendszer határát**, azaz, hogy mely dolgok tartoznak a rendszerhez és melyek a környezetéhez,
- a rendszerben lejátszódó, számukra érdekes **jelenségeket**, valamint a **rendszer részeit és ezek kapcsolatait**, ha vannak ilyenek,
- a környezetet, és azt a **módot, ahogyan a rendszer kölcsönhatást folytat a környezetével**.

1.1. Rendszer és környezete

Két egyszerű mindennapi példa segítségével szemléltetjük a rendszerek megadásának módját.

1. példa: Két papagáj kalickában



Rendszer-határ: a kalicka

Jelenségek: a papagájok mozgása

Kölcsönhatás a környezettel: nincs (izoláltnak tekintjük)

2. példa: Lábos a tűzhelyen



Rendszer-határ: a lábos fala és fedője

Jelenségek: a főzés közben végbemenő fizikai és kémiai folyamatok

Kölcsönhatás a környezettel: hőhatás a tűzhely felől, nyersanyagok bevitele a fazékba

1.2. Érdekes jelenségek a háztartásban

A háztartásban a mindennapi teendőink, a főzés, mosás, takarítás elvégzéséhez használt rendszereket találhatjuk meg. Főzés esetében vizsgálhatunk egy egyszerű étel, például leves, elkészítéséhez használt lábost, egy sütemény sütéséhez a teljes sütőt benne a tepsivel. Mosás

esetén is tekinthetjük a beáztatott koszos zoknit a mosdókagyló vizében, de akár a teljes mosó-szárítógépet is sok ruhadarabbal.

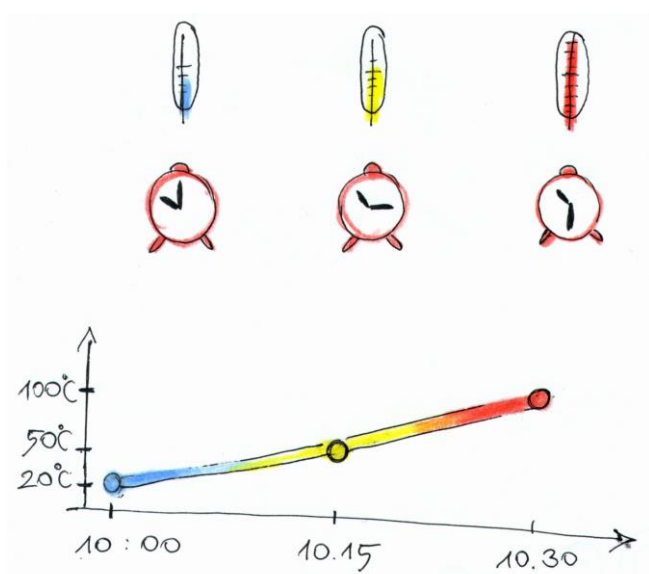
A jellemző háztartási műveletek, például melegítés, nedvesítés, oldás, aprítás, habverés, sütés közben az időben lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok, például párolgás, forrás, elszenesedés, gázképződés, kristályosodás leírásával tudjuk háztartási rendszereink időbeli viselkedését jellemezni.

2. A rendszerek viselkedésének leírása – rendszer modellek

Mivel a rendszerek viselkedésének időbeli lefolyására vagyunk kíváncsiak, minden mérhető vagy megfigyelhető jellemzőt az idő függvényének, azaz szakszóval **jel**nek tekintünk. A rendszerek leírását pedig a jelek matematikai kapcsolatait leíró egyenletek, úgynevezett **rendszer modellek** segítségével végezzük.

2.1. Jelek

3. példa: Egy fazék hőmérséklet-jele felmelegítés alatt



A jelet grafikonnal szemléltethetjük, amelynek vízszintes tengelyén az időt, függőleges tengelyén a jel értékét tüntetjük fel.

A fenti ábrát mindennapi nyelvre a következő módon fordíthatjuk le:

„10:00 órakor kezdtem melegíteni a lábost 20 C fokról és 10:30-kor fejeztem be a melegítést, mikor a hőmérséklete elérte a forráspontot, azaz 100 C-ot. Közben a lábos hőmérséklete egyenletes sebességgel nőtt.”

2.2. A rendszerek jellemző jelei

Mint már említettük, a jeleket használhatjuk a rendszer és környezete közötti kölcsönhatások leírására, valamint a rendszer viselkedése aktuális helyzetének leírására. A rendszer jellemző jeleit rendszer-változóknak is mondjuk, A rendszer-változók három logikailag különböző csoportját különböztethetjük meg:

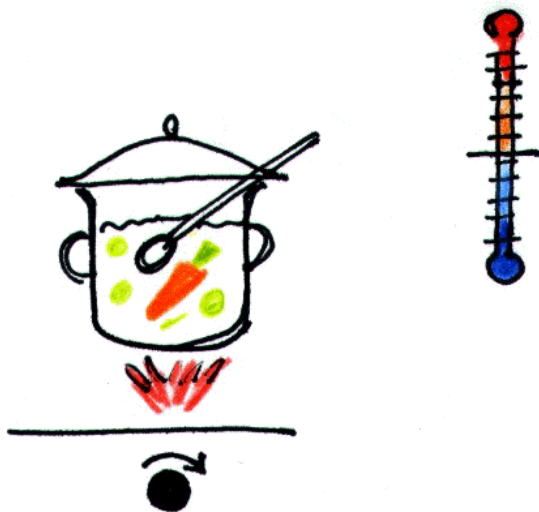
1. **Bemenetek**nek nevezzük azokat a jeleket, amelyek a rendszer környezetének hatását írják le a rendszerre és így a rendszer időbeli viselkedésének okaiként szerepelnek. Ezek kétfélek lehetnek:
 - **zavarások**, ezek általunk nem befolyásolható mérhető (esetleg rossz esetben nem mérhető) jelek,
 - **beavatkozó változók**, amelyek értékét befolyásolni tudjuk.
2. **Kimenetek** segítségével írjuk le a rendszer hatását a környezetre. A kimenetek a rendszer dinamikus viselkedésének következményei. Általában feltételezzük, hogy a kimenetek közvetlenül mérhetőek, illetve megfigyelhetőek.
3. **Állapotok** segítségével jellemezzük az időben változó rendszer viselkedésének helyzetét. Az állapotváltozók milyensége és száma a rendszerben lejátszódó, számunkra érdekes jelenségek természetétől függ. Sajnos az állapotváltozók értéke valamely időpillanatban általában közvetlenül nem, csak a bemenetek és kimenetek időbeli lefolyása és a rendszer modell ismeretében számítással határozható meg.

A rendszer változói közötti kapcsolatokat leíró matematikai összefüggéseket **rendszer modellek**nek nevezzük. Megkülönböztetünk

- **bemenet-kimenet modelleket**, amelyekben csak a bemeneti és kimeneti jelek, és azok időbeli változását leíró mennyiségek (deriváltak) szerepelnek,
- **állapottér modelleket**, amelyben az állapotváltozó és annak időbeli változását leíró mennyiségek **is** szerepelnek.

4. példa: Levesfőző lábos rendszer-változói

Az alábbi egyszerű példa segítségével szemléltetjük a rendszer-változók jellegét.



Kimenetek:

- a leves hőmérsékletét mutató hőmérőről leolvasott érték
- a leves tömegét jelző folyadékszint
- a leves összetételét jellemző íz

Bemenetek:

- a leves összetevőinek (víz, só, répa, stb.) tömege, minősége, és a beadagolás időpontja vagy időbeli ütemezése
- a tűzhely gázcsap-állása az idő függvényében

Állapotok:

- a leves hőmérséklete
- a leves tömege
- a leves összetétele

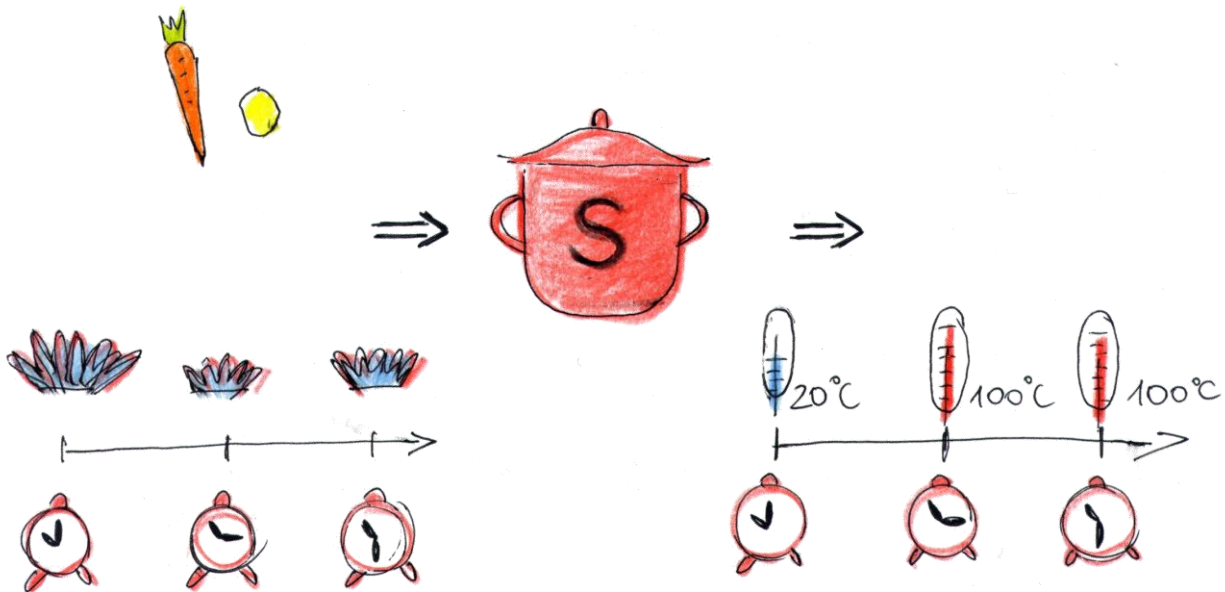
2.3. A rendszerek bemenet-kimenet modelljei

Ha egy rendszerre „kívülről”, azaz a környezete felől nézünk – és ***a megfigyelő mindig a környezet része!*** - akkor csak a rendszer bemeneti és kimeneti jeleinek időbeli változását érzékeljük, azaz azt tudjuk megfigyelni, hogy a rendszer az őt ért hatásokra - ezt a bemenet időben változó értékeivel tudjuk leírni – hogyan válaszol – ezt a kimenetek időbeli változása mutatja.

A 4. példában szereplő levesfőző lábos bemenet-kimenet leírása egy egyszerű esetben egy bemenet-kimenet időfüggvény pár, a teljes modell pedig az összes lehetséges párok megadásával képzelhető el.

5. példa: Levesfőző lábos bemenet-kimenet modellje

Az alábbi ábra azt a folyamatot szemlélteti, mikor a levesfőző lábosba bekészítjük előre a leves hozzávalóit, a vizet, sőt és zöldségeket (ez a **kezdeti állapot**), majd meggyújtjuk a gázégőt 10 órakor, kicsire állítjuk a lángot 10:15-kor és ezt tartjuk 10:30-ig (ezzel leírtuk a **bemenetet**), és mérjük a lábos hőmérsékletét az időben, mint **kimenetet**.



2.4. A rendszerek állapotváltozói és állapottér modelljei

Ha tudjuk, mik a számunkra érdekes jelenségek egy rendszer tanulmányozásakor - például a hőhatások, kémiai hatások, stb a háztartásban előforduló rendszereknél - akkor megvan a kulcsunk, hogy meghatározzuk a rendszer pillanatnyi helyzetét jellemző **állapotváltozókat**, majd ezekre építve a rendszer matematikai modelljét.

Fontos tudni, hogy az **állapotváltozók készlete nem egyértelmű**: egy adott bemenet-kimenet viselkedéshez elvben végtelen sok, egymással ekvivalens – azaz ugyanazt a bemenet-kimenet viselkedést produkáló – állapottér modell és állapotváltozó készlet tartozik.

Egy állapottér modell minden esetben kétféle egyenletből áll.

- Az úgynevezett **állapot-egyenletek** dinamikus (matematikailag időbeli deriváltat tartalmazó differenciál-) egyenletek, amelyek az állapotváltozók időfejlődését adják meg egy adott kezdő-állapotból a bemenetek, mint jelek hatására.
- A **kimeneti egyenletek** pedig statikus (algebrai) egyenletek, amelyekkel bármelyik pillanatban az ismert állapot- és bemeneti változók értékeiből kiszámíthatjuk a kimeneti változó értékét.

2.5. Folyamatrendszerek

A folyamatrendszerek olyan speciális rendszerek, amelyekben a hőmérséklet, nyomás, valamint az anyagok mennyisége és minősége változik meg fizikai és kémiai folyamatok hatására. A folyamatrendszerekben leggyakrabban folyadékok és/vagy gázok, azaz végtelenül osztható anyagok (nem munkadarabok) vannak, amelyek ritkán változtatják a helyüket az időben. *A háztartásban előforduló rendszerek általában a folyamatrendszerek osztályába tartoznak.*

2. példa folytatása: Lábos a tűzhelyen – Levesfőző lábos mint folyamatrendszer

A főzéshez használt lábos folyamatrendszernek tekinthető. Az összetevőket a lábosba tesszük és melegíteni kezdjük.

A 2. példában megadtuk a levesfőző lábos rendszer-leírását:

- **a rendszer** (a lábos a leves hozzávalóival), határa a lábos fala és a fedő;
- a környezettel való kölcsönhatás módját, azaz **a rendszer kimeneti és bemeneti változóit**, utóbbiak a lábos melegítése és a tartalom keverése;
- a rendszerben végbemenő jelenségeket, amelyek a melegedés/hűlés, forrás és kémiai változások az alapanyagok megfőzése során.

2.6. Különleges rendszertulajdonságok

Linearitás

Vannak olyan rendszerek, az úgynevezett lineáris rendszerek, amelyek nem produkálnak meglepő, különleges viselkedést, hanem az egyes beavatkozások hatása összetett beavatkozásoknál (például két beavatkozás összegeként előállt beavatkozásnál, vagy egy adott beavatkozás kétszeresénél) az összetételnek megfelelő hatást mutatják.

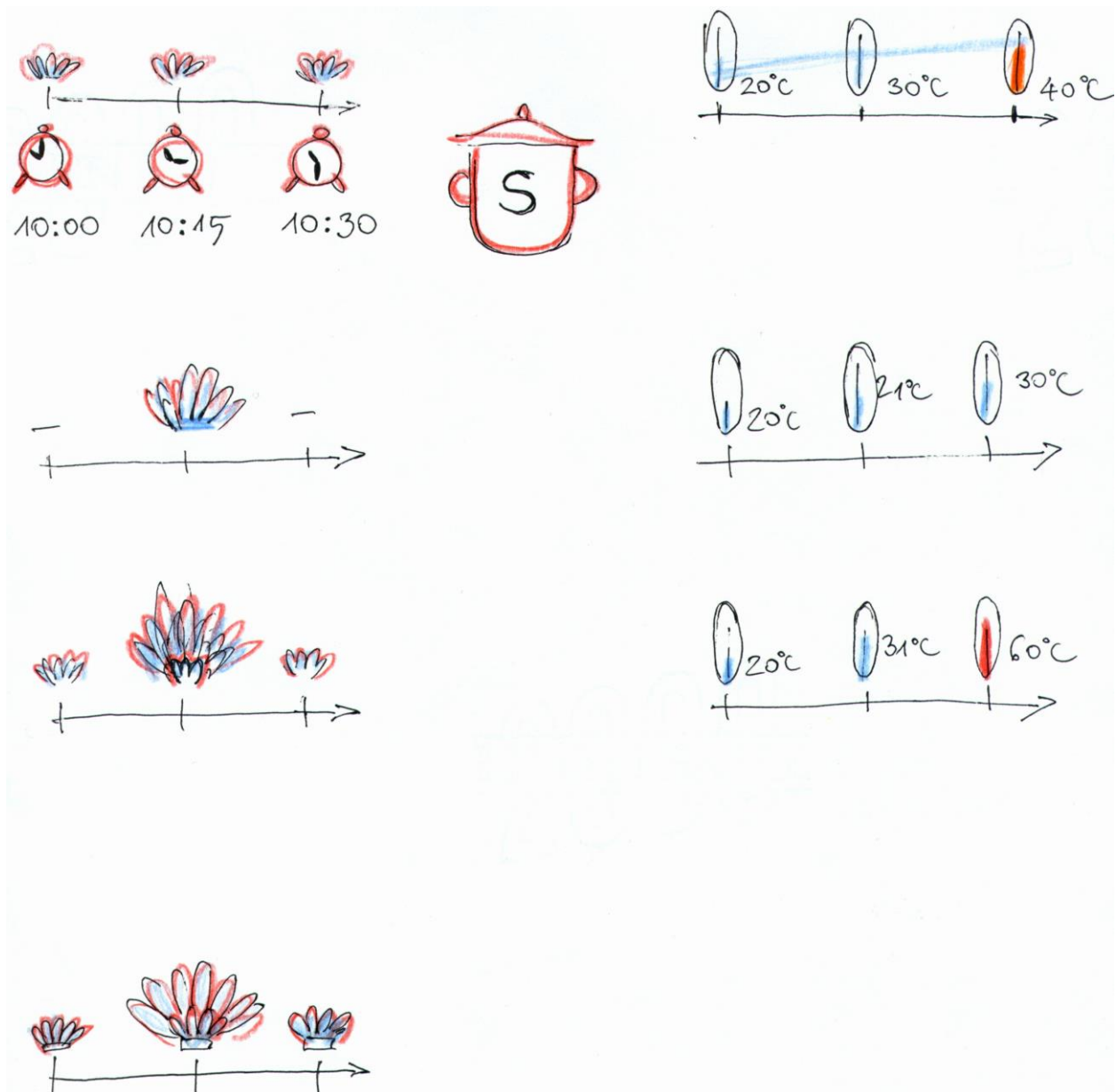
Ezt a tulajdonságot egyszerűen megfogalmazhatjuk matematikai formában is, ha visszaemlékezünk, hogy a jelek időfüggvények, és a rendszerek jel-átalakító operátorok. Jelöljük a rendszert érő két beavatkozó bemeneti jelet u_1 -nek és u_2 -nek, a rendszer ezekre adott válaszát pedig y_1 -nek és y_2 -nek. A rendszert lineárisnak mondjuk, ha

- egy konstans c szám esetén a $\mathbf{c} \cdot \mathbf{u}_1$ -re adott válasz $\mathbf{c} \cdot \mathbf{y}_1$
- az összetett $(\mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2)$ bemenetre adott válasz pedig $(\mathbf{y}_1 + \mathbf{y}_2)$

A linearitás folyamatrendszerek esetében ritka, de nagyon fontos tulajdonság, mert a rendszer- és irányításelmélet klasszikus eredményeit lineáris rendszerekre dolgozták ki.

6. példa: Levesfőző lábos lineáris viselkedése

A legtöbb rendszer, beleértve levesfőző lábosunkat is, képes legalább közelítőleg lineáris viselkedésre bizonyos, általában kicsi behatásokra. A levesfőzés folyamatának kezdeti fázisában, a leves szobahőmérsékletről történő kezdeti felmelegítésekor lineáris viselkedést tapasztalhatunk a melegítés erőssége, mint bemenet és a leves hőmérséklete, mint kimenet vonatkozásában. Ezt illusztrálja az alábbi ábra.



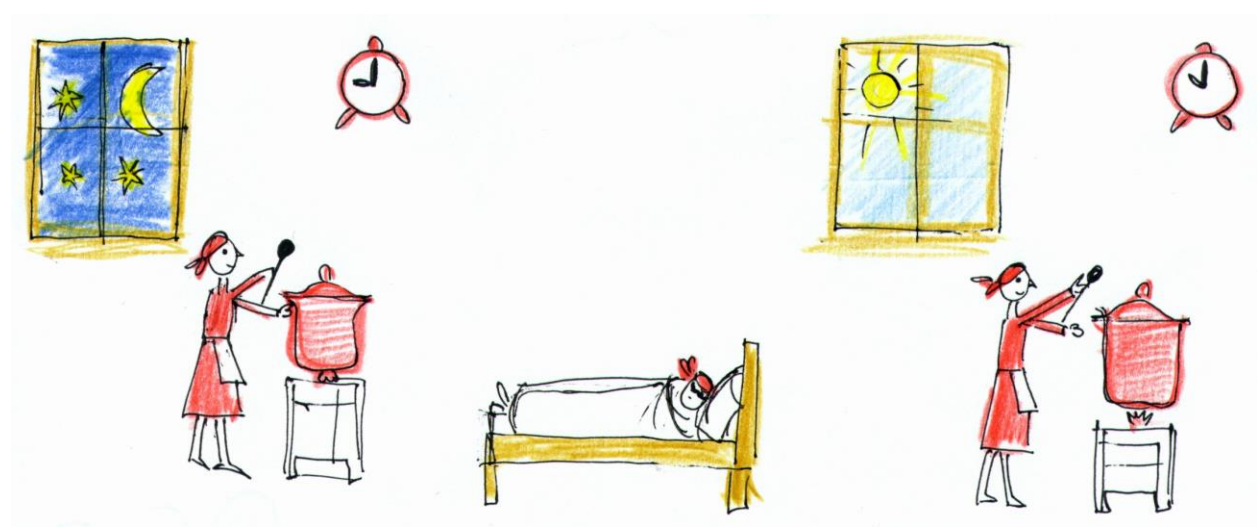
Idő-invariancia

Vannak olyan speciális „kortalan” rendszerek, amelyek reakciói egy adott kezdőállapot mellett nem függenek attól, hogy az őket ért beavatkozás vagy zavarás időben mikor kezdődött, ha az egyébként pontosan ugyanúgy zajlik le. Formálisan leírva, ha egy rendszer egy adott $u(t)$ bemeneti jelre egy $y(t)$ kimeneti jellel válaszol, és ugyanolyan kezdőállapotból egy T idővel későbbi $u(t+T)$ bemeneti jelre a válasz $y(t+T)$ akkor a rendszert idő-invariánsnak nevezzük. Az

idő-invariáns rendszerek matematikai modelljeiben szereplő paraméterek (ezek a nem-jelek) állandó értékek, azaz a rendszer nem öregszik.

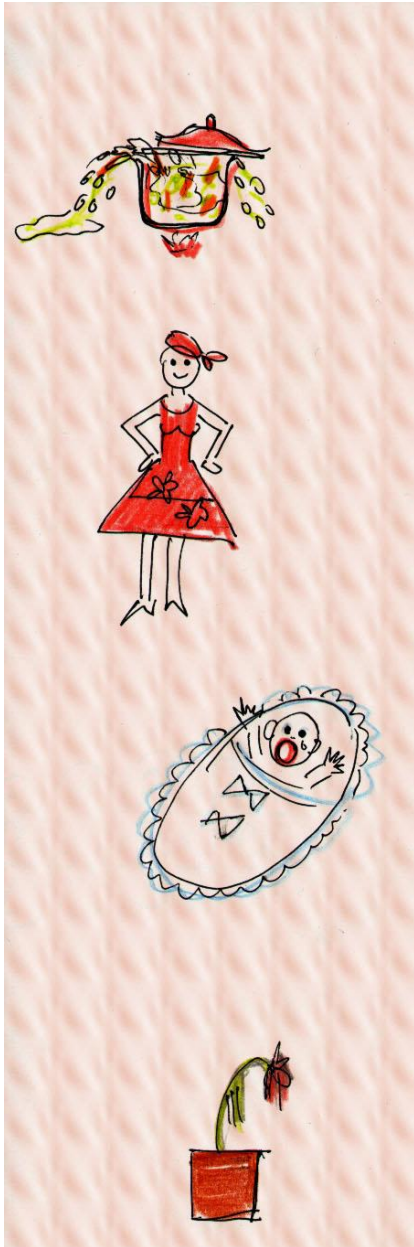
7. példa: Levesfőző lábos idő-invariáns viselkedése

A legtöbb rendszer, beleértve levesfőző lábosunkat is, időinvariáns viselkedésű, ha a T időeltolódás nem túlzottan nagy. Ezt minden háziasszony tudja, és ki is használja akkor, mikor a levesfőzést olyan időszakokban végzi, amikor a gyerekek nem zavarják, azaz például késő este. Ezt illusztrálja az alábbi ábra.



3. Mi a célja a rendszerek tanulmányozásának? - Analízis, irányítás, diagnosztika

A kíváncsiságon és a tudásvágyon túlmenően praktikus mindennapi okok is indokolják, hogy még egy háziasszonynak is érdemes megismerkednie a rendszerek leírásának és kezelésének alap-elemeivel és megértenie az itt használatos módszereket és eljárásokat.



A rendszerek viselkedésének ismeretével és kezelésének módjával felvértezve megérthetjük és **analizálhatjuk** a rendszer lehetséges viselkedési módjait, **megjósolhatjuk**, hogy adott körülmények között hogyan viselkedik, és számunkra kedvezően befolyásolhatjuk, **irányíthatjuk** is a viselkedését.



3.1. Rendszer analízis: a stabilitás vizsgálata

A stabilitás az egyik legfontosabb rendszer-jellemző, amely a **rendszernek a zavarásokkal szembeni ellenálló képességét vagy érzékenységét jellemzi**. Emlékeztetünk arra, hogy a rendszer viselkedését okként befolyásoló bemeneti jelek közül nem mindegyiket áll módunkban befolyásolni, sőt, némelyiknek az értékét még megfigyelni/mérni sem tudjuk. Az ilyen, általunk nem befolyásolható jelek az úgynevezett **zavarások**, amelyeknek hatását azért a rendszer

kimenetein észleljük, és általában irányító vagy szabályozó rendszereket konstruálunk ezen hatások eltüntetésére (ezeket lásd később).

Alapvetően kétfajta jellege lehet a zavarásoknak, és ennek megfelelően kétfajta stabilitás fogalmat értelmezhetünk:

- állandó, de nem túl nagymértékű zavarások (ez az állandó piszkálás esete)
- igen rövid ideig tartó, azután megszűnő, de igen nagy mértékű (lökésszerű) zavarások.

A rendszer akkor reagál jól a zavarásokra, azaz akkor „stabil”, ha a zavarások hatását nem erősíti, és a zavarások ellenére nyugalmi állapotának környezetében marad (állandó zavarás esetén), vagy oda visszatér (lökésszerű zavarás után).

8. példa: Levesfőző lábos stabilitása

A már megismert levesfőző lábosunk viselkedése is stabil a lehetséges zavarások közül az alábbi ábrán szereplő jó néhányra, például

1. az ablakon betűző nap sugárzó hőjének hatása,
2. az ablakon beáramló hideg levegő hűtőhatása,
3. a cica testéből áradó hő hatása



A fenti zavarások hatása elhanyagolható a levesfőzés időbeli lefolyására, ha nagyságuk egy bizonyos szint alatt marad, például, ha nem fúj be orkánerejű szél az ablakon, ami felborítja a lábost.

Stabilitás fogalmak

A rendszert érő zavarások fajtája és a rendszer leírási módja (bemenet-kimenet vagy állapotter modell) szerint két stabilitás fogalmat különböztethetünk meg.

- A „**korlátos bemenet korlátos kimenet**” – angol neve, a bounded input bounded output alapján rövidítve **BIBO** – **stabilitás** akkor áll fenn, ha a rendszer minden lehetséges korlátos bemenetre korlátos kimenettel válaszol. A „korlátos” jelző azt jelenti, hogy a bemeneti és/vagy a kimeneti jel (egy időfüggvény) nagysága korlátos, például az amplitúdója – egy átlag-értéktől való kitérés mértéke – egy előre adott pozitív számnál kisebb. Ez a fajta stabilitás az állandóan ható, de nem túl nagy zavarás ellenében vett tűrőképesség.
- Egy rendszer akkor **aszimptotikusan stabil**, ha nyugalmi állapotából pillanatszerű hatással kitérítve visszatér a nyugalmi állapotba. Ez a stabilitás a lökészerű zavarásokkal szembeni tűrőképesség.

Fontos megjegyezni, hogy egy rendszer aszimptotikus stabilitása maga után vonja a BIBO stabilitás tulajdonságát, de ez fordítva nem igaz.

3.2. Rendszer analízis: a megfigyelhetőség és irányíthatóság vizsgálata

A megfigyelhetőség és irányíthatóság két, egymással duális tulajdonság, amelyek a rendszerek egy adott állapotter modelljének jellemzői (emlékeztetünk arra, hogy egy adott rendszernek végtelen sok, egymással ekvivalens, ugyanazon bemenet-kimenet viselkedést leíró állapotter modellje lehetséges). Érdekes módon ugyanakkor, az együttes megfigyelhetőség és irányíthatóság már a rendszer állapotter modelltől független tulajdonsága.

Irányíthatóság

Az irányíthatóság a szabályozó tervezés feladatánál játszik alapvető fontosságú szerepet, a legtöbb szabályozó tervezhetőségének szükséges feltételeként. **Egy rendszer adott állapotter modelljét (állapot)irányíthatónak nevezünk, ha tetszőleges kezdő állapotból tetszőleges végállapotba el tudjuk juttatni véges idő alatt a rendszer bemenetének alkalmas megválasztásával.**

Az irányíthatóság folyamatrendszerek esetén két strukturális jellemzőtől függ:

- a rendszermodellben leírt fizikai és kémiai jelenségek természetétől és a kapcsolódó állapotváltozók megválasztásától,
- a rendszerben rendelkezésünkre álló általunk befolyásolható bemeneti változók (jelek) megválasztásától.

Mindkét fenti faktor az állapot egyenlet matematikai alakjában jelenik meg.

Az első faktor az állapot egyenlet matematikai alakjában jelenik meg, a második faktort pedig a kimeneti egyenlet határozza meg.

Megfigyelhetőség

Emlékeztetünk arra, hogy a rendszer állapotai, mint jelek a környezetből, ahol a megfigyelő tartózkodik, közvetlenül nem mérhetőek, valamint arra is, hogy egy adott rendszernek végtelen sok, egymással ekvivalens, ugyanazon bemenet-kimenet viselkedést leíró állapottér modellje lehetséges az állapotváltozók megválasztásától függően. ***A megfigyelhetőség a rendszer egy adott állapottér leírásánál akkor teljesül, ha az állapottér modell matematikai alakjának és paraméterei értékeinek, valamint egy véges időintervallumban mért bemeneti és kimeneti jelek értékeinek ismeretében meg tudjuk határozni az állapotváltozókat, mint jelek értékeit.***

9. példa: Levesfőző lábos megfigyelhetősége és irányíthatósága

A már megismert levesfőző lábosunk megfigyelhetőségének és irányíthatóságának illusztrálására szolgál az alábbi ábra.

- A felső rajz azt szemlélteti, hogy a lábosból kiáramló pára szagából (kimeneti jel) tudunk-e következtetni a lábosbeli leves állapotára (hőmérsékletére, tömegére és összetételére). Sajnos ez nem lehetséges, azaz a lábosnak ezzel az állapotváltozó készlettel és kimenettel nem megfigyelhető a modellje.
- Az alsó rajzon az irányíthatósági probléma megoldása, azaz egy megfelelő gázláng-állítási stratégia tervezése látható, ha a vadul forró leves (kiindulási állapot) forrását mérsékelni szeretnénk (végállapot). Ugyan ez a kívánt állapot változtatás megoldható, de a lábosbeli leves bármely kezdőállapotából bármely végállapotába nem tudjuk eljuttatni a rendszert csupán a gázláng (mint beavatkozó bemeneti változó) megfelelő megválasztásával, például az elsózott leves csupán melegítéssel nem fog megjavulni. Így a lábos nem irányítható ezzel az állapotváltozó készlettel és bemenettel.



4. Irányítás és szabályozás

Mostanáig a rendszereket elfogadtuk olyannak, amilyenek, és megismertük főbb leírási formáikat (bemenet kimenet modellek, állapotter modellek). Láttuk azt is, hogy dinamikus tulajdonságaik - stabilitásuk, irányíthatóságuk és megfigyelhetőségük - a rendszer analízis módszereivel vizsgálhatóak. A rendszerek tanulmányozásának fő célja ugyanakkor az, hogy befolyásolni tudjuk dinamikus viselkedésüket - szakszóval: **irányítsuk** őket -, illetve döntéseket hozzunk működési módjukról (normális vagy hibás) – szaknyelven **diagnosztizáljuk** őket.

4.1. Az irányítás fogalma és célja

Amikor egy rendszer bemeneteit úgy manipuláljuk, hogy a viselkedését a céljainknak megfelelően alakítsuk, akkor irányítást végzünk. Ez feltételezi, hogy van egy célunk, az úgynevezett ***irányítási cél***, amelynek megfelelően szeretnénk a rendszer viselkedését befolyásolni, azaz irányítani.

A legegyszerűbb, primitív irányítási stratégia ekkor az úgynevezett „kísérletezzünk és ellenőrizzünk” módszer, amelynek értelmében egy lehetséges bemeneti jelet adunk a rendszerre, értékeli annak válaszát az irányítási cél szempontjából, majd megpróbálunk javítani a bemeneten, hogy jobban megközelítsük az irányítási cél által meghatározott viselkedést. Az ily módon egyre javított bemeneti jelet matematikai értelemben valamilyen ***direkt optimalizálási*** eljárással határozzuk meg.

A direkt optimalizálási módszer egy teljes jel, azaz időfüggvény meghatározását igényli az irányítási időtartamon, ami matematikailag nehéz feladat. Ezért igen gyakran az eredeti rendszer mellé egy másik rendszert, az úgynevezett ***szabályozót*** konstruálunk, amelynek az a feladata, hogy minden pillanatban kiszámítsa a rendszerre adandó bemeneti jel pillanatnyi értékét a mérhető jelek addigi értékeiből a rendszer modell ismeretében.

Irányítási célok

A szokásos irányítási célokat a rendszer kimenetének kívánt viselkedése (például a rendszer kimenete legyen egyenlő, vagy minél közelebb legyen egy meghatározott konstans értékhez), vagy a rendszer egy kívánatos dinamikus tulajdonsága (például legyen stabil a rendszer) fogalmazzuk meg, és ezt a célt közvetve próbáljuk elérni a bemenet alkalmas megválasztásával, amely a rendszer dinamikáján keresztül hat a kimenetre. A rendszer viselkedésének dinamikus (időben változó) jellege, amit a rendszer matematikai modellje segítségével írunk le, egy természetes korlátot jelent abban a tekintetben, hogy mit lehet, illetve mit tudunk egyáltalán elérni. Ez a tény jelenik meg az alábbi irányítási cél megfogalmazásokban „a lehető legközelebb (vagy legkisebb hibával)” vagy „a lehető leggyorsabban” kifejezésekben.

Az irányítási módszereket az általuk elérni kívánt irányítási cél alapján is csoportosíthatjuk. A leggyakoribb irányítási célok az alábbiak.

1. Szeretnénk a ***kimeneti jel értékét a lehető legközelebb tartani egy előírt értékhez*** a zavarások hatása ellenére, amelyek okozzák a kimeneti jel ingadozásait. Ezt az irányítási feladatot ***értéktartó szabályozásnak*** nevezzük. Megjegyezzük, hogy lehetséges a kimeneti jel értékét egy adott referencia jel értékéhez közel tartani (ilyenkor a kívánt érték nem konstans, hanem egy előre adott időfüggvény), ezt ***szervo-szabályozásnak*** hívjuk.
2. Egy másik szokásos irányítási cél az, ha ***a rendszer állapotát egy adott kezdő állapotból a lehető leggyorsabban egy adott végállapotba szeretnénk vinni***. Ezt a feladatot ***idő-optimális irányításnak*** nevezik, és nagyon gyakori a folyamatrendszerek esetében.
3. Szintén fontos irányítási cél lehet, ha egy nem stabil rendszert stabil viselkedésűvé kívánunk tenni, vagy csak kicsit lassúbbá (nyugodtabbá), esetleg a lengéseit szeretnénk csillapítani. Ezt a feladatot ***stabilizáló szabályozásnak*** nevezzük.

4.2. Szabályozás visszacsatolással

Mint azt már említettük, egy adott pillanatban alkalmazandó beavatkozást, azaz bemeneti jelet célszerű a múltbeli beavatkozásaink hatását figyelembe véve megválasztani. Ha az aktuális bemenetet a jelen és múltbeli bemenetek és kimenetek értékeit figyelembe véve számítjuk ki, akkor **kimenet-visszacsatolást**, ha pedig a jelen és múltbeli bemenetek és állapotok segítségével határozzuk meg, akkor **állapot-visszacsatolást** alkalmazunk.

10. példa: Levesfőző lábos irányítása

Az alábbi példa az irányítási feladat elemeit mutatja a levesfőző lábos példáján.

Adott a levesfőző lábos (**az irányítandó rendszer**), amely igen hevesen forr, sűrű gőzfelhőt eregetve magából, még a leves is kifröccsen (**kezdőállapot**).



A háziasszony próbálja befolyásolni a lábos viselkedését (**irányítás**), úgy lelki szemei előtt az elérendő irányítási cél, a csendesen és békésen fővő leves képe lebeg (**irányítási cél**). Ezt a helyzetet látjuk az ábrán.

A leves állapotát a gázégő lángjának szabályozásával tudja a háziasszony elérni az alábbi visszacsatolási stílusú lépésekkel (beavatkozásokkal) a lábosból kiáramló gőzáram mennyiségét figyelembe véve.

1. A lábosbeli leves nem megfelelő állapotát észleli, ha a lábosból hevesen távozik a gőz némi leves-fröccsök kíséretében (*a jelenlegi kimenet mért értéke*).
2. Összehasonlítja a mért kimenet értéket a kívánatossal (éppencsak pőfékel a gőz) és megállapítja, hogy beavatkozásra van szükség.
3. Elhatározza, hogy kicsit csökkenti a lángot (*optimalizál*), de nem zárja el teljesen, mert a levesnek azért fornia kell (*szabályozási korlátozás*).
4. *Végrehajtja a beavatkozást*, azaz csökkenti a lángot.

4.3. A szabályozással kapcsolatos fontosabb részfeladatok

Annak érdekében, hogy sima és minőségi irányítást tudjunk végrehajtani a rendszerek széles osztályán, sokféle lehetséges zavarás ellenében és széles működési tartományban és lehetőleg meghibásodás-tűrően, az irányítás tervezésére használatos módszerek mellett, azok támogatására sokféle fontos részfeladatot kell elvégeznünk. Ezek a részfeladatok a rendszer- és irányításelmélet egy-egy többé-kevésbé különálló részterületét alkotják, és önmagukban is nagyon érdekesek és fontosak.

1. *Kimenet előrebecslés*

Ha szeretnénk tudni, milyen hatása lesz egy adott bemeneti jelnek a kimenetre, akkor a rendszer modelljét felhasználva az alkalmazás előtt szimulációval ezt meghatározhatjuk. Egyes fontos „próbálkozzunk és ellenőrizzünk” elven működő direkt optimalizáláson alapuló módszer használja az output predikciót.

2. *Állapot becslés, állapot szűrés*

Az állapot visszacsatoláson alapuló szabályozók igen elterjedtek a gyakorlatban, mert általában hatásosabbak, mint a kimenet-visszacsatolás. Ugyanakkor emlékeztetünk arra, hogy egy rendszer állapotainak értéke közvetlenül nem megfigyelhető, hanem azt csak – megfigyelhető rendszereknél – számítással lehet meghatározni a rendszermodell ismeretében a mért bemeneti és kimeneti értékeket felhasználva. Az állapot jel kívánt értékeit állapot szűrők vagy állapotbecslés segítségével kaphatjuk meg.

3. *Identifikáció: dinamikus rendszerek paramétereinek és struktúrájának becslése*

Emlékeztetünk rá, hogy az irányítási módszerek tervezésénél a rendszer dinamikus modelljét paramétereivel és struktúrájával együtt ismertnek tételeztük fel. Sajnos azonban a gyakorlatban ritka az az eset, amikor egy dinamikus rendszermodell teljesen ismert, így a gyakorlatban a rendszerről rendelkezésünkre álló mért bemeneti és kimeneti jel értékekből számítással, legtöbbször statisztikai becsléssel tudjuk meghatározni a rendszermodell struktúráját és paramétereit az identifikáció módszereit felhasználva.

4. *Diagnosztika: meghibásodás detektálás és azonosítás*

A különböző súlyosságú meghibásodások mindenütt előfordulnak a gyakorlatban, és ezek komolyan befolyásolják a dinamikus rendszerek viselkedését. A diagnosztikai módszereknek az a célja, hogy a rendszerről rendelkezésünkre álló mért bemeneti és

kimeneti jel-értékek, és a hibamentes működést leíró dinamikus modell segítségével megállapítsák, hogy történt-e meghibásodás, és ha igen, mikor (meghibásodás-detektálás). Ha ezen túlmenően még a lehetséges hiba-módokban a rendszer dinamikus viselkedését leíró dinamikus modellek is rendelkezésünkre állnak, akkor lehetőség nyílik a hiba azonosítására, azaz annak megállapítására, hogy a rendszer viselkedése melyik hibamódot leíró modellnek felel meg.