

JATE Kibernetikai Laboratórium

Egy fiziológiai rendszer időbeli folyamatainak vizsgálata interaktív
számítógépes szimulációval

Hunya Péter és Hantos Zoltán

Az előző kollokviumon elhangzott előadásunkban áttekintést igyekeztünk adni modellezési munkánkról, mely a kapilláris rendszerek néhány, fizikai mozgásformában lejátszódó jelenségének vizsgálatára irányult. Ezuttal modellezési munkánknak csak a "módszer"-oldalát, a számítógépes szimuláció modellezéstechnikai jellegzetességeit ismertetjük. Időközben ugyanis a modell számos alapvető, új elemmel bővült. Az alkalmazott módszert meghatározó elvek általánosabb érvényűek, a konstruált konkrét modellt csupán ennek illusztrációjaként használjuk fel.

Szükségesnek látjuk azonban néhány mondatban összefoglalni a modellezés tárgyára és a modellre vonatkozó információkat. A kapilláris rendszerek vizsgálatánál a modellezési eljárások használatának indokoltságát a következőkben látjuk:

1) A rendszer fizikai mennyiségei (nyomások, áramlások és koncentrációk - az intravasculáris és interstitialis térben) bonyolult kapcsolatban állnak egymással. Áttekinthető teóriák, egyszerű leírások könnyen félrevezetőek lehetnek, a jelenségek teljes komplexuma pedig hagyományos matematikai módszerekkel nem kezelhető.

2) A hidrodinamikai és ozmotikus folyamatokat meghatározó fizikai mennyiségek értékei a rendszeren belül jellegzetesen helyfüggőek. A kapillárisok kísérletes megközelítése, a változók helyfüggvényeinek felvétele, mérése a strukturális adottságok következtében erősen korlátozott. Néhány könnyen - vagy egyáltalán - mérhető, a rendszerre globálisan jellemző mennyiség egyedüli figyelembevételével pedig nem elegendő: a rendszer globális viselkedését a helyfüggésből adódó belső dinamika nagyban befolyásolja.

3) A modell alkalmas - természetesen a struktúra által meghatározott módon - egyes hipotetikus folyamatok beilleszthetőségének kipróbálására is.

E megfontolások után a modellt az alábbiakkal jellemezhetjük:

1) A vizsgált objektum strukturális egységeinek megfelelően a modell három részből áll: a kapilláris hálózat konfigurációjának koncentrálása után nyert kapilláris modell, az interstitiumot reprezentáló, az előbbit körülvevő rugalmas tároló és a nyirokérhálózatnak megfelelő elvezetési rendszer.

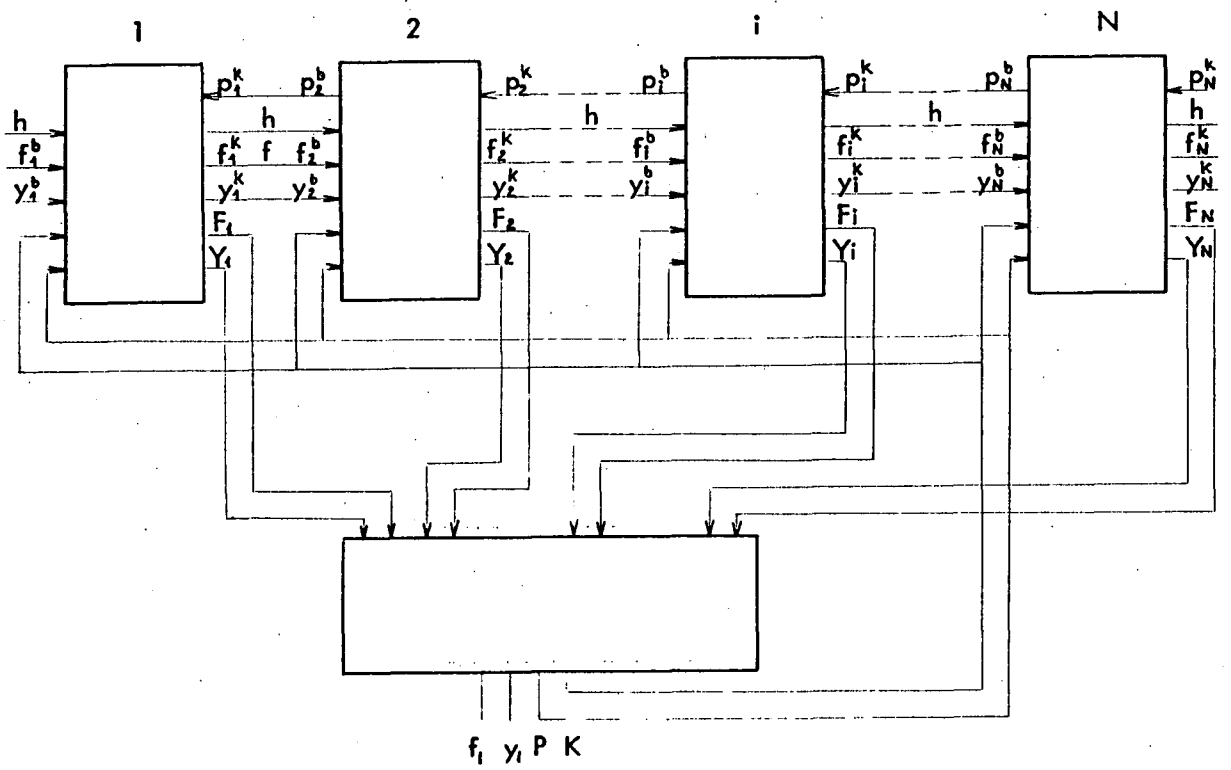
2) A kapilláris csőmodellben az áramlás- és nyomásértékek a hely függvényében változnak. A csőmodell azonban elemi hosszúságú szakaszokat reprezentáló diszkrét, sorbakapcsolt egységekből áll, melyeken belül helyfüggést már nem veszünk figyelembe.

3) A valóságos rendszer folytonos időbeli működését is szakaszos, diszkrét működéssel közelítettük.

4) E térben és időben diszkrét modell vizsgálatát elektronikus számítógépen végeztük.

A modell blokkvázlatát - a struktúra illusztrálása céljából - az 1. ábra mutatja.

Elttekintve a szimulációs modell konkrét sajátosságaitól, általánosan is megfogalmazhatjuk a szimuláció során felvetődő és megoldott feladatokat, eljutva így egy általános szimulációs rendszerhez, mely bizonyos határokon belül igen tág lehetőséget biztosít a modellező számára. Korlátozást jelent mindenképp előtt, hogy folytonos rendszer működését diszkrét modell felhasználásával vizsgáljuk. Ez azonban nem jelent lényeges megszorítást, mivel a tér és időbeli felbontás finomításával a közelítés pontossága tetszőlegesen javítható. Adott esetekben mód van az elkövetett hiba becslésére is. Feltevétezzük továbbá (ez képezte eddig modellezési munkánk egyik alapját), hogy a reális rendszer funkcionáló elemeinek működése jól leírható az automataelmélet eszközeivel, a Moore és Mealy automatákkal (3). Ezek segítségével olyan elemek adhatók meg, melyeknek belső állapotai diszkrét halmazt alkotnak (A), és a pillanatnyi állapottól, valamint az ugyancsak diszkrét I input halmazból származó bemeneti jeltől függően megváltoztatják belső állapotukat és az O output halmazhoz tartozó jellel válaszolnak a külvilág felé. Formálisan megfogalmazva az automaták megadhatók az (A, I, O, d, e) rendezett ötössel, melyben az A az állapotok, I a lehetséges inputok, O a lehetséges outputok halmaza, d és e az átmenet-, illetve a kimenet-függvényt jelölik. Az automata diszkrét időbeli működését pedig a következő összefüggések írják le:



1. ábra

$$\begin{aligned} a_{t+1} &= d(a_t, i_t) & (t = 0, 1, 2, \dots, \\ o_{t+1} &= e(a_t, i_t) & a_t \in A, i_t \in I, o_t \in O) \end{aligned}$$

Moore-automaták esetében, míg Mealy-automatáknál:

$$\begin{aligned} a_{t+1} &= d(a_t, i_{t+1}) & (t = 0, 1, 2, \dots \\ o_{t+1} &= e(a_t, i_{t+1}) & a_t \in A, i_t \in I, o_t \in O) \end{aligned}$$

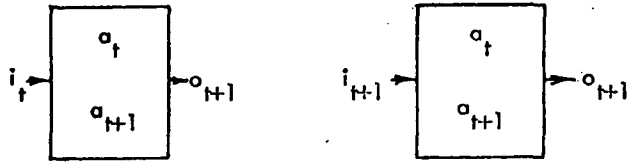
A fentieket a 2a és 2b ábra szemlélteti. Megjegyezzük, hogy az említett két automata-fogalom ekvivalens, de a modellezésnél célszerű mindkettőt felhasználni, sőt gyakran sor kerülhet a 2c ábrán megadott vegyes működésű automata alkalmazására is. A modell az előzőkben leírt elemekből álló rendszer, melyben egyes elemek outputjai szolgáltatják más elemek inputjait. Nyilvánvaló, hogy a rendszerben az elemek nem kapcsolhatók össze tetszőleges módon, ugyanis 2b illetve 2c típusú elemekből álló zárt lánc esetén ellentmondást eredményezhet az, hogy egy input hatása ugyanazon időpillanatban "körbefut" és ezzel esetleg megváltoztatja önmagát.

A modellezett rendszer (pontosabban a modell) időbeli vizsgálatát úgy végezzük, hogy kiindulva egy $t=0$ értékhez tartozó input és állapot-rendszerből meghatározzuk a $t=1, 2, \dots$ időpillanatokhoz tartozó állapotokat és outputokat, felhasználva az előző t -hez tartozó értékrendszert. Ezt a folyamatot nevezzük szimulációnak. A szimulációt realizáló programnak az időbeli előrelépés során az alábbi feladatokat kell elvégeznie:

1) A rendszer minden elemére meg kell határozni az előző állapot és input adatok alapján az új állapot és output értékeket. Ezt a tevékenységet az egyes elemekhez tartozó programrészek végzik el. 2a típusú elemek esetén az elemeken való (térbeli) átfutás tetszőleges, 2b és 2c típusuaknál a végrehajtás sorrendjét a belőlük alkotott lánc határozza meg.

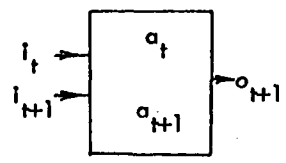
2) A modellezési program felügyelő, szervező részének feladata a modellezett rendszer strukturájának megfelelően elvégezni az összekapcsolást helyettesítő áttárolásokat, melyek során az inputok rendszere megkapja az adott időpillanatban aktuális értéket.

3) Ugyancsak a felügyelő program feladata a modellkísérlet eredményközlésének irányítása, ellenőrzése és az ennek kapcsán felmerülő igénybejelentések kezelése is. A modellkísérlet folyamán általában olyan esetekben kérünk információt a modell állapotáról, amikor az a kísérletező számára valamilyen szempontból érdeklődésre tarthat számot. Egyes esetekben az ilyen állapotokra vonatkozó feltételek előre megadhatók és a program



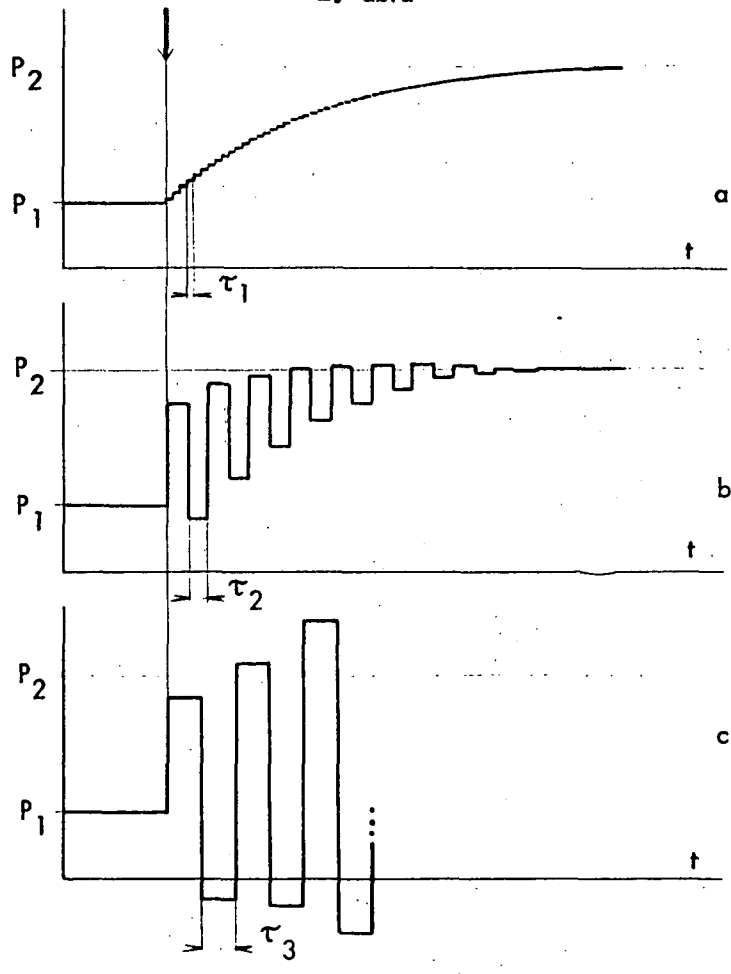
a

b



c

2. ábra



3. ábra

automatikusan gondoskodhat a kiírásokról, más esetekben viszont a részletesebb információ igénye csak a kísérlet menete során merül fel. E mellett modellünk közelítő volta ellenére, - bizonyos korlátok között - leírja a rendszer dinamikáját is. Így, amennyiben a kísérlet célja az átmeneti állapotok, folyamatok vizsgálata, minden állapot rögzítésére szükség van. A fentiekből világosan látszik, hogy a szimulációs programban központi helyet kell elfoglalnia egy igen rugalmas, a pillanatnyi igényeknek megfelelő output rendszernek.

Az output tevékenységeket egy újabb szempont szerint két fő csoportra oszthatjuk:

- a) térbeli "keresztmetszet" egy adott időpillanatban és
- b) egyes paraméterek idősora, adott pontokra vonatkozó időbeli metszet.

Az egyes output típusok közötti átváltás lehetőségnek biztosítása már más tényezőktől függetlenül is indokoltá teszi széleskörű igénybejelentések kezelésére alkalmas program használatát a szimulációnál.

4) Ennek megfelelően az igénybejelentések kezelésével kapcsolatos tevékenység képezi a szimulációs program negyedik feladatkörét, pontosabban a felügyelő programét. Az igények alapvetően két csoportra oszthatók (a jelenlegi rendszernél):

- a) az outputra vonatkozó kérések, ezek "mérések" beállításának, újabb mérőpontok beiktatásának ill. megszüntetésének felelnek meg, míg a másik csoportba

- b) a kísérlet menetének, feltételeinek, egyes paramétereinek megváltoztatása tartozik. Ez utóbbi célja lehet egyrészt olyan változtatás, melynek célja a folyamat vizsgálata új, módosított feltételek, körülmények között, egyes esetekben a paraméterek nagy részének változtatlanul hagyása mellett. Másrészt a modell tranziens-hűsége, pontosabban tranziens-hűtlensége eredményeképp adódhatnak olyan kényszer-helyzetek, melyeknek feloldása, a kísérlet folytatása szintén egyes paraméterek "menetközbeni" megváltoztatása révén érhető el. Az ezzel kapcsolatos problémákat a 3. ábra szemlélteti. Az időbeli lépésköztől függően egyes állapothalmazokon a modell hűen tükrözi a tranziens folyamatokat (3a ábra), másokon csak az egyensúlyi állapotok mutatnak reális képet, de az átmeneti szakaszban a szimulációs rendszer viselkedése pl. oszcilláló, míg a modellezett rendszeré nem (3b ábra). Az állapotok harmadik csoportja már feltétlenül futás közbeni beavatkozásra szolgáltat okot, ezeknél a rendszer divergenssé válik, ami a kapott eredmény teljes használhatatlanságát jelenti (3c ábra). Ez a jelenség megakadályozhatná bizonyos fontos egyensúlyi állapotok vizsgálatát, mivel adott esetekben

nehéz olyan kezdeti állapotot találni, mely meghatározott feltételek mellett biztosítaná a kérdéses egyensúlyi állapot divergenciamentes elérését. Ekkor, a divergencia észlelésekor, visszatérve egy korábbi állapothoz, a paraméterek szimuláció alatti módosításával (interaktív módon) finomabb tranzienst lépésekkel megvalósítható a kritikus átmenet, mely lehetővé teszi a kívánt állapot meghatározását. Ez a probléma felveti korábbi állapotok megőrzésének szükségességét a szimuláció során.

A továbbiakban a realizációval kapcsolatos programozástechnikai kérdésekkel foglalkozunk.

A modell elemeinek a program önálló blokkjai, eljárásai felelnek meg, tartalmazva mind lokális, mind globális változókat és paramétereket (globálisként kell kezelniük pl. az egyes elemek output jeleit, mivel azok kiírásra kerülhetnek és ezt az eljáráson kívüli rész, a felügyelő program végzi.) A felügyelő, szervező program adja a modell programozástechnikai keretét, tartalmazva és kezelve a rendszer globális változóit, paramétereit.

Az igénybejelentések figyelembevétele, feldolgozása az elemekre vonatkozó számítási ciklus végén történik, az időskálán való előrelépéskor. A kommunikációs óhaj bejelentése ezzel szemben bármikor történhet a futás alatt, felhasználva a programmegszakítási rendszert (ez szükséges, de elegendő is az interaktív szimuláció megvalósításához) és csupán egy figyelőregiszter tartalmának megváltozását eredményezi.

A kommunikáció adta lehetőségeket és az üzenetek feldolgozását gráf reprezentációt alkalmazva fával ábrázolhatjuk. A fa csucsei a konzolirőgépen leütött jel(ek)re való várakozásnak felelnek meg és a kapott jelek szerint történik meg az elágazás az él mentén, amelyek a program tevékenységeit jelentik (ezek általában újabb csucshoz vezetnek). Egy-egy ágon való végigfutáshoz több üzert (csucs), valamint több tevékenység (él) tartozik. A kijelölt utolsó tevékenység elvégzése után visszakapcsolás történik a fa gyökeréhez, mely újabb igény-sorozat bejelentését biztosítja. E mellett a fa gyökeréhez vezet a futás közben bejelentett kommunikációs óhaj is. Speciális üzenet és él biztosítja a szimulációs processzus folytathatóságát. A begépelendő igényazonosítók rövidke (egy vagy két betűsek), a kezelőrendszer egészíti ki az utólagos feldolgozás számára könnyen érthetővé, áttekinthetővé.

Az ismertett rendszer MINSZK-22 számítógépre készült, felhasználva a meglévő programkönyvtárat és operációs rendszert.

A leírtak természetesen nem ölelik fel a szimuláció összes problémáját, nem merítik ki az összes lehetőséget. Jelenleg is folyamatban van a rendszer továbbfejlesztése, melynek célja, hogy a fenti elveknek, szempontoknak megfelelően változtathatók legyenek a modellben az átmeneti és kimeneti függvények, valamint a modell strukturája is. Ezen túl tervezzük még az igénybejelentési szisztéma olyan fejlesztését, amely lehetővé teszi igénySORozatok, "kísérleti algoritmusok" közlését is a szimulációs kísérletet végzők operátori tevékenységének könnyítésére.

I R O D A L O M

- 1) Hantos Z. és Hunya P.: Kibernetikai és számítástechnikai módszerek alkalmazása a kapilláris keringés vizsgálatában. Számítástechnikai és kibernetikai módszerek ... Kollokvium. Szeged, 1970. 53-62.
- 2) Hantos Z., Z. Lázár: The flow of fluid through the wall of capillary systems studied by a mathematical model. Acta Physiologica Acad. Sci. Hung. 38: 265-280, 1970.
- 3) Глушков, В. М.: Схемы цифровых автоматов. Физматгиз, 1962.