

A sorbanállásról és a gépkiszolgálásról

3. rész

A szövegép kiszolgálásának modellezése

Prátser András

Rejtő Sándor Pro Technológiai Alapítvány

Amint arról előző cikkünkben említést tettünk (Magyar Textiltechnika 2020/2, 29–31.old.), ez alkalommal a szövesi munkafolyamat modellezésére teszünk kísérletet, abból a célból, hogy bemutassuk a munkafolyamat egyes elemei közti valós összefüggéseket és ezen keresztül a folyamat leírását. A modell megváltoztatásával különbözőféle szituációkat fogunk elemezni és összehasonlítást teszünk az első közlésben bemutatott analitikus modellel, bemutatva a tevékenységünk eredményességét.

Mielőtt a bemutatást megkezdénénk, el kell készíteni a feladat megoldásának tervét. Az alábbi lépéseket kell megjárunk, hogy célhoz érjünk:

1. A modellezés tárgyának elemzése.
2. A matematikai modell kidolgozása.
3. A GPSS Word programnyelvhez igazított általános algoritmus kidolgozása.
4. A program-modell kidolgozása GPSS Word-ben.
5. A program javítása („belövés”).
6. A kísérlet előkészítése.
7. A kísérlet elvégzése, értékelés.

Néhány szóban az egyes szakaszokban elvégzendő feladatokról:

1. Az elemzés célja a végbemenő folyamatok azonosítása, azok paramétereinek meghatározása, az objektumon belüli hatások bemutatása. Először a kidolgozás csak szóbeli leírásra (közlésre) támaszkodhat. Ennek alapján kell meghatározni, mit kell modellezni, milyenek az objektumban a valós folyamatok, mik ezek közül a jelentősek, melyek hatását lehet elhanyagolni. Az összes fizikai folyamatot információs folyamattá kell leképezni. Meg kell határozni a be- és kimeneteket, a köztük lévő összefüggéseket. Ennek a folyamatnak az eredménye a folyamat blokkvázlatának az elkészítése.

2. A működési modell a blokk-sémán alapul. Matematikai módszerekkel bemutatjuk azokat a funkcionális átalakításokat, amelyeket az objektumokon hajtunk végre. Ennek a lépésnek az eredménye a függvényekkel leírt működési modell. Egy ilyen modell lehet szerkezeti séma vagy működési rajz, amit különböző (szabványos és nem szabványos) grafikus elemekből építhetünk fel.

3. Az algoritmus kidolgozása a GPSS nyelv alapfogalmai alapján történik (operátorok, szintaxis, programozási technika). A matematikai modellt át kell ültetni a program modell szerkezetébe. Itt már a program dokumentálásának egységes rendszerét kell alkalmazni, emiatt a szakasz eredménye a szabványos elemekkel ábrázolt algoritmus-szerkezet.

4. A program kidolgozása az algoritmus elemenkénti pontosítása és átalakítása programszöveggé. A GPSS programozás-technikája különbözik más programnyelvekétől, itt ugyanis esemény-idő modellezést kell használni, össze kell vonni az objektum-orientált programozást a szerkezeti programozással. A lépcsőfok eredménye egy működőképes GPSS program szövege. Fontos, hogy a programsorokat megjegyzésekkel lássuk el. A programra ezek nincsenek hatással, de később segítenek a program javításában. A program modulok elhelyezke-

dése nincs hatással annak végrehajtására, elhelyezésüket a szövegben a programozási stílus határozza meg. A program végrehajtása az aktív tranzakciók mentén történik. Erről a lefordított belső program gondoskodik.

5. A program javítása („belövés”) az esetleges hibák felderítésében és korrigálásában testesül meg. Ki kell dolgozni a javítás stratégiáját, a tesztek és a tesztelési folyamatot. Ennek a stádiumnak a végén működőképes, a modell-kísérletek végrehajtására alkalmas korrekt programot kell kapnunk. A „belövéshez” a GPSS speciális eszköztárát használjuk, ami magában foglalja

- a lépésenkénti végrehajtást,
- a megjegyzések meglétét a sorok végén,
- az újságot (JOURNAL),
- az ablakokat (SIMULATION WINDOW stb.) és
- a futás közbeni pillanatfelvételeket (SIMULATION SNAPSHOT).

A programfutás végén megjeleníthető a szabványos jelentés (REPORT), amely információ elegendő, hogy következtetéseket vonjunk le a modellezés eredményeiről.

6. A kísérlet előkészítése a stratégia és a taktika megállapítása. A stratégia megmutatja, hogy mi végre hajtjuk végre a programot, mik a be- és kimenő adatok. A taktika a kísérlet terve. A kísérlet célja a folyamat statisztikai jellemzőinek (a kihasználási tényező, az események eloszlási diagramja stb.) meghatározása. Ki kell választani, hogy mely paraméterek állandóak és melyeket kell a kísérlet során változtatni.

7. A kísérlet lefolytatása a következő:

- a program lefordítása GPSS nyelvre
- a GPSS ablakok kiválasztása a futás közbeni információ megtekintésére
- a bemenő adatok megadása,
- a program elindítása (START, vagy egyéb módon),
- a szabványos jelentés kinyerése,
- a kapott adatok rögzítése,
- új kezdeti értékek meghatározása,
- a program újra fordítása és újra indítása,
- az adatok feldolgozása minden újra indítás után,
- az eredmények analízisének, következtetések levonása.

Az eredményeket fájlba írhatjuk, ezek az adatok más programok (pl. Word, Excel stb.) segítségével is bemutathatók. A későbbi elemzés céljára az újságban (JOURNAL) és a SZABVÁNYOS JELENTÉSben található adatok megőrizhetők és átvihetők akár a szöveges jelentésekbe is.

Most pedig lássuk a konkrét feladatot (az elmélet átültetése a gyakorlatba)!

Célunk a szöves munkafolyamatának elemzése. Ebben a folyamatban két alapvető objektum vesz részt, a szöve és a szövegép. Kevésbé fontos befolyással bír a folyamatra a műszaki kiszolgálást végző mester és a

hengercseréket végző segédmester vagy szerelő brigád. Első megközelítésben csak a szövő és szövőgép alkotta rendszerre koncentrálnunk. Később a kevésbé meghatározó objektumok hatásával is foglalkozunk majd.

A kiválasztott objektumok együttműködése:

1. A szövőgép szövetet állít elő. A szövőgépen feldolgozott anyagban (lánc- és vetülékfonal) lévő hibák miatt azonban ez a folyamat megszakadhat, mert a szövethiba megakadályozása végett a szövőgépet a hibát érzékelő be rendezése megállítja.

2. A szövő elhárítja a hibát (végteleníti az elszakadt fonalat, pótolja a hiányzó vetüléktartalékot stb.) és újra működésbe hozza a szövőgépet.

Most azt az esetet vizsgáljuk, amikor ez a folyamat ismétlődik a munkavégzés teljes időtartamában.

A szövőgépek szerkezetének korszerűsítése és a rajtuk feldolgozott textilanyagok minőségének javulása azt eredményezte, hogy egy szövő több szövőgép kiszolgálását is el tudja látni. Így alakult ki a **többgépes kiszolgálás** s jöttek létre olyan helyzetek, amikor a szövőgép leállításakor a szövő még a másik gép hibájának elhárítását végezte. Ilyenkor a gép várakozásra kényszerült, azaz várt a sorára. Ez a **sorbanállás**.

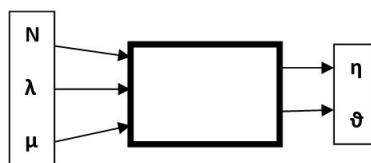
Ahhoz, hogy ezt a folyamatot mennyiségileg jellemezhesük, meg kell határozunk, hogy a szövő hibák kijavítása által milyen mennyiségű szövetet képes előállítani a munkaidejében a. Ehhez ismernünk kell

- hány szövőgépet kezel a szövő
- mennyi a szövet előállításának a sebessége, ha a gép működik
- milyen gyakran szakad meg a szövőgép működése (áll le a gép).

A folyamat **kimenete** az előállított szövet mennyisége. Ha a folyamatot az időben vizsgáljuk, ennek egyenértéke a **szövőgép(ek) időkihasználása** (textiles terminológiával a „hatásfoka” - η) is. Kimenetnek tekintjük azt az időhányadot is, amit a **szövő** munkavégzéssel tölt. Ezt az időhányadot nevezzük **terhelésnek** (ϑ). **po** az az időhányad, amikor a szövő tétlen.

A többi paraméter, a **kezelt gépszám** (N), a **meghibásodások gyakorisága** (λ) és a **szövő munkavégző sebessége** (μ) a **bemenetek**. (A jelölések megegyeznek a korábbi cikkekben alkalmazottal, lásd ott.)

A paraméterek meghatározásával felvázolhatjuk a rendszer működési modelljét (1. ábra).



1. ábra

Az egyes paraméterek közt matematikai összefüggések írhatók fel. Ha az első részben definiált

$$\rho = \lambda / \mu$$

kiszolgálási tényező paramétert bevezetjük, az ugyan-csak a cikksorozat első részében felírt összefüggésekhez jutunk:

$$\eta = f_1(N, \rho), \text{ illetve}$$

$$\vartheta = f_2(N, \rho).$$

Mind a λ mind a μ változók statisztikai mennyiségek, amelyek az időben változnak. Változásuk azonban egy átlagérték körül ingadozik. Ebben az esetben ezeket a statisztikai mennyiségeket várható értékükkel és sz az akörüli szórással jellemezzük. Fontos paraméter még a középérték körüli eloszlás milyensége (függvénye).

(Ezekkel a fogalmakkal már szintén az első részben találkoztunk.)

A statisztikai mennyiségek jellemzőinek megállapítása az alábbiak szerint történik:

A középérték, amit a jelenségek észlelésének sorrendjében határozunk meg:

$$\hat{x} = \hat{E}[x] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$$

ahol x a paraméter, x_i a változó legutóbb észlelt értéke, N itt a mérések száma, $E[\]$ a középérték operátor.

A szórásnégyzet ugyanilyen meghatározására a következő képlet szolgál:

$$S^2 = \sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 \right].$$

Itt S a szórás számított értéke, σ a meghatározandó paraméter.

A fenti paramétereket kísérleti úton, úgynevezett szakadásfelvétellel állapíthatjuk meg. Stopperórával, több ezer adat regisztrálása után végezhetjük el a számításokat. Egy kézi segítségével a középérték és a szórás értékei az adatfelvétel során azonnal számíthatók a fenti képletek programozható számológép felhasználásával. A szükséges segédprogram elkészítése nem okozhat különösebb nehézséget.

A két legfontosabb statisztikai jellemző megállapítása azonban egy kérdést még megválaszolatlanul hagy, az eloszlás jellegének megállapítását. Ehhez a felvételezett adatokból meg kell rajzolni a gyakorisági diagramot, s azokra illeszteni kell a feltételezett eloszlás függvényt. Ennek a tevékenységnek a leírása a statisztikai adatok feldolgozásának szakkönyveiben található meg.

Néhány ilyen adatfeldolgozás során meggyőződünk róla, hogy a beavatkozások időtartama leggyakrabban a logaritmikus normális eloszlásfüggvénnyel volt leírható. Ezt az eredményt a szakirodalom is alátámasztja, amely szerint a nagyon sok tényezőtől összeadódó hatások következménye a lognormális eloszlás.

A lognormális és az exponenciális eloszlások vizsgálata

Tegyünk kicsit részletesebb elemzés tárgyává a két felhasznált, a *lognormális* (I. programkód) és az *exponenciális* (Markov-folyamat) (II. programkód) eloszlást. Az eloszlásfüggvények ábrázolásához szükséges hisztogramok előállításában is segítségünkre van a GPSS programnyelv. (A szimulációt 100 000 ciklus esetére végzük el, hogy az elméletihez közeli eredményt kapjunk.) A hisztogramból látható, hogy a, $\mu=1$, $\sigma=1$ bemeneti paraméterek $x = 4,488$, $s = 6,149$ értéket adtak. Hogy összehasonlítható legyen az exponenciális eloszlás-

I. programkód

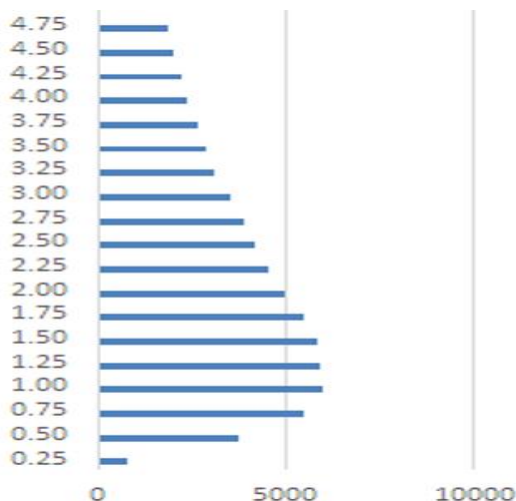
```

***A lognormális eloszlás paraméterei, képlete
***LOGNORMAL(Stream,Locate,Scale,Shape)
***Lognormális eloszlás, ahol Locate:h=0.001,Shape:mu=1,Scale:sigma=1
*** mu=1 és sigma=1 a generáló normális eloszlás paraméterei
***A hisztogram készítés programja:
TT TABLE M1, .25, .25, 20 ;0.25 kezdő érték és lépésköz,
;20 adat
GENERATE (LOGNORMAL(1,0.001,1,1))
ADVANCE (LOGNORMAL(1,0.001,1,1)) ; lognormális eloszlás, h=0.001, mu=1, sigma=1
TABULATE TT
TERMINATE 1
START 100000
  
```

Az eredmény (a GPSS szabványos riportból):

GPSS World Simulation Report - tabulalas_lognormal		
TABLE	MEAN	STD. DEV.
TT	4.488	6.149

A hisztogramot a 2. ábra mutatja.



2. ábra

függvénnyel, az exponenciális eloszlás középértékét is 4,488-ra kell megadni.

A II. programkód az exponenciális eloszlásra vonatkozik, az ehhez tartozó hisztogram a 3. ábrán látható.

II. programkód

```
***Az exponenciális eloszlás paraméterei, képlete
***EXPONENTIAL (Stream,Locate,Scale)
***Exponenciális eloszlás,  $\lambda=0$   $\mu=\sigma=4.488$  értékekre (az előző modellből)
TT TABLE M1,.25,.25,20 ;0,25 kezdő érték és lépésköz, 20 adat

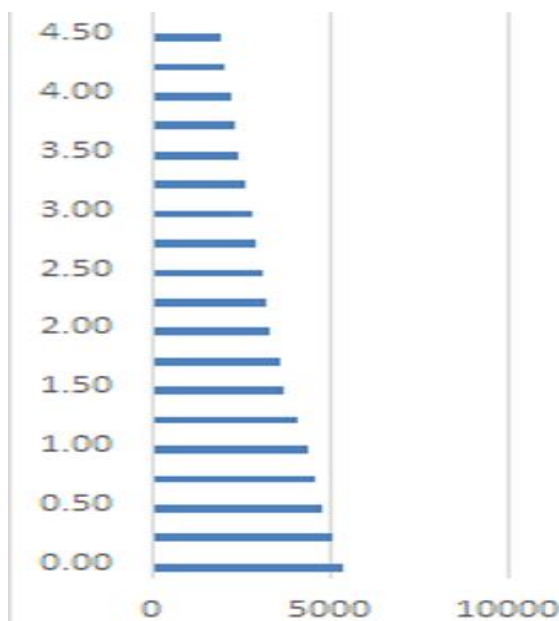
GENERATE (Exponential(1,0,4.488)) ; exponenciális eloszlás,  $\lambda=0$   $\mu=\sigma=4.488$ 
ADVANCE (Exponential(1,0,4.488))
TABULATE TT
TERMINATE 1
START 100000
```

A futtatás eredménye:

```
GPSS World Simulation Report - tabulalas_exp
TABLE MEAN STD.DEV.
TT 4.520 4.510
```

Megjegyzés:

1. A szimuláció miatt ugyan eltérő értéket kapunk (4.488 bemenő, 4.512 kimenő átlagérték, holott az elméletileg ugyanannyi).
2. A lognormális eloszlás szórása nagyobb, mint az exponenciálisé, ezért az összehasonlíthatóságához további lépéseket kell tennünk.

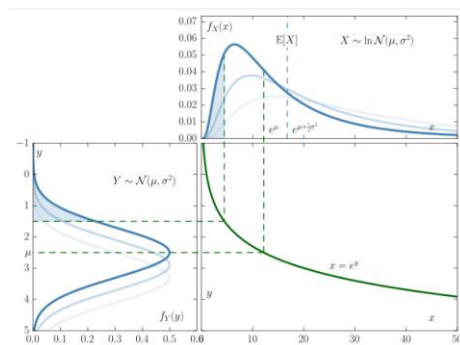


3. ábra

Megjegyzés: Az összehasonlítás még nem lehetséges, mert a szórás értékek különböznek a két eloszlás esetén. A lognormális eloszlást tüzetesebb vizsgálat alá kell vonni.

A lognormális eloszlás vizsgálata

A normális eloszlás paramétereitől a lognormális eloszlás paraméterei eltérnek. Ezt az összefüggést ábrázolja a 4., a Wikipédiából átvett ábra.



4. ábra

A normális eloszlásfüggvénnyel azért kell foglalkoznunk, mert a GPSS programnyelvben a lognormális eloszlást a normális eloszlás paramétereivel definiálják:

***LOGNORMAL (Stream,Locate,Scale,Shape)

ahol

Stream – a véletlenszám generátor száma (belső paraméter a program számára),

Locate – az x tengely mentén történő eltolás,

Scale – a generáló normális eloszlás középértéke,

Shape – a generáló normális eloszlás sűrűsége.

Az exponenciális eloszlással úgy lesz összehasonlítható a lognormális, ha a változó középértéke és a szórás is mindkét esetben megegyezik.

Miután a program a bemenetén a normál eloszlás paraméterét várja, át kell számítanunk a középérték és a szórás paramétereit, hogy a lognormális eloszlás kívánt középértékét és szórását kapjuk.

A paraméterek közti összefüggések (a lognormális paraméterek számítása a normális eloszlásából):

$$x = \exp(\mu + 0,5\sigma^2) + \lambda,$$

$$s = \exp(2\mu + \sigma^2) * (\exp(\sigma^2) - 1),$$

ahol

x - a lognormális eloszlás középértéke ($E[X]$),

s - a szórása,

μ és σ - a normális eloszlás ugyanazon paraméterei,

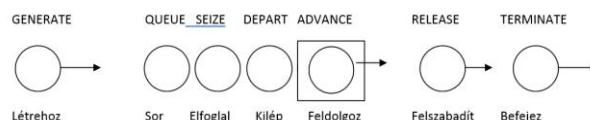
λ - az eltolás az x tengely mentén.

Ellenkezőleg, a lognormális eloszlás paramétereiből ki kell tudnunk számítani a normálisét, hogy az egyenlővé tehető legyen az exponenciáliséval. Ezek a formulák a fenti összefüggések átrendezésével, az egyenletekből képzett egyenletrendszer megfelelő átrendezése útján nyerhetők:

$$\mu = \ln(x - \lambda) - \ln(1 + (s / (x - \lambda))^2) / 2$$

$$\sigma = (\ln(1 + (s / (x - \lambda))^2))^{0,5}$$

A szimuláció folyamatát, a szabványos jelöléseket alkalmazva, a következőképpen ültetjük át a GPSS programnyelvre (a könnyebb érthetőség kedvéért alul magyarul is felírtuk az utasítások nevét). A blokkvázlat az 5. ábrán látható.



5. ábra

III. programkód

```

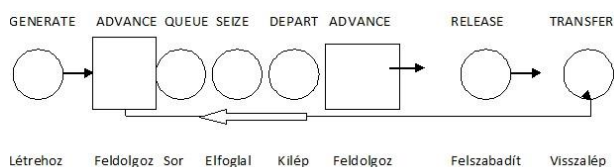
GENERATE 7,2 ;belép az igény a rendszerbe
;7 min-ként +/- 2 min szórással (5-9 min)
QUEUE sor ;megnöveli a sor hosszát egy igénnyel
SEIZE csatorna ;megállapítja a csatorna foglaltságát
DEPART sor ;csökkenti a sor hosszát egygyel
ADVANCE 6,3 ;kiszolgálja az igényt
;6 min átlagidővel +/- 3 min szórással (3-9)
RELEASE csatorna ;felszabadítja a kiszolgáló csatornát
TERMINATE 1 ;kilépteti az igényt a rendszerből

START 200 ;200 ciklust hajt végre
    
```

A III. programód a legegyszerűbb kiszolgálási modell és annak GPSS nyelven megírt programja.

A szövő-szövőgép rendszer kicsit másképp működik, ugyanis több igényforrás van és az igény a kezelt gépek bármelyikétől beérkezhet. A hibaelhárítás után a szövőgép újra elindul s a szövő készen áll a következő beavatkozásra.

Emiatt a fenti nyílt rendszer helyett egy zárt rendszert kell létrehozni. Ennek blokkvázlata a 6. ábrán látható, programkódja a IV. programkód.



6. ábra

IV. programkód

```

**SEGMENT 1
GENERATE ,,,8 ;a szövőgépek száma 8
;itt nem határozzuk meg igényszámot, azt a kezelt gépek generálják
ADVANCE (EXPONENTIAL(1,0,10)) ;véletlenszerűen 10 percenként áll le
CIM
QUEUE sor ;várnak a sorban a javításra
SEIZE szövő ;a szövő munkába veszi a gépet
DEPART sor ;kiveszi a sorból
ADVANCE (EXPONENTIAL(2,0,5)) ;véletlenszerűen 5 perc alatt
;javítja meg
;befejezi a javítást
RELEASE szövő ;ugrás a következő beavatkozásra
TRANSFER,CIM

**SEGMENT 2
GENERATE 480 ;a munkaidő 480 perc
TERMINATE 1 ;a ciklus befejezése
START 1 ;indul az első tranzakció
    
```

A programot beírjuk a GPSS program szerkesztőjébe, majd futtatjuk. Végeredményként a szabványos riportban megkapjuk az eredményeket, ami - kivonatolva - az alábbi:

```

GPSS World Simulation Report - szoves_exp_exp
Sunday, March 29, 2020 15:57:46

START TIME      END TIME  BLOCKS  FACILITIES  STORAGES
0.000           480.000    10       1           0

FACILITY  ENTRIES  UTIL.  AVE. TIME  AVAIL.  OWNER  PEND  INTER  RETRY  DELAY
SZOVO     79       0.999   6.069     1       8       0       0       0       6
QUEUE     MAX CONT. ENTRY ENTRY (0) AVE.TIME AVE.(-0) RETRY
SOR       7       6      85       1       5.121   28.920   29.265   0
    
```

A programot beírjuk a GPSS program szerkesztőjébe, majd futtatjuk. Végeredményként a szabványos riportban megkapjuk az eredményeket, ami - kivonatolva - az alábbi:

Némi magyarázat a feliratokhoz (a bennünket érdeklő szavakat kivastagítottuk):

START TIME	KEZDÉSI IDŐ	A rendszeróra értéke a mérési időszak elején
END TIME	LEÁLLÍTÁSI IDŐ	Az óráidő, amikor a lezárási szám 0 lett
FACILITY	BERENDEZÉS	A blokk neve vagy sorszáma
ENTRIES	BELÉPÉSEK	A blokkban eltöltött idő hányada (szövő esetén ez a terhelés)
UTIL.		
AVE.TIME		Az egy benntartózkodás átlagos időtartama

QUEUE

MAX CONT

SOR

neve vagy száma
A maximális sorhossz a szimuláció alatt
A belépések száma
Azon belépések száma, amikor üres volt a sor
A belépések számának átlaga
Átlagos sorbanállási (benntartózkodási) idő
Ugyanaz az üres sorok nélkül

ENTRY

ENTRY (0)

AVE.CONT.

AVE.TIME.QUEUE

AVE. (-0)

A későbbiekben megelégszünk a szabványos riport adataival. Ezek (a riport jelöléseivel leírva):

A **terhelés** értéke közvetlenül leolvasható:

$$\vartheta = \text{UTIL.}$$

A **hatásfok** értékének meghatározásához az alábbi számítást kell elvégezni

$$\eta = (N \cdot \text{END TIME} - (\text{ENTRIES} \cdot (\text{AVE.TIME} + \text{AVE.TIME.QUEUE}))) / N / \text{END TIME},$$

ahol

N a kezelt gépszám,
a többi megnevezés a GPSS program szabványos jegyzőkönyve szerint.

Ha idáig hibamentesen eljutottunk, belefoghatunk a **kísérletezésbe**.

A számított és a szimulált értékek összehasonlítása

1. Első lépésben elvégezzük a korábban levezetett elméleti modell és a szimuláció végeredményének egybevetését.

Első próba:

Az **analitikus modell** (ld. az első közleményben)

N = 6 gép, L = 1/λ = 15 min, M = 1/μ = 1 min, M/M/1//6 rendszer bemeneti adatok esetén a szövő tétlenségére

$$p_0 = 1 - \vartheta = 1 - 0,634 = 0,365$$

értéket adott.
A **szimulációs programot** 480 min időtartamra lefuttatva a M/M/1//6 modellre, a tétlenség $p_0 = 0,392$ értékű.

Ha növeljük a futásidőt 1000 percre, $p_0 = 0,371$ értékű lesz.

Ha 100 000 percre futtatjuk le a modellt, $p_0 = 0,365$ értéket kapunk. Ez már megegyezik a számított értékkel.

Beigazolódtott tehát, hogy az ismétlések számának növelésével a szimuláció pontossága növelhető, tehát **szimulációval jól közelíthetjük az elméleti értéket**.

A következő próba:

N = 5 gépre L = 1/λ = 6,0 min, M = 1/μ = 1 min értékekre (M/M/1//5) **analitikus számítással** a modell $p_0 = 1 - 0,360 = 0,640$ értéket ad.

Lefuttatva a **szimulációt** 480 perc futásidőre, már $p_0 = 0,639$ értéket kapunk. 100 000 perc futásidőre $p_0 = 0,640$ értékű a tétlenség, tehát ugyanannyi, mint analitikusan.

$\vartheta = 1-p_0$ - a szövő terhelése				
$\rho \rightarrow$	0,01	0,04	0,07	0,10
$N \downarrow$				
4	0,0396	0,1542	0,2579	0,3533
6	0,0594	0,2288	0,3820	0,5155
8	0,0792	0,3037	0,5010	0,6617

η - a hatásfok				
$\rho \rightarrow$	0,01	0,04	0,07	0,10
$N \downarrow$				
4	0,9900	0,9638	0,9211	0,8833
6	0,9900	0,9533	0,9095	0,8592
8	0,9900	0,9491	0,8946	0,8271

2. A következő lépésben összehasonlítjuk a különféle eloszlású kézi idők esetére a terhelés és a „hatásfok” (időkihasználás) értékeit.

A számított eredmények az első részben (Magyar Textiltechnika 2020/1) közölt táblázatból az M/M/1/N rendszerre:

A szimulált eredmények (M/G/1/N) rendszerre (ahol G – lognormális eloszlás) (szimuláció 480 percre, egy műszak idejére. Az adatok pontossága a szimuláció miatt csak megközelítő):

$\vartheta = \text{UTIL.}$				
$\rho \rightarrow$	0,01	0,04	0,07	0,10
$N \downarrow$				
4	0,062	0,253	0,370	0,487
6	0,075	0,342	0,515	0,644
8	0,116	0,428	0,650	0,818

$\eta = (N \cdot \text{END TIME} - (\text{ENTRIES} \cdot (\text{AVE. TIME} + \text{AVE. TIME. QUEUE}))) / N \cdot \text{END TIME}$				
$\rho \rightarrow$	0,01	0,04	0,07	0,10
$N \downarrow$				
4	0,983	0,928	0,884	0,837
6	0,986	0,931	0,882	0,826
8	0,985	0,927	0,864	0,761

Látható, hogy az adatok eltérőek. Ugyanazon kiszolgálási tényezőhöz nagyobb terhelés érték tartozik a lognormális eloszlás esetén. Ez azt jelenti, hogy

- ugyanazon terhelés mellett kisebb kiszolgálási tényező érhető el, vagyis
- ugyanazon szakadékonyság mellett nagyobb a szövő terhelése.

A konkrét szituáció vizsgálata nagyon sok részletkérdés megvizsgálására alkalmas. Ezek közül csak néhányat villantottunk fel.

Végkövetkeztetések, zárszó

A szimuláció segítségével olyan körülmények is vizsgálhatók, amelyek analitikusan nem írhatók le.

Ha a dolgok természetét vesszük górcső alá, a beavatkozások több csoportba oszthatók. A következő táblázat ezt a csoportosítást mutatja be (az adatok becslések):

A leállás oka	Az elhárítást végzi	Gyakoriság	Időtartam
Láncszakadás	szövő	3 – 20 percenként	2 – 7 perc
Vetülék szakadás	szövő	2 – 20 percenként	1 – 3 perc
Vakleállítás	szövő	10 – 50 percenként	1 – 2 perc
Darabvétel	szövő	tervezhető	5 – 10 perc
Lánchenger csere	segédmester, szerelő	tervezhető	250 – 500 perc
Javítás	mester, lakatos	400–800 percenként	60 – 500 perc
Egyéb veszteségidő (anyag, energia, munkahiány stb.) nem tervezhető.			

Amint látható, az eddigi vizsgálatba a lánc-, vetülék szakadásokat, a vakleállításokat, esetleg a darabvételt

vonhattuk be. A konkrét szakadásfelvételek alapján külön-külön eloszlás-hisztogramokat rajzolhatunk fel.

Az, hogy az egyes hibakok aránya milyen, a körülmények függvényében változik. Ideális esetben az okonkénti időtartamuk olyan elegyet alkot, hogy egy eloszlásnak tekinthetjük az egész folyamatot. Ebben az esetben van lehetőség statisztikai módszerekkel elméleti eloszlásfüggvényeket illeszteni a hisztogramokra.

Előfordulnak azonban olyan esetek is, hogy a különféle ok miatti beavatkozások egyesített hisztogramja több maximumot is tartalmaz, vagy alakja szabványos eloszlásfüggvénnyel nem közelíthető. Erre az esetre ad a GPSS program olyan lehetőséget, hogy a gyakorisági diagramot pontok sorozatával adjuk meg. (Egy példát az előző közleményben bemutatunk.)

Lehetőség van többcsatornás modell megalkotására is, ahol minden csatornának saját eloszlásfüggvény adható meg, s meghatározható a csatornák aránya is. Ezzel a témával terjedelmi okokból itt nem foglalkozunk.

Akit a téma mélyebben érdekel, ajánljuk a programnyelvvel kapcsolatos, a forgalmazó által elkészített alapos programleírást és a szakirodalomban fellelhető rengeteg példát.

Megjegyezzük továbbá, hogy a szimuláció az ipari és egyéb területeken széleskörűen felhasználható a folyamatok leírására. Csak felsorolásképp:

- a számítógépek belső adatfolyamának megtervezésénél,
- a szerelési, építési munkaszervezésnél,
- a szolgáltatás és
- az egészségügy területén és még sok helyütt.

Célunk a módszer ismertetésén túl az alkalmazhatóságának a bemutatása volt - a textiliparban.

Ajánlott irodalom

Teljes leírások, tankönyvek:

- Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. Москва ДМК Пресс, 2004
- Матюшенко С.И., Спесивов С.С. Основы имитационного моделирования в среде GPSS World М.: Изд-во РУДН, Москва 2006
- С.С. Смородинский, Н.В. Батин Оптимизация решений на основе компьютерных имитационных методов и моделей, БГУИР, Минск 2005
- Титоренко М.В., Баженов Р.И. Об имитационном моделировании систем массового обслуживания в среде GPSS – 2014. – URL: <http://naukarastudent.ru/11/2134/>

Szakkik:

- Thomas J. Schriber szakkikvei bőséges irodalomjegyzékkel (Thomas J. Schriber Graduate School of Business The University of Michigan Ann Arbor MI 48109-1234 USA)

Példák GPSS megvalósításokra:

- GPSS Simulation of Inventory with Periodic Review- Example for Data analysis.
<https://www.researchgate.net/publication/281861420>
 Примеры решений в системе GPSS World.
https://www.matburo.ru/ex_mat_pr.php?p1=gpss