

UTILITZACIÓ DE LA SIMULACIÓ COM EINA PER A PREDIR EL FUNCIONAMENT D'UN SISTEMA INFORMÀTIC

per Jaume BARCELÓ (Departament d'Estadística de la Facultat d'Informàtica de Barcelona) i

Ramon PUIGJANER (SPERRY-UNIVAC i Departament d'Arquitectura de Computadors de la Facultat d'Informàtica de Barcelona).

RESUM

A partir del model de simulació d'un sistema informàtic de temps real ben caracteritzat s'han realitzat diverses execucions del model per a obtenir dades que ens portin a determinar l'estimació de la magnitud més característica, com pot ésser el temps de resposta.

Les metodologies de simulació que s'han fet servir han estat :

- una combinació dels mètodes de "batch means" amb les repeticions intentant d'assegurar al màxim la independència entre les observacions realitzades.
- la regenerativa.

Les conseqüències que s'en treuen són, a favor del mètode regeneratiu , l'estalvi de temps d'ordinador i la millor qualitat de les estimacions que s'obtenen.

INTRODUCCIÓ

L'objectiu d'aquest treball es la comparació dels resultats obtinguts amb un mateix model d'un sistema informàtic tractat per simulació quan els resultats s'obtenen per regeneració i quan s'obtenen per "batch means".

Abans però d'entrar en matèria, dos mots sobre la necessitat de fer servir models per a analitzar el comportament d'un sistema informàtic.

Per a justificar la configuració i el temps de resposta d'un sistema que treballi en temps real existeixen varis mètodes, fonamentats la major part d'ells en la confecció de models, l'anàlisi dels quals ens proporciona els temps de resposta i la situació del material d'una configuració determinada quan se la sotmet a la càrrega que es consideri. Això ens permet determinar els punts crítics, corregir-los i arribar a la configuració idònia a cada cas.

Entre els models que podem fer servir tenim :

- a) Sobre una màquina amb la configuració hardware i software es simula l'arribada de les transaccions en el nombre i la proporció que s'estimi convenient, i mitjançant un monitor hardware o software prendre mesures del comportament del sistema.

- b) Construir un model de les cues i les estacions de servei que hi ha en el sistema, que podem tractar o bé per mètodes analítics, o bé per mètodes de simulació per a obtenir els mateixos resultats que en el cas anterior.

En aquest treball es construeix un model que es tracta després per simulació.

Models basats en teoria de cues.

Aquests models es caracteritzen per xarxes dels següents elements :

- a) Una estació de servei.
- b) Una cua.
- c) Les transaccions que arriben al sistema.

El funcionament elemental es el següent :

Les transaccions arriben al sistema a intervals que poden estar repartits segons una distribució de probabilitat o a mida que surten del sistema precedent en el cas que estiguin lligats constituint una xarxa.

A l'arribar al sistema pretenen rebre servei de l'estació, que pot tenir un o varis canals, durant un cert temps que també pot tenir una determinada distribució de probabilitat.

Les transaccions quan arriben poden trobar lliure al menys un dels canals de servei, en el qual cas son ateses immediatament. En cas contrari, es a dir quan tots els canals de servei estan ocupats, la transacció entra en una cua d'espera que pot adoptar diferents formes i polítiques.

La utilització d'un llenguatge de simulació especialitzat facilita la representació i tractament del model a fi d'obtenir-ne els resultats desitjats.

Aplicació als sistemes informàtics.

Els paràgrafs precedents ens permeten veure que aquest tipus de models s'adaptan a la representació dels subsistemes que constitueixen un sistema informàtic.

MODELITZACIÓ D'UN SISTEMA INFORMÀTIC.

C.P.U.

Entre els programes que existeixen en la memòria i que requereixen ús de la CPU s'estableix una cua que van atenent la/les CPU. En cas de que hi hagi dues CPU, la primera transacció de la cua, si la primera està desocupada va a ella, si no, intenta utilitzar la segona i si també està ocupada segueix a la cua fins que s'allibera una de les CPU.

Realment el funcionament de la CPU es quelcom de més complex, però en el cas que s'ha estudiat, al dedicar-se el sistema a tractar un mateix tipus de programes podem prescindir del repartiment del temps de CPU en "quanta" (algorismes tipus Round Robin o similars) entre els programes presents en

memòria i admetre aquest model simplificat.

El temps d'ocupació de cada CPU dependrà de l'AIET (Average Instruction Execution Time) i de les instruccions executades entre dues E/S consecutives.

Respecte a l'AIET cal tenir en compte l'arquitectura del sistema quan hi ha més d'una CPU a fi de considerar, per exemple, els conflictes d'accés a memòria per part dels dos processadors.

Discos.

En els subsistemes de discos el model de cues es quelcom més complex. D'antuvi, tenim una cua per cadascun dels discos que componen el subsistema on tenim les sol·licituds d'E/S pendents.

Quan una d'elles adquireix el disc, es provoca el moviment del braç per a desplaçar-lo fins el cilindre adequat. Realment per a adquirir el disc cal que estiguin lliures simultàniament el disc i la unitat de control, però la incidència d'aquesta coincidència en el temps de resposta es molt baixa i a fi de simplificar el model normalment no es considera.

Quan el braç ha arribat a la posició demanada, sol·licita servei de la unitat de control a fi de realitzar la transferència, i si està ocupada es posa en una cua. Quan la unitat de control està lliure, l'adquireix durant un temps que es la suma dels de latència fins que el registre arriba sota el cap de lectura/escriptura i de transferència del registre.

Quan hi han dues unitats de control, segons el sistema operatiu es poden adoptar diferents polítiques per a distribuir els accessos entre totes dues. En aquest cas el sistema operatiu fa que s'intenti fer la transferència a través d'una d'elles (la primària) i si està ocupada s'envia a la segona (la secundària) on queda en cua si està ocupada.

El temps dels moviments dels braços dels discos s'han simulat de la forma següent :

- Es coneix per cada disc la distribució i ocupació dels arxius.
- Es suposa que en un cas de temps real tots els registres d'un arxiu tenen la mateixa probabilitat d'accés.
- Per cada accés es coneix la posició anterior del braç i el seu nou destí, doncs el nombre de cilindres que s'ha de desplaçar.
- Coneixent la distància i la funció (que depèn del tipus de mecanisme d'accés) que relaciona distàncies amb temps, podem calcular per cada accés la durada del desplaçament del braç.

Els temps de latència es poden considerar uniformement repartits entre zero i el temps d'una volta completa. (En aquest cas no s'ha considerat la possibilitat d'emprar el sensor de posicionament angular).

En aquest cas s'ha suposat que l'ocupació dels arxius es fixa durant la

simulació i per tant no cal simular la gestió dels espais dels arxius en disc.

Memòria.

La memòria de l'equip simulat té una part permanentment ocupada pel software bàsic, pels de gestió de les comunicacions i de la base de dades i pels bancs d'instruccions de les transaccions que es consideren fixos en memòria. Doncs, el que realment es simula es la gestió de la memòria lliure que queda un cop s'ha descomptat la part suara esmentada.

Realment les transaccions estableixen una cua per a entrar en memòria i ho fan si tenen lloc per a ubicar el seu banc de dades i si no, romanen en la cua.

Comunicacions.

En aquest cas no s'ha simulat la xarxa de comunicacions però si s'ha tingut en compte l'ús de la CPU i de la memòria en la gestió de les comunicacions.

Transaccions.

Cada transacció es simula per una seqüència alternada d'accessos a la CPU i als discos segons els perfils que es defineixen en funció de l'aplicació que tracten. L'estructura es la següent :

- Es generen les transaccions a intervals distribuïts segons una llei exponencial i s'adrecen a rutines on se'ls hi assignen valors als paràmetres que les caracteritzen.
- Es reuneixen en una rutina que tracta l'entrada a memòria.
- La simulació pròpiament dita es la seqüència d'accessos a la CPU i als discos d'acord amb el perfil corresponent. Tant els accessos a la CPU i als discos es simulen per crides a rutines que simulen aquestes accions.
- Finalment hi ha la rutina d'alliberament de la memòria.

METODOLOGIA

L'objectiu de les experiències de simulació amb el model proposat consisteixen en investigar el comportament del sistema en estat estacionari estimant puntualment i per intervals els valors mitjos de les variables que caracteritzen la resposta del sistema.

L'assolir l'objectiu esmentat presenta dues dificultats bàsiques, comuns a tots els processos de simulació de sistemes discrets.

- Suposant que el sistema que estudiem tingui un estat estacionari, abans d'assolir-lo el model passarà per un règim transitori determinat per les condicions inicials i, en general, es difícil de determinar quan ha entrat el model en l'estat estacionari. El primer problema que es planteja es, doncs, la determinació de l'estat estacionari.

- D'altra banda existeix una dependència estadística entre les successives observacions de l'estat estacionari que, en general, no son independents sino que tenen una correlació apreciable

Els mètodes d'anàlisi de l'estat estacionari es poden dividir en dues classes principals :

- de disseny de la simulació de manera que s'obtinguin observacions estadísticament independents que permeten d'aplicar els mètodes de l'estadística clàssica a l'anàlisi dels resultats obtinguts amb la simulació.
- d'anàlisi directe de les dades correlades, emprant els mètodes d'anàlisi de sèries temporals.

Dins de la primera classe hi han tres procediments clàssics per a obtenir observacions estadísticament independents :

1. Mètode de les repeticions que consisteix en dur a terme K execucions independents del model de simulació amb m observacions a cadascuna. La independència es consegueix fent servir diferents successions de nombres aleatoris a cada execució amb el mateix estat inicial.
2. Mètode de les "batch means" que consisteix en dur a terme una execució de llargada N del model de simulació dividint el conjunt de les observacions d'aquesta execució en K segments de m observacions cadascun. Si \bar{X}_i és el valor mig de les observacions de l'i-essim lot i s'escull m prou gran, les \bar{X}_i no estaran pràcticament correlades. Si no ho esta i estan distribuïdes normalment, aleshores també son independents. A la pràctica, malgrat que les \bar{X}_i no tinguin una distribució normal, s'accepta que son independents si no estan correlades.
3. Mètode regeneratiu, que es pot fer servir si el sistema es regeneratiu i es diu que ho és si hi ha una successió de punts creixent en el temps, denominats de regeneració, tals que en ells el model del sistema comença cada vegada en les mateixes condicions. L'execució de la simulació es divideix aleshores en una seqüència de blocs independents igualment distribuïts.

Tal com ja s'ha dit, els mètodes d'anàlisi que s'han escollit cauen dins l'àrea de l'estadística clàssica :

- una combinació dels mètodes de repeticions i "batch means".
- mètode regeneratiu.

El model del sistema informàtic s'ha construït en GPSS i s'han realitzat vuit execucions independents, partint del mateix estat del sistema i en cada execució s'han fer cinc lots de 2000 observacions cadascun.

La independència de les execucions s'ha obtingut escollint un conjunt de generadors de nombres pseudo-aleatoris dels que, de forma standard, proporciona el GPSS. Concretament es van emprar els generadors 2, 3, 5, 6 i 4 per a generar les mostres de la simulació de l'estat transitori. El procés de simulació va continuar en cada repetició fins a l'estat estacionari, i aleshores en cada repetició es van canviar els generadors, fent servir les mostres generades pels nous generadors per a continuar dins de

cada repetició amb la formació dels lots fins a totalitzar el conjunt de 10.000 observacions per cada procés. D'aquesta manera s'assegura que totes les repeticions es fessin a partir del mateix estat inicial i que cadascuna d'elles fes servir una mostra de nombres aleatoris independent per haver estat generada per una combinació diferent de generadors. Les combinacions que s'han fet servir son :

REPETICIÓ	COMBINACIÓ DE GENERADORS
1	3, 4, 6, 7, 5
2	4, 5, 7, 8, 6
3	2, 3, 5, 6, 4
4	6, 10, 2, 3, 9
5	7, 8, 10, 1, 9
6	6, 7, 9, 10, 8
7	5, 6, 8, 9, 7
8	8, 9, 1, 2, 10

Els generadors de nombres pseudo-aleatoris que fa servir el CPSS son de tipus congruencial mixtos amb les següents característiques :

RANDOM GENERATOR	RANDOM MULTIPLIER	RANDOM INCREMENT	RANDOM SEED
1	1220703125	0	1220703125
2	3141592653	2718281829	31749344653
3	2718281829	3141592653	7831001755
4	10604499373	7261067085	7888636448
5	17249876309	7261067085	21653380501
6	30517578125	7261067085	30517578125
7	2565727293	35931228	2565727293
8	107936437	4292354	107936437
9	22438762221	6891	22438762221
10	621444377	92111326	621444377

Com s'ha dit abans, un dels problemes dels mètodes de repeticions i de batch means es el poder assegurar que es parteix de l'estat estacionari. Ja que cadascuna de les repeticions ha de començar en aquest estat, s'ha dut a terme una anàlisi prèvia, fent servir el mètode de batch means on s'estudia la mostra de les 2000 primeres observacions, dividides en 20 lots de 100 observacions.

Els resultats obtinguts foren :

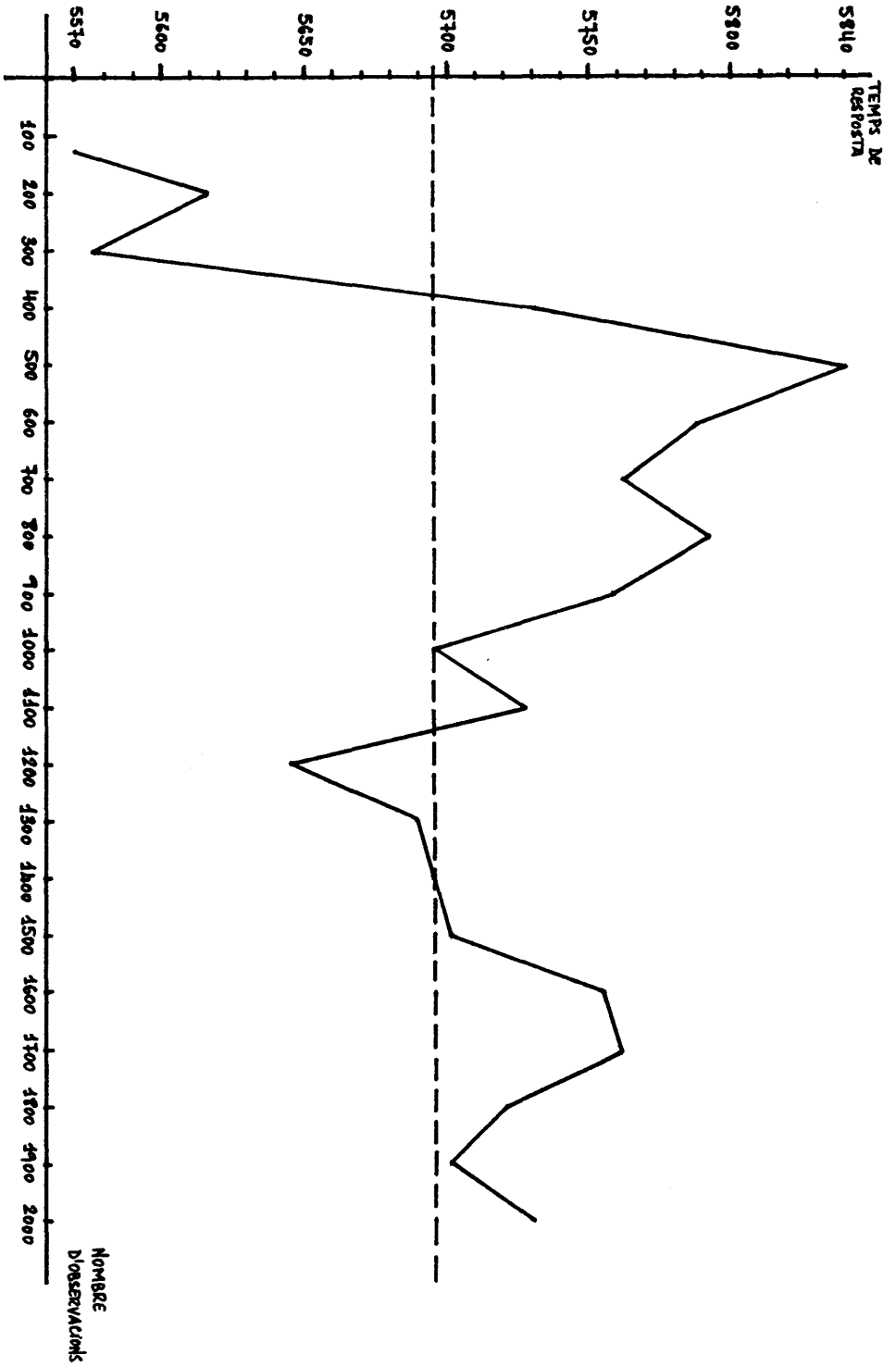
NUMERO DE OBSERVACIONES	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
100.0000	5231.8301	1521.3900
200.0000	5612.6001	2017.1100
300.0000	5577.3901	1935.4700
400.0000	5730.3501	2048.1001
500.0000	5840.9502	2092.7200
600.0000	5785.4399	2103.8301
700.0000	5760.1299	2105.0200
800.0000	5790.7100	2062.3999
900.0000	5757.3701	2032.3000
1000.0000	5696.0000	1999.1700
1100.0000	5725.6699	2015.5601
1200.0000	5643.0200	1983.7700
1300.0000	5687.4600	2035.1000
1400.0000	5694.2998	2021.7200
1500.0000	5699.5601	2010.6801
1600.0000	5754.0898	2041.4399
1700.0000	5760.1802	2041.6100
1800.0000	5721.4502	2023.2600
1900.0000	5697.2798	1997.3000
2000.0000	5729.2900	2044.7800

El gràfic adjunt posa de manifest que malgrat que hi han fortes oscil·lacions en les 1000 primeres observacions, a partir d'aleshores hi ha una marcada tendència a oscil·lar al voltant del valor mig, 5694.75, de les 2000 primeres observacions. D'altra banda, un cop admesa la hipòtesi que desde les 1000 primeres observacions el sistema entra en règim permanent, els valors mitjos de cada repetició i el valor mig global son, respectivament :

REPETICIÓ	VALOR MIG
1	5695.1904
2	5701.98
3	5733.52
4	5698.3101
5	5572.6201
6	5667.2002
7	5665.9702
8	5751.0801
GLOBAL	5685.7334

Es pot comprovar immediatament que no hi ha diferències significatives entre el valor mig de l'estat considerat com estacionari i els valors observats per a les repeticions, de la qual cosa s'en treu la conclusió que es pot acceptar, per al mètode de les batch means, l'esmentat estat com estat de començament.

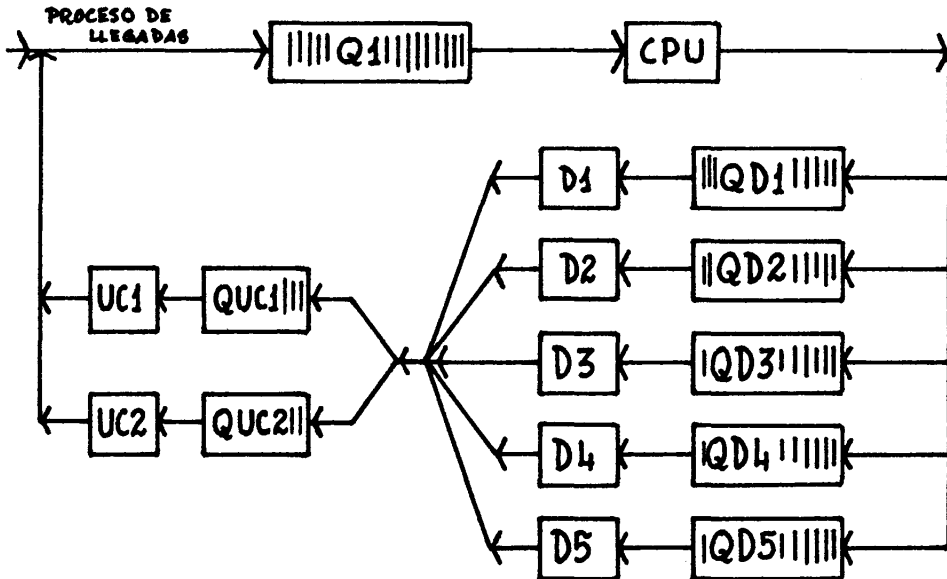
D'altra banda, l'aplicació del mètode regeneratiu planteja el problema previ de definir els punts de regeneració. Si aquests punts existeixen,



l'avantatge inicial del mètode regeneratiu davant dels altres dos consisteix en que l'agrupació aleatòria d'observacions que proporcionen els punts de regeneració, produeixen blocs independents idènticament distribuïts, des del principi de la simulació, la qual cosa permet d'evitar els problemes de la dependència estadística entre les successives observacions i de la determinació prèvia de l'estat estacionari, la qual cosa permet de definir uns millors estimadors.

El requeriment clau, per a que existeixin punts de regeneració i s'obtinguin els corresponents blocs independents i idènticament distribuïts, és que el sistema que s'ha de simular torni amb certa freqüència a un estat específic i que el temps mig entre aquestes tornades sigui finit, ja que es diu que un sistema és regeneratiu si existeix amb probabilitat u una successió creixent i infinita d'instantis aleatoris, denominats punts de regeneració en els que el sistema torna a començar estocàsticament.

El sistema estudiat es pot representar esquemàticament pel següent diagrama de xarxa de cues,



on les cues tenen el comportament descrit al paràgraf 2.

Si indiquen per E l'esdeveniment arribada d'un element al sistema quan està buit, les hipòtesis de comportament del sistema que acabem de formular, ens permeten assegurar que cada vegada que es produeix E el sistema torna a començar estocàsticament. Per tant, si l'esdeveniment E es repeteix a intervals de temps finits entre repeticions successives, la seva aparició defineix un punt de regeneració del sistema. Si denotem $S(t)$ el nombre de sortides del sistema en l'interval $(0, t)$ i suposem que

$$\mu^* = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{S(t)}{t}$$

podem definir la intensitat de tràfec del sistema com $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ i formular la conjectura de que :

- si $\rho < 1$ l'esdeveniment E es repeteix a intervals de temps finits i com a conseqüència prenem l'aparició d'E com un punt de regeneració.

ESTIMADORS EMPRATS

"Batch means".

En el mètode de les repeticions combinat amb les "batchmeans" hem pres com i-èsima observació de la j-èsima repetició el resultat del i-èsim "batch", de manera que el valor mig \bar{X}_j i la variança σ_j^2 de j-èsima repetició son :

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

La combinació dels resultats dels valors mitjos independents de les p repeticions dona com estimacions per al valor mig \bar{X} i la variança σ^2 :

$$\bar{X} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \bar{X}_j$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \sigma_j^2$$

d'on resulta un interval de confiança

$$\bar{X} \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} t_{n-1, \alpha/2}$$

Ara bé, cal tenir en compte que si les dades de la sortida de la simulació estan correlades, l'estat estacionari correspondrà al d'un procés estocàstic estacionari covariant. En aquesta situació l'efecte de la correlació no afecta a l'estimació del valor mig però s'ha de dur a terme una correcció en l'estimació de la variança de \bar{X} , tenint en compte les autocovariances.

Un estimador puntual de les autocovariances entre les observacions es :

$$R_k = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}), \quad k = 0, 1, \dots, n-1.$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t$$

A partir d'això es pot construir el següent estimador no esbiaixat de la variança de la mostra

$$\sigma_x^2 = \frac{n}{n-K} \{R_0 + 2 \sum_{s=1}^{K-1} (1 - \frac{s}{n}) R_s\}, \quad K < n$$

Un problema difícil de resoldre en moltes ocasions es el de determinar l'ordre de K de l'esquema autorregressiu.

Fishman suggereix una solució empírica, que es la que hem adoptat, i que consisteix en avaluar σ_x^2 per diferents valors de K i tenir en compte que el producte $n \sigma_x^2$ ha de romandre constant.

Mètode regeneratiu.

Suposant que $0 < E_1 < E_2 < \dots$ es la successió de punts de regeneració, definirem com a llargada del cicle

$$\alpha_i = E_{i+1} - E_i$$

el nombre d'entitats que han abandonat el sistema durant l'i-èsim cicle. Aleshores si Y_i es la suma dels temps d'espera a l'i-èsim cicle, un estimador del temps mig d'espera serà:

$$E(w) = \frac{E(Y)}{E(\alpha)}$$

Per a un total de n cicles, obtindriem el conjunt d'observacions

$$\{Y_1, Y_2 \dots Y_n\} \quad i \quad \{\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n\}$$

En general, ja que els cicles son independents i idènticament distribuïts també ho son les Y_i que acostumen a estar fortament correlades amb les α_i . Per a aquestes observacions tindriem els estimadors

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad \bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

Un estimador puntual clàssic de E(w) es :

$$r_C = \frac{\bar{y}}{\bar{\alpha}}$$

amb un interval de confiança $r_C \pm d_C$, que es

$$d_C = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S_C}{\bar{\alpha}/n}$$

on

$$S_C^2 = S_{f1}^2 - 2r_C S_{f2}^2 + r_C^2 S_{f2}^2$$

essent

$$S_{f1}^2 = \text{variança de les mostres } Y_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{22}^2 = \text{variança de les mostres } \alpha_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2$$

$$S_{22}^2 = \text{covariança de les mostres } (Y_i, \alpha_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\alpha_i - \bar{\alpha})$$

Aquest esquema suposa que la dimensió de la mostra es prou gran com per que, segons els resultats del teorema central del límit, es pugui aproximar la distribució de la mostra per una llei normal. En cas contrari r_c proporciona una estimació esbraixada. Per a mostres petites el mètode de Jackknife proporciona millors estimadors puntuals:

essent

$$r_j \pm d_j$$

$$r_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i$$

$$\theta_i = n \left(\frac{Y_i}{\bar{Y}} \right) - (n-1) \frac{\sum_{j \neq i} Y_j}{\sum_{j \neq i} \alpha_j}$$

i

$$d_j = t_{n-1, \alpha/2} \frac{S_j}{\sqrt{n}}$$

on

$$S_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\theta_i - r_j)^2$$

RESULTATS OBTINGUTS

Combinació de les "batch means" amb les repeticions.

REPETICIONS	OBSERVACIÓ NOMBRE					MITJA	DESVIACIÓ STANDAR
	1	2	3	4	5		
1	5527.3	5909.3	5384.3	5760.8	5894.3	5695.19	231.6438
2	5950.0	5728.0	5523.8	5502.2	5805.9	5701.98	190.1891
3	5744.7	5600.0	5794.0	5894.0	5634.5	5733.52	119.6635
4	5707.7	5492.4	5641.1	5848.2	5802.0	5698.31	140.5069
5	5870.8	5494.2	5406.3	5515.1	5576.7	5572.62	177.5057
6	5877.6	5656.8	5426.7	5716.7	5658.2	5667.20	161.8076
7	5751.3	5628.7	5812.5	5491.1	5646.3	5665.97	123.6222
8	5898.5	5586.4	5888.5	5621.3	5760.8	5751.0801	145.5075

L'anàlisi de la variança de la taula de resultats ens proporciona una :

- variança entre files 14710, graus de llibertat 7
- variança dins de les files 30472, graus de llibertat 32

F_{ratio} : 0.48273

i com $F_{7;32;0.95} = 2.33$

queda garantida a aquest nivell la independència de les repeticions, la qual cosa ens permet fer servir els estimadors definits a l'apartat anterior :

$$\bar{x} = 5685.7334$$

$$\bar{s} = 27254.6453$$

i l'interval de confiança resultant al 95% es

$$5685.7334 \pm 138.04046$$

Cal fer notar que el reduït nombre d'observacions (degut a la durada de cada simulació) no ha permès utilitzar un millor estimador de la variança de la mostra, com el que s'ha descrit abans, encara que s'ha pogut detectar una forta autocorrelació que posa en dubte la validesa de l'estimació realitzada.

Mètode regeneratiu.

S'ha obtingut un total de 407 cicles superiors a 5 transaccions, que constitueix una mostra prou gran per a justificar l'aplicació del teorema central del límit. S'han fet servir els estimadors normal, r_c i el Jackknife r_j (tenint en compte que les dimensions dels cicles són normalment petites). Els resultats obtinguts són :

$$\bar{y} = 134820.94336$$

$$\bar{\alpha} = 23.16462$$

$$r_c = 5820.12347$$

interval de confiança al 0.95 : $d_c = 124.12338$

$$r_j = 5821.01044$$

interval de confiança al 0.95 . $d_j = 124.379992$

Es notable la consistència d'ambdues estimacions, confirmada a més a més pel fet d'una absència pràcticament total d'autocorrelacions. Això era d'esperar per la justificació teòrica del mètode, comprovada empíricament per l'anàlisi de la funció d'autocorrelació.

D'altra banda cal fer ressaltar la diferència significativa entre aquesta estimació i la dada a terme pel mètode anterior. Aquesta diferència es explicable pel fet de que s'han eliminat els cicles inferiors o iguals a 5 observacions. Analitzats aquests cicles es comprova que corresponen a aquelles situacions en que intervenen transaccions curtes i, per tant, la seva eliminació introdueix un esbiaixament

Refent l'anàlisi sense eliminar tals cicles s'obté :

$$\bar{Y} = 102397.44$$

$$\bar{\alpha} = 17.8381$$

$$r_C = 5740.3686$$

amb un interval de confiança al 0.95 : $d_C = 121.02184$

$$r_j = 5741.3817$$

amb un interval de confiança al 0.95 : $d_j = 121.32935$

CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts, la consistència de les estimacions i la seva precisió, juntament amb el considerable estalvi de temps de CPU -(es te que tenir en compte que cada una de les 8 repeticions efectuades pel primer mètode va consumir un terme mig de una hora 25 minuts de temps de CPU de un ordinador UNIVAC 1100/10, a la qual cosa es tindria que afegir el temps consumit en l'anàlisi de l'estacionaritat; mentre que el mètode regeneratiu va consumir una mica mes que el terme mig però solament va necessitar una execució)- fan altament aconsellable la utilització del mètode regeneratiu en l'estudi per simulació d'aquells sistemes per als que es poden definir clarament punts de regeneració.

BIBLIOGRAFIA

Fishman, G.S.

Concepts and methods in discrete event Digital Simulation.
John Wiley and son (1973).

Kleijnen, J.P.C.

Statistical Techniques in Simulation.
Marcel Dekker (1975).

Sargent, R.G.

Statistical Analysis of Simulation output data.
Sigsim Simuletter, vol. 8, nº 3, (1977).

Crane, M.A. and Iglehart, D.L.

Simulating Stable Stochastic Systems I : General Multiserver queues.
Journal of ACM, vol. 21, nº 1, (1974).

Simulating Stable Stochastic Systems II : Markov Chains.
Journal of ACM, vol. 21, nº 1, (1974).

Simulating Stable Stochastic Systems III : Regenerative processes
and discrete-events simulations.
Operations Research, vol. 23, nº 1, (1975).

Iglehart, D.L.

Simulating Stable Stochastic Systems V : Comparisons of ratio estima-
Naval res. Logist. Quart. vol. 22, nº 3, (1975) /tors.

J. Barceló; R. Puigjaner

Kleinrock, L.
Queuing Systems.
John Wiley and Sons (1976)

Martin, J.
Design of Real Time Computer Systems.
Prentice-Hall (1977)