SIMULATION ALÉATOIRE À ÉVÉNEMENTS DISCRETS

ISIMA – Option 3 – 2ème année – Mars 2005

Durée : 2 heures

Cours (10 points).

1. On considère le programme QNAP2 suivant :

```
/DECLARE/ QUEUE Source, a; REAL Lambda=1.; FLAG f;
/STATION/     NAME = Source; INIT = 1;
              SERVICE =     BEGIN
                            EXP(1./Lambda);
                            IF SON<>NIL
                                   THEN IF SON.FATHER.CQUEUE.NBOUT=2
                                          THEN TRANSIT(OUT);
                            TRANSIT(NEW(CUSTOMER), a);
                            CST(0.);
                            TRANSIT(f.LIST.FATHER.CQUEUE);
                            END;
/STATION/     NAME = a;
              SERVICE = IF CUSTNB(FATHER.SON.CQUEUE) = 2
                            THEN SET(f)
                            ELSE WAIT(f);
              TRANSIT = OUT;
/CONTROL/ TMAX = 100.; OPTION = TRACE;
/EXEC/ SIMUL;
/END/
```

Donner la trace d'exécution de ce programme, les instants d'occurrence d'événement $0 \le t_0 \le t_1 \le t_2 \ldots$ étant fixés arbitrairement.

2. Soit S un noyau de synchronisation à événements discrets et M une famille (éventuellement infinie) de modèles exécutables par S. On note $\mathbf{R}^+$ l'ensemble des réels positifs. $\forall m \in M$, $\forall t \in \mathbf{R}^+$, on note $e_m(t)$ l'ensemble des valeurs que prennent les variables de m à l'instant t. On note, d'autre part, $E(e_m(t))$ la fonction indicatrice telle que, $\forall t \in \mathbf{R}^+$:

$$E(e_m(t)) = 1 \Leftrightarrow \text{l'état de } m \text{ est déterminable à } t$$

$$E(e_m(t)) = 0 \Leftrightarrow \text{l'état de } m \text{ est indéterminable à } t$$

On constate que S vérifie la propriété suivante : $\forall m \in M$, $\forall t \in \mathbf{R}^+$, $\exists \varepsilon_t > 0$ / $(E(e_m(t)) = 1 \Rightarrow E(e_m(t+\varepsilon_t)) = 1)$

Que concluez-vous sur S ?

3. Modifier le code formel de la vidéo 25 pour simuler explicitement une file M/M/1/PAPS/∞ avec rebouclage possible d'un client à la fin de son service, la probabilité de rebouclage p, $0 \le p < 1$, étant donnée *a priori* et, d'autre part, chaque entité qui entre dans le système est un lot de clients, la génération d'un lot étant un processus de Poisson de taux *Lambda* et la taille d'un lot étant une variable aléatoire qui suit une loi uniforme de paramètres 1 et *TailleMax*, *TailleMax* étant un entier donné supérieur ou égal à 1. On suppose qu'on dispose d'une fonction *rand*() qui retourne un réel qui suit une loi uniforme de paramètres 0 et 1 et d'une fonction *rint*(a_1, a_2), $0 < a_1 < a_2 < \infty$, a_1 et a_2 étant deux entiers non nuls, qui retourne un nombre entier qui suit une loi uniforme de paramètres a_1 et a_2.

Problème (10 points).

On considère un système ouvert alimenté par trois sources nommées Source(i), 1≤ i≤3. La source Source(i), 1≤ i≤3, génère des clients selon un processus de Poisson de taux Lambda(i), 1≤ i≤3. La source Source(i), 1≤ i≤3, alimente la station Arrive(i), 1≤ i≤3, composée d'un serveur et d'une file d'attente de capacité supposée infinie et gérée selon la politique PAPS. Le client en tête de la station Arrive(i), 1≤ i≤3, attend qu'un automate l'autorise ou non à entrer dans le système. Cet automate peut atteindre 6 états notés E(j), 1≤ j≤6. La durée de résidence de l'automate dans l'état E(j), 1≤ j≤6, suit une loi exponentielle de moyenne t(j), 1≤ j≤6. L'automate change d'état selon la matrice stochastique donnée ci-dessous. Le comportement de l'automate est le suivant. Juste avant de changer d'état, l'automate choisit une station Arrive(i), 1≤ i≤3, en appliquant la règle suivante : Si E(1) ∨ E(6) Alors Choisir Arrive(1) Sinon Si E(2) ∨ E(5) Alors Choisir Arrive(2) Sinon Choisir Arrive(3) ; FinSi. L'éventuel client en tête de la station choisie avec cette règle est alors autorisé à poursuivre son processus d'entrée dans le système. Ce processus est le suivant : Supposons que la station choisie soit la station Arrive(k), 1≤ k≤3 ; le client de cette station vidange les stations Arrive(m), 1≤ m≤3, m≠k, puis rejoint une station nommée Stock. Le comportement de la station Stock est le suivant : dès que N>0 clients résident dans cette station (la valeur de N étant donnée *a* *priori*), un lot est constitué instantanément est émis dans une station nommée Paquet. Dans cette station Paquet, dont la file est de capacité infinie et gérée selon la politique PAPS, un lot reçoit un service déterministe de durée T puis, avant de quitter le système, il réinitialise instantanément l'automate en le forçant à rejoindre l'état E(1).

Matrice stochastique des changements d'état conditionnels de l'automate

On donne :

t(1)=1.2 ; t(2)=0.7 ; t(3)=1.5 ; t(4)=0.9 ; t(5)=2. ; t(6)=2.3

T=5. ; N=4. ;

Lambda(1)=0.7 ; Lambda(2)=0.5 ; Lambda(3)=0.6 ;

Donner un modèle de simulation paramétré QNAP2 qui permet d'évaluer les performances quantitatives de ce système.

SIMULATION ALÉATOIRE À ÉVÉNEMENTS DISCRETS

ISIMA – Option 3 – 2ème année – Mars 2004

Durée : 2 heures

Cours (10 points).

4. Hormis les aspects maintenance logicielle et facilité d'implantation, quand préconisez-vous une approche de simulation par activités contre une approche par événements pour construire le modèle de simulation d'un système à flux discrets ?
5. On considère un réseau comportant trois stations nommées a, b et c et un drapeau f. La station b est initialisée avec un client, les deux autres étant vides. Dans son service, le client de b crée un client qu'il émet dans a puis se bloque en testant le drapeau f. Dans son service, le client de a crée un client qu'il émet dans c puis se bloque en testant le drapeau f. Dans son service, le client de c exécute :

   FREE(**FATHER.CQUEUE.FIRST.SON.FATHER.CQUEUE.LAST.LINK**, f) ;

   Y-a-t'il un ou plusieurs clients de libérés ? Si oui, donner quel(s) est (sont) le(s) client(s) libéré(s). Si non, montrer pourquoi aucun client n'est libéré et donner le message d'erreur retourné par QNAP2.
6. Soit n>1 objets FLAG noté fi, 1≤ i≤ n. L'instruction :

   Attendre_Jusqu'à(f1=SET ET f2=SET ET … ET fn=SET)

   est-elle implantée par :

   WAITAND(f1, f2, …, fn)

   et ce, quel que soit le contexte ? Justifier votre réponse.
7. Peut-on construire un modèle stochastique d'un système déterministe ? Dans l'affirmative, justifier l'intérêt d'une telle démarche, exposez les problèmes qu'elle pose, comment ils sont résolus et donner des exemples. Dans le cas contraire, argumenter, à l'aide d'exemples, pourquoi cela n'a évidemment pas de sens.
8. Pourquoi un modèle cognitif d'un système de production est-il un modèle de modèle ?

Problème (10 points).

On reprend l'architecture multiprocesseur étudiée dans le TP2.

1. Quelle(s) est (sont) l'expression (les expressions), en utilisant les instructions du code du TP2, du temps moyen de réponse de ce système ?
2. Calculer cette quantité avec les résultats fournis par QNAP2.
3. Donner une solution QNAP2 qui calcule <u>*automatiquement*</u> ce temps moyen de réponse <u>*sans faire les calculs*</u> demandés dans la question 1.

On suppose que n'importe quelle tâche-fille peut subir, au début de son service dans un processeur et avec une probabilité notée me constante et donnée, un mécanisme d'exception qui a pour conséquence de détruire instantanément cette tâche-fille, toutes ses sœurs et sa mère. Modifier le service que reçoit une tâche-fille dans un processeur pour implanter ce mécanisme d'exception.

SIMULATION

ISIMA – Option 3 – 2ème année – Mars 2003

Durée : 2 heures

Cours

1. Dans quel contexte préconisez-vous une approche de simulation par activités contre une approche par événements pour construire le modèle de simulation d'un système à flux discrets ? Quel type d'approche QNAP2 met-il en œuvre ?
2. Quel(s) est (sont) le(s) problème(s) posé(s) par l'apparition d'événements simultanés dans une simulation à événements discrets ? Comment prétendez-vous résoudre ce(s) problème(s) avec le langage de simulation de QNAP2 ?

Problème

On considère un système multiprocesseur comportant :

- Une unité de calcul nommée Proc composée de Nb_Proc processeurs (Nb_Proc>1) alimentés par une seule file d'attente commune de capacité N0>=0 et qui applique la politique de gestion Premier Arrivé – Premier Servi (PAPS),
- 3 unités de disques notées D1, D2 et D3 comportant chacune une file d'attente gérée selon la politique PAPS. Chaque unité comporte un seul disque. La capacité de la file de D1 est N1>=0, celle de la file de D2 est N2>=0 et celle de la file de D3 est N3>=0.

L'unité de calcul Proc est reliée aux trois unités de disques, tandis que chaque unité de disque n'est reliée qu'à l'unité de calcul Proc. Cette dernière est l'unique point d'entrée dans le système. De même, l'unité de calcul Proc est le seul point de sortie de ce système.

Ce système est alimenté par N_Source>1 sources indépendantes notées Source(i), 1<= i<= N_Source. Toutes les sources émettent leurs clients dans l'unité de calcul Proc. La source Source(i), 1<= i<= N_Source, génère, <u>quand elle est active</u>, des tâches dites primaires de classe nommée Primaire(i), 1<= i<= N_Source, selon un processus de Poisson de taux 1./Temps(i), 1<= i<= N_Source.

Quel que soit i, 1<= i<= N_Source, une tâche (primaire) de classe Primaire(i), 1<= i<= N_Source, se subdivise en Nb_Fille(i)>1 tâches secondaires ou filles de classe Seconde(i, j) (opération de type SPLIT), 1<= j<= Nb_Fille(i), 1<= i<= N_Source. Ces Nb_Fille(i) tâches secondaires, 1<= i<= N_Source, accèdent systématiquement au système multiprocesseur – quand c'est possible – par l'unité de calcul Proc.

Quand une tâche de classe Primaire(i), 1<= i<= N_Source, a généré toutes ses tâches-filles, elle rejoint instantanément un buffer nommé Stock_M(i), 1<= i<= N_Source, de capacité supposée infinie, dans lequel elle attend que <u>*toutes ses tâches-filles*</u> aient terminé leur exécution. La génération des tâches-filles n'est pas forcément instantanée car, et entre autres, le buffer de l'unité de calcul Proc a une capacité finie : c'est dans ce sens qu'on précise que tant qu'une tâche de classe Primaire(i), 1<= i<= N_Source, n'a pas généré toutes ses filles, la source Source(i), 1<= i<= N_Source, est *oisive ou déactivée*. La charge de ce système est donc une charge auto-régulée.

Une tâche-fille qui a terminé son exécution rejoint un buffer nommé Stock_F(i), 1<= i<= N_Source, de capacité supposée infinie, dans lequel elle attend que <u>*toutes ses tâches-sœurs*</u> aient terminé leur exécution (opération de type JOIN). Quand les Nb_Fille(i) tâches-filles d'une tâche-mère Primaire(i) sont dans le buffer Stock_F(i), 1<= i<= N_Source, elles sont instantanément détruites et la tâche-mère rejoint instantanément l'environnement (c'est-à-dire qu'elle quitte le système).

Toutes les tâches-mères de classe Primaire(i), 1<=i <=N_Source, ont les mêmes caractéristiques qui sont décrites comme suit :

(Nombre de filles Nb_Fille(i), Temps de service dans sa source Temps(i))

Toutes les tâches-filles de classe Seconde(i, j), 1<=j <=Nb_Fille(i), générée par une tâche-mère de classe Primaire(i), 1<=i <=N_Source, ont les mêmes caractéristiques qui sont décrites comme suit :

{CodeLoi(i, j), Temps(i, j), Vecteur(i, j)}

où : - CodeLoi(i, j) vaut :

0 si cette tâche ne demande que des services distribués selon une loi constante, quelle que soit la ressource visitée,

1 si cette tâche ne demande que des services distribués selon une loi exponentielle, quelle que soit la ressource visitée ;

- Temps(i, j) est la moyenne des durées de service indépendante de la ressource visitée ;
- Vecteur(i, j) est décrit comme suit :

{ Stock_F(i), p(i, j, 1), D1, p(i, j, 2), D2, p(i, j, 3), D3, p(i, j, 4) }

les quantités p(i, j, k), 1<=i <=N_Source, 1<=j <=Nb_Fille(i), 1<=k <=4, sont des probabilités <u>*relatives*</u> (par exemple, p(i, j, 3) est la probabilité relative qu'une tâche-fille de classe Seconde(i, j) qui a terminé son service dans l'unité de calcul Proc, rejoigne l'unité de disque D2).

1. Donner le réseau de files d'attente qui modélise ce système.
2. Ce système impose une contrainte de population pour éviter un verrou mortel. Expliquer pourquoi.
3. Donner l'expression du nombre maximum de tâches-filles que peut contenir à tout instant le système (Proc, D1, D2, D3) pour éviter ce verrou mortel.
4. Donner un modèle de simulation QNAP2 qui permet d'estimer, à l'état stationnaire, les critères de performance de cette architecture multiprocesseur.

SIMULATION

ISIMA – Filière 3 – 2ème année – Avril 2002

Durée : 2 heures

Cours (10 points).

3. Quel est l'intérêt d'établir, quand c'est possible, que deux (ou plus) systèmes sont conceptuellement isomorphes ? Justifier votre réponse et donner des exemples.
4. Quel(s) est (sont) le(s) problème(s) posé(s) par l'apparition d'événements simultanés dans une simulation à événements discrets ? Comment prétendez-vous résoudre ce(s) problème(s) avec le langage de simulation de QNAP2 ?
5. Définir ce qu'est, dans une simulation aléatoire à événements discrets, le « Warm Up ». Quel est son rôle ? Connaissez-vous une méthode sûre pour le mettre en œuvre efficacement ? Justifier votre réponse.
6. Lors de la simulation du fonctionnement d'un hypermarché, on souhaite avoir des statistiques (d'état stationnaire) précises concernant les chariots mis à la disposition de la clientèle. Que préconisez-vous comme outil(s) disponible(s) dans QNAP2 ? Justifier votre réponse.
7. On s'intéresse à la simulation du fonctionnement d'un système modélisé par une station composée d'un serveur et d'une file d'attente à capacité infinie et gérée en PAPS. La loi des services est une loi exponentielle négative de moyenne *M*. Le modèle de charge du système est un processus de Poisson de taux moyen . Les clients ***qui sont en file d'attente***, sont animés d'un sentiment d'impatience tel que, quel que soit un client en file d'attente et quel que soit l'état du système, ce client quitte la station (sans avoir été servi) au bout d'une durée de résidence en file d'attente qui suit une loi d'Erlang d'ordre 3 et de taux global . Comment modéliseriez-vous, avec QNAP2, ce système ? (On ne demande pas forcément le code de simulation du modèle).

Problème (10 points).

Soit un système industriel de production composé de deux stations de réception de produits nommées Stock1 et Stock2 et d'un système automatisé de transport/manutention comportant X chariots et deux parkings nommés Park1 et Park2 affectés respectivement à Stock1 et Stock2. La zone Stock1 (respectivement Stock2) est alimentée par une source nommée S1 (respectivement S2), le processus des arrivées étant poissonnien de taux $_1$ (respectivement 2). Les deux zones Stock1 et Stock2 sont gérées en PAPS. Un produit en tête de Stock1 (respectivement Stock2) demande un chariot pour rejoindre Stock2 (respectivement Stock1). Un chariot ne peut transporter qu'un produit à la fois. La durée de transport entre Stock1 et Stock2 (et vice-versa) est déterministe de durée T. Au bout de cette durée de transport, le produit est déchargé et quitte instantanément le système et le chariot rejoint le parking atteint. La durée de chargement (respectivement de déchargement) d'un produit sur un (respectivement d'un) chariot est supposée nulle. Par contre, une contrainte technologique est imposée : la durée qui s'écoule entre les *départs successifs de deux chariots* dans Stock1 (respectivement Stock2) est incompressible, déterministe et égale à Delta unité(s) de temps. La figure ci-dessous montre la topographie du sytème étudié.

Pour pallier un éventuel manque de chariots dans Park1 et Park2, deux règles d'approvisionnement en chariots nommées R1 et R2 sont mises en œuvre, l'une concernant Stock1 et l'autre concernant Stock2 :

Règle R1 (resp. R2) : A chaque fois qu'un produit entre dans Stock1 (resp. Stock2), si le nombre de chariots qui stationnent dans Park1 (resp. Park2) augmenté du nombre de chariots (vides ou chargés) en route pour Park1 (resp. Park2), augmenté du nombre de requêtes non satisfaites de chariots à Park2 (resp. à Park1) est inférieur ou égale à S1 (resp. S2), un chariot est demandé à Park2 (resp. Park1).

S1 et S2 sont deux entiers donnés *a priori*.

Donner un modèle de simulation QNAP2 qui permet d'estimer, à l'état stationnaire, le temps moyen de réponse de Stock1 et Stock2.

SIMULATION

ISIMA – Filière 3 – 2ème année – Décembre 2001

Durée : 2 heures

Cours (12 points).

8. Quelle approche de modélisation utilise-t-on lorsqu'on construit des actigrammes avec la méthode SADT ?
9. Donner le principe du passage de l'approche transaction à l'approche station. Quel est l'intérêt de ce passage ?
10. Parmi les types de STATION que QNAP2 propose, quel est l'intérêt du type STOCK ? Justifier votre réponse en donnant des exemples.
11. Pourquoi l'approche systémique considère-t-elle les stocks et les délais indispensables au bon fonctionnement d'un système ? (1 page au maximum).
12. Etes-vous d'accord avec S. Papert et G. Voynet, qui écrivaient en 1968 :

« *Qui a le plus besoin d'épistémologie ? Ce sont les ingénieurs, ceux qui ont le besoin le plus urgent d'une théorie de la connaissance, et la meilleure probabilité d'en créer* »

(15 pages au maximum – épistémologie : partie de la philosophie qui étudie l'histoire, les méthodes, les principes des sciences).

6. On considère un modèle de simulation QNAP2 dans lequel une STATION est de TYPE=SINGLE, FIFO et dont le SERVICE est décrit, entre autres, par le code suivant :

```
SERVICE =       BEGIN
                C0 :=CQUEUE.LAST ;
                WHILE C0<>CQUEUE.FIRST DO C0 :=C0.PREVIOUS;
                IF C0=CUSTOMER THEN WRITELN("1")
                                    ELSE WRITELN("2");
                ....
                END;
```

Donner le contenu de la commande /DECLARE/ concernant ce code pour que cette séquence d'instructions – et seulement cette séquence – fonctionne.
Quel sera le résultat de l'exécution de ce code ? Justifier votre réponse.

Problème (8 points).

On reprend le modèle de simulation d'une file M/M/1/∞/PAPS écrit en Pascal. Les questions suivantes sont indépendantes les unes des autres.

1. On souhaite qu'un client qui termine son service, puisse retourner à la fin de la file d'attente avec une probabilité constante, donnée et notée p, ou de quitter le système avec la probabilité 1-p. Modifier le programme initial pour représenter <u>explicitement</u> ce processus de rebouclage.
2. Un client qui a terminé son service, détruit les éventuels clients qui sont en file d'attente avec la probabilité donnée et constante α, de sorte que lorsqu'il quitte la station, cette dernière est vide. Modifier le programme initial pour intégrer ce mécanisme.
3. La file est maintenant à capacité limitée à K>0 clients. Modifier le programme initial pour prendre en compte cette limitation.
4. Le flux d'entrées des clients qui arrivent de l'extérieur, est composé de deux flux poissonniens. Le premier flux,

de taux moyen $\lambda1$, est composé de clients de classe C1, tandis que le second flux, de taux moyen $\lambda2$, est composé de clients de classe C2. Un client de classe C1 (respectivement de classe C2) reçoit un service qui suit une loi exponentielle négative de moyenne M1 (respectivement de moyenne M2). Modifier le programme initial pour intégrer le comportement du serveur en fonction de la classe du client qu'il sert.

5. Le service global de taux μ est décomposé en k>0 étapes successives où, à chaque étape, le client reçoit un service qui suit une loi exponentielle négative de moyenne 1./k/μ. Quelle est la loi du service global ? Modifier le code initial pour simuler un service qui suit cette loi.

Simulation et Productique

ISIMA $2^{ème}$ Année - Filière F3

Examen - Septembre 1999

Durée : 2 heures

1. Donner les avantages et les inconvénients respectifs des réseaux de Petri et des réseaux de files d'attente pour mettre en œuvre complètement le processus de modélisation vu en cours. Quelles sont les méthodes d'évaluation des performances qu'ils permettent d'exploiter ? Justifier votre réponse (2 pages maxi).

2. Peut-on construire un modèle stochastique d'un système déterministe ? Dans l'affirmative, donner l'intérêt d'une telle démarche et donner des exemples.

3. Soit l'assertion suivante :

"**Si** un modèle d'action est homomorphe à un modèle de connaissance d'un système

Alors le modèle de connaissance est homomorphe au système qu'il modélise"

Etes-vous d'accord avec cette assertion ? Justifier votre réponse.

4. Quels sont les problèmes auxquels on peut être confronté quand on s'aperçoit, au cours de la construction d'un modèle de simulation, que les fonctionnalités du langage de simulation choisi ne suffisent pas et qu'il faut prévoir des interfaces logicielles avec un langage de programmation usuel ? Qu'apportent, dans ce contexte, des langages de simulation tels que QNAP2 ? Justifier votre réponse.

5. Soit le modèle QNAP2 suivant :

```
/DECLARE/ QUEUE a, b, sem;
        CLASS c1, c2, c3;
/STATION/ NAME = a;
        TYPE = MULTIPLE(3);
        INIT=2;
        SERVICE=P(sem);
        TRANSIT=OUT;
/STATION/ NAME=sem; TYPE=SEMAPHORE, MULTIPLE(0);
/STATION/ NAME=b;
        INIT(c3)=1;
        SERVICE=BEGIN
               IF sem.FIRST.FATHER.CQUEUE.FIRST.CCLASS = CCLASS THEN
                   CST(1) ELSE CST(2);
               TRANSIT(OUT);
               END;
/CONTROL/ TMAX=5.;
/EXEC/ SIMUL;
```

/END/
Que signifie l'expression sem.FIRST.FATHER.CQUEUE.FIRST.CCLASS = CCLASS du service de la station b ?
Quelle durée de service recevra le client de la station b ?

6. Donner le principe de calcul des probabilités marginales par simulation d'une file M/M/1/∞/PAPS.

Simulation et Productique

ISIMA 2ème Année - Filière F3

Examen - Mars 1999

Durée :2 heures.

Problème 1 (Cours).

1. Quels sont les problèmes posés par l'apparition d'événements simultanés dans une simulation ? Quelle(s) solution(s) préconisez-vous ?

2. Quel type de politique de gestion implante le Kanban ? Quels sont les avantages et les inconvénients du Kanban ?

3. Qu'est-ce qu'une entreprise virtuelle ?

4. Justifiez l'hypothèse simplificatrice " CST(5) " du modèle de la ligne flexible simulé.

5. Donner le code générique de simulation d'une loi hyperexponentielle.

6. Quel est l'intérêt des lois de Cox ? Si vous construisez un modèle markovien stochastique à réseau de files d'attente (temps continu - espace d'état discret) d'un système de production et que certaines durées de service sont déterministes, comment modélisez-vous ces durées ? Justifier votre réponse.

Problème 2.

On considère un système informatique qui comporte une unité centrale et un sous-système d'entrées/sorties composé d'un nombre M (M>0) de disques identiques qui se partagent un seul canal d'échange de données. Le degré de multiprogrammation du système est noté N (N entier strictement positif). Chaque job, après avoir été servi par l'unité centrale, accède à un disque. Le modèle d'accès des jobs aux disques est supposé être une suite d'épreuves de Bernouilli où la probabilité qu'un job accède à un disque quelconque, est constante et égale à 1/M. Lorsque la requête d'accès d'un job est prise en charge par un disque, ce dernier positionne tout d'abord son bras de lecture/écriture sur la piste demandée. Cette opération réalisée, le disque demande le canal. Une fois qu'il détient ce canal, le disque recherche le début du secteur de piste à accéder puis réalise le transfert des données. Un disque est donc détenu par un job durant ces trois opérations, y compris durant l'attente du canal. A la fin du transfert, le canal est instantanément rendu et le job retourne à l'unité centrale. Le cycle du job est alors réitéré. On suppose que les files d'attente de l'unité centrale, des disques et du canal sont gérées en PAPS. On suppose, d'autre part que :

- la durée de traitement d'un job dans l'unité centrale suit une loi exponentielle négative de moyenne T_CPU,
- quel que soit le disque, la durée de positionnement du bras d'un disque sur une piste quelconque de ce disque suit une loi exponentielle négative de moyenne T_SEEK,
- quel que soit le disque, la durée de recherche du début de secteur de piste à accéder et la durée de transfert des données suivent chacune une loi exponentielle négative de moyenne respective T_SEARCH et T_TRANS.

1. Donner un modèle de simulation QNAP2 qui permet d'évaluer sous ces hypothèses et pour un nombre M de disques fixé ainsi que pour un degré de multiprogrammation N fixé, les performances quantitatives à l'état stationnaire de ce système.

2. Peut-on modéliser ce système par un réseau de files d'attente à forme produit ? Justifier votre réponse.

3. Modéliser avec un réseau de Petri dont on précisera le type, le fonctionnement de ce système.

4. On souhaite maintenant construire un modèle à réseau de files d'attente markovien à temps continu et à espace d'état discret de ce système.

   4.1. Donner ce réseau de files d'attente.

   4.2. Donner la chaîne de Markov pour M=2 et N=2.

   4.3. Donner le modèle QNAP2 de ce modèle markovien pour M et N quelconques et positifs.

Simulation et Productique

ISIMA $2^{ème}$ Année - Filière F3

Examen - Mars 1998

Durée :2 heures.

Problème 1 (Cours).

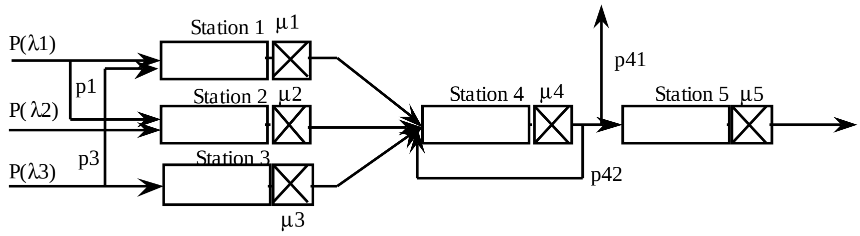
1. Dans quel contexte préconisez-vous une approche de simulation par activités contre une approche par événements pour construire le modèle de simulation d'un système à flux discrets ?

2. Quels sont les problèmes à résoudre pour passer d'une spécification d'un système réalisée avec une approche transaction à celle d'une approche station ?

3. Quelles peuvent être les conséquences sur la qualité des résultats d'une évaluation quantitative d'un système de production lorsque les durées d'usinage et de transport sont supposées être exponentiellement distribuées ? Quand peut-on exploiter le théorème de Dukhovny-Koenisberg ?

Problème 2.

Soit le réseau de files d'attente ci-dessous qui vérifie les hypothèses du théorème de Jackson.

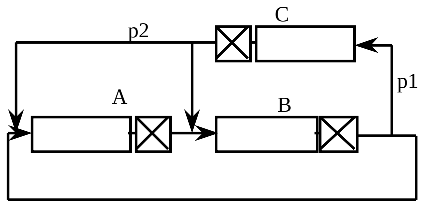


1. Donner l'expression des composantes du vecteur q=(q1, q2, q3, q4, q5) en fonction de $\lambda 1$, $\lambda 2$, $\lambda 3$, p1 et p3.
2. Donner l'expression des composantes du vecteur e=(e1, e2, e3, e4, e5).
3. Donner les conditions de stationnarité que doit vérifier le réseau.

5. Donner le temps moyen de réponse du système pour les données suivantes :
$\lambda 1=2$; $\lambda 2=1$; $\lambda 3=3$; p1=0.3 ; p3=0.4 ; p41=0.5 ; p42=0.1 ; $\mu 1=2.7$; $\mu 2=1.7$; $\mu 3=2$; $\mu 4=7$; $\mu 5=2.7$

Problème 3. (durée conseillée : 1 heure)

Soit le système de production étudié en saturation montré par la figure ci-dessous.



Ce système comporte 3 stations notées A, B et C, chaque station étant composée d'un stock amont et d'une machine d'usinage. La capacité du stock amont de A est infinie tandis que celle de B (respectivement C) est égale à 2 (respectivement 1). Les durées d'usinage sont supposées distribuées selon des lois exponentielles négatives de moyennes Temps_A, Temps_B et Temps_C pour les machines des stations A, B et C respectivement.

Lorsqu'une pièce a terminé son usinage, si le stock amont de la station cible est saturé, la pièce bloque le serveur (blocage en transfert) et le libère dès que possible. A la sortie de la station B, une pièce a une probabilité constante p1 de rejoindre la station C. A la sortie de la station C, une pièce a une probabilité p2 constante de rejoindre la station A. Une pièce qui quitte C pour rejoindre B est prioritaire sur une pièce qui quitte A. Le système comporte N>0 pièces.

1. Donner un modèle de simulation QNAP2 qui permet d'évaluer les performances quantitatives à l'état stationnaire de ce système.

2. On souhaite maintenant construire un modèle à réseau de files d'attente markovien à temps continu et à espace d'état discret de ce système.

   2.1. Donner ce réseau de files d'attente.

   2.2. Donner la chaîne de Markov pour N=2 pièces.

   2.3. Donner le modèle QNAP2 de ce modèle markovien pour N quelconque et positif.

Simulation et Productique

ISIMA $2^{ème}$ Année - Filière F3

Examen - Mars 1997

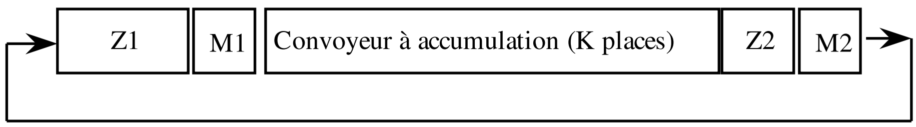
Durée: 2 heures.

Problème 1 (Cours).

1. Dans le cas d'une modélisation *a priori* d'un système, peut-on étalonner le modèle ? Justifier votre réponse.
2. Situer les générateurs de code par rapport aux simulateurs dédiés.
3. Quels sont les problèmes posés par le dimensionnement d'un tableau Kanban ?
4. Quelles sont les méthodes de résolution dont on dispose pour évaluer les performances quantitatives d'un système à flux discrets modélisé avec :
   - le formalisme à réseau de files d'attente,
   - les réseaux de Petri ?
5. Quels sont les avantages et les inconvénients de la simulation à événements discrets distribuée ?

Problème 2.

On s'intéresse à l'évaluation quantitative des performances à l'état stationnaire d'un système de production. L'étude du système est faite en supposant qu'il est en saturation, c'est-à-dire que dès qu'une pièce finie quitte le système, elle est instantanément remplacée par une pièce brute. Sa charge, en nombre de clients, est notée par l'entier strictement positif N. Le système comporte deux machines M1 et M2, de capacité égale à 1, précédées respectivement par deux zones de stockage (buffers) nommées Z1 et Z2. La durée d'usinage sur M1 (respectivement M2) suit une loi exponentielle négative de moyenne T_M1 (resp. T_M2). La capacité de Z2 est égale à N_Z2 tandis que celle de Z1 est supposée infinie. On suppose que quand une pièce a terminé son usinage sur M2, elle rejoint instantanément Z1. La machine M1 alimente un <u>convoyeur à accumulation</u> nommé C comportant K places identiques. La durée minimum de parcours d'une place (phase de transport pur) est supposée suivre une loi exponentielle négative de moyenne T_Place, et ce quelle que soit la place. Le convoyeur C alimente la zone Z2. Si cette dernière est saturée, les pièces ne peuvent sortir de C. Si les K places sont occupées, une pièce, qui réside sur M1, doit attendre que la première place de C se libère pour quitter M1. La figure ci-dessous montre le système étudié.



1. Spécifier ce système sous la forme d'un réseau de Petri avec N=2, K=2 et N_Z2=1 (cette question peut apporter des points, mais n'en enlève pas !).

On souhaite modéliser ce système par un réseau de files d'attente markovien fermé.

2. Donner et justifier la description de ce réseau.
3. Donner la chaîne de Markov du système si N=2, K=2 et N_Z2=1.
4. Donner le modèle QNAP2 qui construit et résout cette chaîne.
5. Le modèle de simulation d'un convoyeur à accumulation vu en cours peut-il être exploité pour valider votre modèle markovien ? Justifier votre réponse.
6. Donner un modèle de simulation QNAP2 différent de celui vu en cours, et qui permet de valider votre modèle markovien.
7. On suppose maintenant que la durée minimum de parcours d'une place quelconque est déterministe. Quelle(s) solution(s) proposez-vous pour intégrer cette hypothèse dans votre modèle markovien. Quels sont les inconvénients de votre solution ?

Simulation et Productique

ISIMA $2^{ème}$ Année - Filière F3
Examen - Avril 1996

Durée: 2 heures.

Problème 1.

1. Donner les avantages et les inconvénients respectifs des réseaux de Petri et des réseaux de files d'attente pour mettre en œuvre complètement le processus de modélisation vu en cours. Quelles sont les méthodes d'évaluation des performances qu'ils permettent d'exploiter ? Justifier votre réponse (2 pages maxi).

2. Peut-on construire un modèle stochastique d'un système déterministe ? Dans l'affirmative, donner l'intérêt d'une telle démarche et donner des exemples.

3. Soit l'assertion suivante :

"**Si** un modèle d'action est homomorphe à un modèle de connaissance d'un système
Alors le modèle de connaissance est homomorphe au système qu'il modélise"

Etes-vous d'accord avec cette assertion ? Justifier votre réponse.

4. Quelle(s) méthode(s) de modélisation vue(s) en cours ou en T.D. permet(tent) d'évaluer les performances d'un système qui n'a pas d'état stationnaire? Si une (de) telle(s) méthode(s) existe(nt), donner son (leur) mode d'exploitation. Justifier votre réponse.

5. le générateur RANDU utilisé par la compagnie IBM, et abandonné aujourd'hui, est défini par :

$$x_{n+1} = 65539.x_n \mod 2^{31}$$

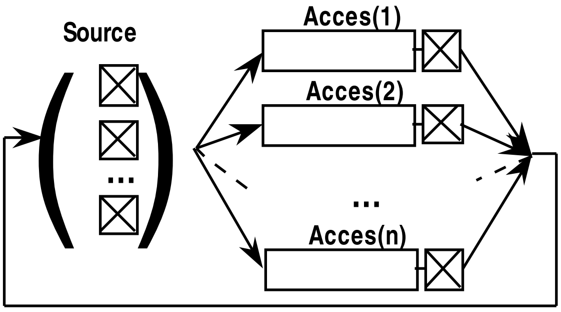
Montrer que ce générateur a le défaut de vérifier :

$$x_{n+1} = 6.x_n - 9.\, x_{n-1} \mod 2^{31}$$

(Utiliser le fait que $65539 = 2^{16} + 3$).

Problème 2.

On considère un système informatique modélisé par un réseau de files d'attente fermé comme le montre la figure ci-dessous.



Ce réseau est composé :

- d'une source nommée Source (serveur infini) dans laquelle chaque client reçoit un service dont la durée suit une loi exponentielle négative de moyenne T_Source,
- de n>1 stations identiques nommées Acces(i), 1≤i≤n ; chaque station est composée d'un serveur et d'une file d'attente PAPS de capacité infinie. Quelle que soit Acces(i), 1≤i≤n, un client reçoit un service qui suit une loi exponentielle négative de moyenne T_Acces(i), 1≤i≤n. A la fin de son service, un client, avant de rejoindre la station Source, vidange avec la probabilité 0<PDestruc<1 la file d'attente de la station dans laquelle il réside en forçant les éventuels clients qui s'y trouvent à rejoindre instantanément la station Source sans recevoir leur service.

Le modèle d'accès aux stations Acces(i), 1≤i≤n, est supposé uniforme. Le réseau comporte 1<N<+∞ clients.

1. Un tel réseau a-t-il une forme produit ? Si oui, quelle(s) méthode(s) analytique(s) préconisez-vous pour le résoudre ? Justifier votre réponse.

2. Donner un modèle markovien QNAP2 paramétré qui calcule les critères de performance de ce réseau, à l'état stationnaire.