

Exam
on
Manufacturing Systems Modeling and Analysis
Winter Term 2017-2018

Hints:

1. The exam consists of 14 pages (including this front page). Please check that your copy is complete and complain immediately if it is not.
2. Answer all questions and solve all given problems.
3. You are given 60 minutes to work on the exam and you can score a total of 60 points.
4. All tasks and questions are presented in both the German and the English language. You may answer the questions using either the German or the English language.
5. **Show your work!** If you use a formula to solve a problem, presents it in its general form first!
6. You may use a single double-sided and hand-written help sheet in in letter format or DIN-A4 format with any content you may find helpful to work on the exam.
7. You may use a pocket calculator.
8. For this exam written in a university computer lab you may use the desktop computer provided by the university and the SCILAB files related to this exam that have been provided in class and stored locally on this machine for your usage while working on the exam.

Personal data:

Family name	Given name	Matriculation number	Study program

Rating:

Task	1	2	Sum
Score			

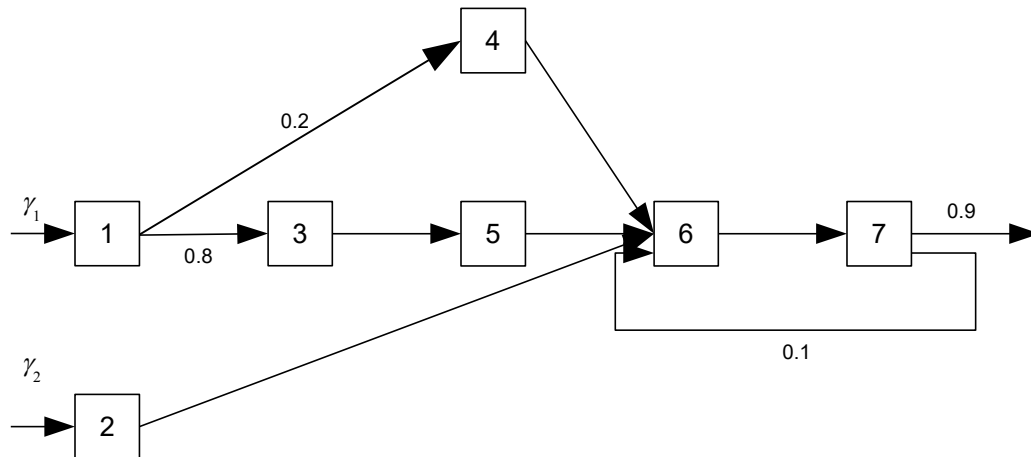
1. Analyse eines offenen Ein-Produkt-Netzwerks.

(30 P.)

(*Analysis of an open one-product network.*)

Analysieren Sie das in der folgenden Abbildung dargestellte Netzwerk aus Arbeitsstationen mit jeweils einem Server zur Herstellung einer einzigen Produktart.

(*Analyze the network of single-server work stations used to produce a single product type that is depicted in the following figure.*)



Die "Routing"-Wahrscheinlichkeiten der Stationen, an denen ein Markowscher Aufspaltungsprozess im Abgangsstrom erfolgt, sind in der Abbildung angegeben. Die externen Ankunfts-raten betragen $\gamma_1 = 8/h$ und $\gamma_2 = 9/h$. Die Zwischenankunftszeiten in beiden externen Ankunftsströmen sind exponentialverteilt. Die Bearbeitungsdauern an allen Stationen sind beschrieben durch ihre Erwartungswerte $E[T_s(i)]$ (in Minuten!) und quadrierten Variationskoeffizienten $c_s^2(i)$ gemäß der folgenden Tabelle. Nehmen Sie an, dass die Bearbeitungszeiten an den Stationen 1 bis 5 einer Gamma-Verteilung folgen.

(*The routing probabilities of the stations performing a Markovian splitting of the departure stream are given in the figure. The external arrival rates are $\gamma_1 = 8/h$ and $\gamma_2 = 9/h$. The interarrival times of both external arrival streams are exponentially distributed. The processing times at all the stations are characterized by their expected values $E[T_s(i)]$ (in minutes!) and squared coefficients of variation $c_s^2(i)$ according to the following table. Assume that the processing times at Stations 1 to 5 follow a Gamma distribution.*)

Station i	$E[T_s(i)]$ [min]	$c_s^2(i)$
1	5	1.0
2	2	1.0
3	3	1.0
4	20	1.0
5	9	1.0
6	3	0.0
7	3	0.0

- a) Berechnen Sie (ggf. unter Verwendung eines geeigneten Scilab-Programms) für jede Station die Ankunftsrate λ_i , den quadrierten Variationskoeffizienten $c_a^2(i)$ der Zwischenankunftszeit, die Durchlaufzeit $CT(i)$ und den Bestand $WIP_s(i)$. Wie groß ist der Durchsatz des Systems? Geben Sie auch alle Eingangsparameter Ihrer Analyse an!
- (Compute (potentially using a suitable Scilab program) for each station the arrival rate λ_i , the squared coefficient of variation $c_a^2(i)$ of the interarrival times, the cycle time $CT(i)$ and the work-in-process $WIP_s(i)$. What is the throughput rate of the system? Present all the input parameters of your analysis!)*
- (15 P.)

- b) Geben Sie an, welche Station den Engpass des Systems darstellt und wie stark dieser ausgelastet ist.
(*Which of the stations is the bottleneck of the system and what is its utilization?*) (2 P.)

- c) **Erläutern** Sie,
(*Explain,*)

- i. was man unter einem Erneuerungsprozess versteht,
(*what a renewal process is,*)

(3 P.)

- ii. welche Bedeutung das Konzept eines Erneuerungsprozesses für die mathematische Modellierung der Ankunftsströme an den Stationen eines offenen Ein-Produkt-Netzwerkes hat,
(which significance the concept of a renewal process has for the mathematical modeling of the arrival streams at the stations of an open single-product network,) (4 P.)

- iii. an welchen Stationen die Ankunftsströme Erneuerungsprozesse darstellen
(at which stations the arrival processes are renewal processes,) (3 P.)

- iv. und welche Konsequenzen dies für die Frage hat, ob die Ergebnisse der Analyse exakt sind oder nicht.
(*and which consequences this has for the question whether the results of the analysis are exact or not.*) (3 P.)

2. Leistungsanalyse von Fließproduktionssystemen mit begrenzten Puffernkapazitäten. (30 P.)

(Performance analysis of flow lines with limited buffer capacities.)

Betrachten Sie in dieser Aufgabe Fließproduktionssysteme der Art, die in der folgenden Abbildung dargestellt wird:

(Consider in this problem flow lines of the type depicted in the following figure:)



Die Quadrate stellen Arbeitsstationen $i = 1, \dots, I$ dar. Die Bearbeitungszeiten sind exponentialverteilt mit Rate μ_i . Die Kreise symbolisieren Puffer von begrenzter Kapazität für die Werkstücke, die das System in Richtung der Pfeile durchlaufen. Die erste Maschine hungert nie, die letzte ist nie blockiert. Die störungsfreien Laufzeiten sind exponentialverteilt mit Raten p_i , die Reparaturdauern sind ebenfalls exponentialverteilt mit Raten r_i . Die Maschinen können nur ausfallen, wenn sie arbeiten, sie sind blockiert, wenn der stromabwärts gelegene Puffer das auf der Station fertig bearbeitete Werkstück nicht aufnehmen kann (blocking after service, BAS).

(The squares represent work stations $i = 1, \dots, I$. The processing times are exponentially distributed with rates μ_i . The circles represent buffers of limited capacity for the work pieces which flow through the system in the direction of the arrows. The first machine is never starved, the last one is never blocked. The times to failure are exponentially distributed with rates p_i , the repair times are also exponentially distributed with rates r_i . Machines can only fail while they operate. They are blocked if the downstream buffer cannot accommodate the processed work piece (blocking after service, BAS).)

- a) Betrachten Sie zunächst den Fall eines Systems mit nur zwei Stationen und einem Puffer dazwischen.

(Consider initially the case of a system with only two stations and one buffer in between.)

- i. Definieren Sie den Zustandsraum der nicht-transienten Zustände bei einer Pufferkapazität C_1 zwischen den Stationen 1 und 2.

(Define the state space of the non-transient states for a given buffer capacity C_1 between stations 1 and 2.) (4 P.)

ii. Geben Sie eine allgemeine Formel zur Bestimmung der Produktionsrate dieses Systems an!
(*Give a general formula to determine the production rate of this system!*) (2 P.)

iii. Geben Sie eine allgemeine Formel zur Bestimmung des mittleren Bestandes im System an!
(*Give a general formula to determine the average inventory level in the system.*) (2 P.)

- iv. Erläutern Sie für den Fall eines solchen Zwei-Maschinen-Systems die sog. *Flow-rate-Idle-time-Gleichung!*
(*Explain for the case of such a two-machine-system the so-called flow-rate-idle-time equation!*) (2 P.)

- v. Geben Sie den Grenzwert der Produktionsrates dieses Systems für $C_1 \rightarrow \infty$ an und erläutern Sie diesen!
(*Give the limit of the production rate of this system for $C_1 \rightarrow \infty$ and explain this limit!*) (2 P.)

- b) Betrachten Sie nun den in der Vorlesung behandelten Dekompositionsansatz nach Choong & Gershwin für Linien mit mehr als zwei Maschinen.
(*Now consider the decomposition approach by Choong & Gershwin for lines with more than two machines or stations which we treated during the lectures.*)
- i. Kennzeichnen Sie die Grundidee des Dekompositionsansatzes!
(*Describe and explain the basic idea of the approach!*) (4 P.)

- ii. Definieren Sie die Bedingung $\{\alpha_u(i, t) = 1\}$ dafür, dass die stromaufwärts zu Puffer i gelegene virtuelle Maschine zum Zeitpunkt t intakt ist.
(Define the condition $\{\alpha_u(i, t) = 1\}$ that the virtual machine upstream of buffer i is up (operational) at time t .) (3 P.)

- iii. Definieren Sie die Bedingung $\{\alpha_u(i, t) = 0\}$ dafür, dass die stromaufwärts zu Puffer i gelegene virtuelle Maschine zum Zeitpunkt t defekt ist.
(Define the condition $\{\alpha_u(i, t) = 0\}$ that the virtual machine upstream of buffer i is down (under repair) at time t .) (3 P.)

- iv. Geben Sie den Ansatz zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit $r_u(i)\delta t$ eines Reparaturereignisses an der stromaufwärts zu Puffer i gelegenen virtuellen Maschine im Zeitintervall $[t, t + \delta t]$ an und skizzieren Sie die Vorgehensweise zur Bestimmung dieser Wahrscheinlichkeit.

(Present the approach to determine the probability $r_u(i)\delta t$ of a repair event at the virtual machine upstream of buffer i during the time interval $[t, t + \delta t]$ and sketch the procedure to determine this probability.) (4 P.)

- v. Erklären Sie die Vorgehensweise des iterativen Algorithmus zur Lösung der Dekompositionsgleichungen und geben Sie an, worin die Ergebnisse der Analyse bestehen. Erläutern Sie, ob die Ergebnisse der Analyse exakt sind!
(Explain the procedural method of the iterative algorithm to solve the decomposition equations! What are the results of the analysis? Explain whether they are exact or not!) (4 P.)