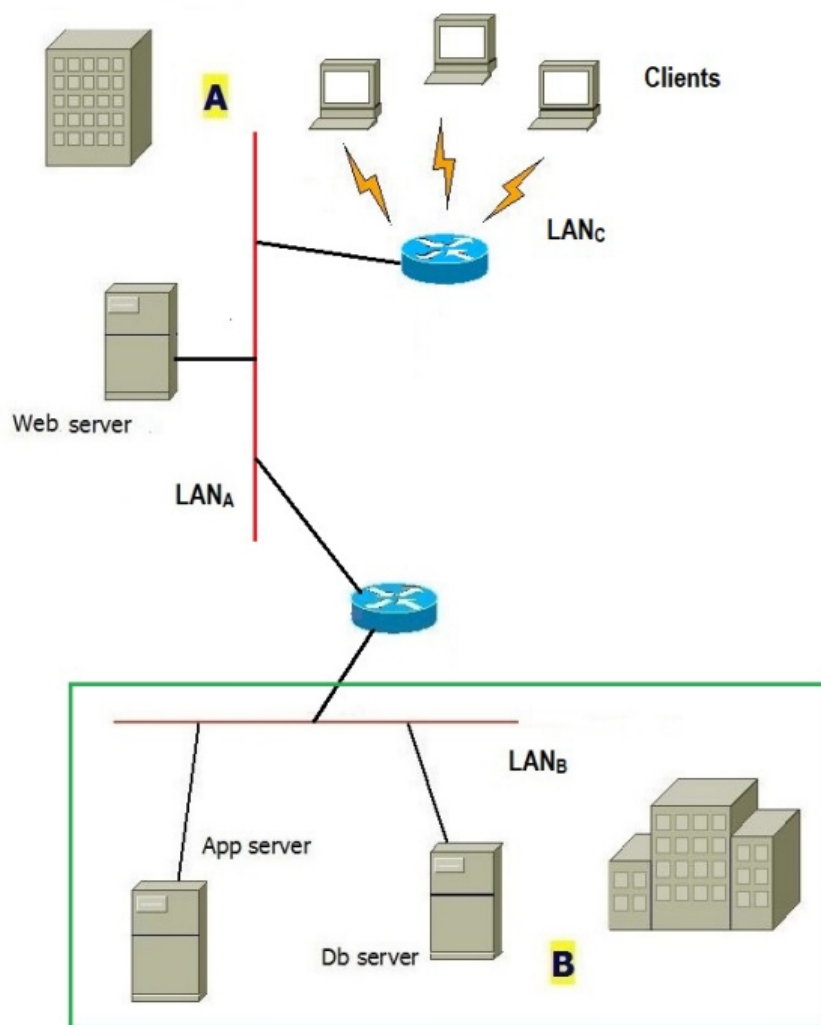


Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Προηγμένα Θέματα Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών – 8ο Εξάμηνο
1η Άσκηση – Ακ. Έτος 2021-2022

Ομάδα 66
Κυριακόπουλος Γεώργιος – el18153
Τζελέπης Σεραφείμ – el18849

Εισαγωγή

Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε με την επίδοση ενός υπολογιστικού συστήματος μία επιχείρησης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο διασυνδεδεμένα υποσυστήματα A και B, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα.



Αρχικά, θα περιγράψουμε την υλοποίηση του μοντέλου στο Java Modelling Tools και συγκεκριμένα το JMVA, στη συνέχεια θα παράξουμε και θα σχολιάσουμε τα ζητούμενα αποτελέσματα και τέλος θα παρουσιάσουμε την αντίστοιχη υλοποίηση των αλγορίθμων.

Για να αναλύσουμε την επίδοση του συστήματος θα χρησιμοποιήσουμε ένα κλειστό μοντέλο δικτύου αναμονής μίας κατηγορίας και θα το επιλύσουμε προσεγγιστικά με τη μέθοδο MVA. Θεωρούμε, επομένως, ότι όλοι οι πελάτες έχουν τις ίδιες απαιτήσεις σε μνήμη και θεωρούμε ότι ο περιορισμός μνήμης επιβάλλει ότι $L = 48$ το πολύ πελάτες μπορεί να είναι φορτωμένοι στη μνήμη.

Αρχικά, θα επιλύσουμε το υποσύστημα B για κάθε δυνατό πλυθησμό $k = 1, \dots, L$. Για αυτό θα ορίσουμε ένα ξεχωριστό σύστημα από το οποίο θα λάβουμε τους αντίστοιχους ρυθμούς απόδοσης ως συνάρτηση του φορτίου $X(k)$.

Το υποσύστημα αυτό αποτελεί σύστημα μίας κατηγορίας κλειστού μοντέλου, με όλους τους σταθμούς του να είναι Load Independent (App server CPU, App server disk, Db server disk, LAN_B και ένα βοηθητικό aux που θα χρησιμοποιηθεί ως reference station). Σχετικά με τα service times, αυτά ορίστηκαν σύμφωνα με τον πίνακα της εκφώνησης και στο aux ορίστηκε τιμή 0. Για τα visits, χρησιμοποιήσαμε πάλι τα δεδομένα της εκφώνησης με το aux να παίρνει τιμή 1, ως reference station, αφού θέλουμε να λάβουμε τα αποτελέσματα με βάση αυτό.

Χρησιμοποιήσαμε What-if analysis για να λάβουμε τους ρυθμούς απόδοσης με βάση το φορτίο για $k = 1, \dots, L$, δηλαδή για 48 επαναλήψεις. Τρέχοντας την επίλυση του συστήματος, εμφανίζονται και οι τιμές του throughput για τον aux station, τις οποίες κρατάμε, καθώς θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση του κεντρικού συστήματος,.

Για το κεντρικό σύστημα, θα υλοποιήσουμε ένα ξεχωριστό σύστημα, όπου και σε αυτή την περίπτωση το σύστημα μας είναι σύστημα μίας κατηγορίας κλειστού μοντέλου, με αριθμό πελατών $N = 125$.

Οι σταθμοί του είναι όλοι Load Independent (LAN_C , Web server CPU, Web server disk, LAN_A), εκτός από το σταθμό για τους πελάτες (Clients) που είναι ένας σταθμός Delay (Infinite Server) και έναν σταθμό SubsystemB, ο οποίος είναι ουσιαστικά ο ισοδύναμος σταθμός για το υποσύστημα B και είναι Load Dependent.

Για τα service times, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της εκφώνησης, ενώ για το SubsystemB χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του throughput που εξάγαμε από το πρώτο υποσύστημα, με τιμές $X(k)$ για 1 έως 48 και $X(48)$ για 49 έως 125. Ωστόσο, πρώτα οι τιμές του throughput $X(k)$ μετατράπηκαν σε service times ίσα με $1/X(k)$ και αυτές είναι οι τιμές που μπήκαν στα LD Settings.

Για τις τιμές του visit χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των δεδομένων, ενώ για το σταθμό SubsystemB επιλέχθηκε η τιμή 3 (με βάση τις επισκέψεις στο LAN_A (8) μείον τις επισκέψεις στο LAN_C (2) που εξυπηρετούν τους πελάτες, άρα απομένουν 6 επισκέψεις για το LAN_B , εκ των οποίων κρατάμε τις μισές, αφού πρόκειται για αφίξεις και αναχωρήσεις). Ως reference station, επιλέχθηκε ο σταθμός των πελατών (Clients).

[illegible]

[illegible]

Services

	System
Clients	26
LANc	0.056
Web server CPU	0.047
Web server disk	0.051
LANa	0.014
SubsystemB	

Visits

	System
Clients	1
LANc	2
Web server CPU	10
Web server disk	6
LANa	8
SubsystemB	

Για τον ρυθμό απόδοσης του συστήματος έχουμε ότι είναι ίσος με 0.2205.

Throughput	Number of Customers	Residence Times	System Response Time	Utilization	System Power	Synopsis
Throughput Throughput of each class for each station. System Throughput is the completion rate of the Reference Station .						
*	Aggregate	System				
System	0.2205	0.2205				
Clients	0.2205	0.2205				
LANc	0.4409	0.4409				
Web serv...	2.2046	2.2046				
Web serv...	1.3227	1.3227				
LANa	1.7637	1.7637				
Subsyste...	0.6614	0.6614				

Για το μέσο χρόνο απόκρισης του συστήματος έχουμε ότι είναι ίσος με 567 δευτερόλεπτα, εφόσον συμπεριληφθεί ο μέσος χρόνος σκέψης των πελατών (26 δευτερόλεπτα) ή 541 δευτερόλεπτα εάν δεν συμπεριληφθεί αυτός. Η τιμή 567 επιβεβαιώνεται και από τον τύπο του Little για το μέσο χρόνο απόκρισης.

Throughput	Number of Customers	Residence Times	System Response Time	Utilization	System Power	Synopsis
System Response Time The global aggregate is the "System Response Time" and is obtained weighting the aggregated values by the relative per-class throughput. A: This value of System Response Time includes the Residence Time of the Reference Station. B: This value of System Response Time does NOT include the Residence Time of the Reference Station. Notice: For open classes the Reference Station always coincides with the arrival process. Thus the B values are not computed.						
*	Aggregate	System				
A	567.0007	567.0007				
B	541.0007	541.0007				

Για το ρυθμό απόδοσης του υποσυστήματος B έχουμε ότι είναι ίσος με 0.6614, όπως φαίνεται στην πρώτη εικόνα για το SubsystemB.

Για το μέσο χρόνο απόκρισης του υποσυστήματος B έχουμε ότι είναι ίσος με 180, με βάση πάλι τον τύπο του Little, όπου $T = E[N]/\lambda = 119.0295/0.6614 = 179.96$ ή 180 προσεγγιστικά. Το 119.0295 προκύπτει από τον αριθμό των πελατών στο SubsystemB όπως φαίνεται παρακάτω.

Throughput	Number of Customers	Residence Times	System Response Time	Utilization	System Power	Synopsis
Number of Customers						
Average number of customers for each class at each station.						
*	Aggregate	System				
Aggregate	125.0000	125.0000				
Clients	5.7319	5.7319				
LANc	0.0253	0.0253				
Web serv...	0.1156	0.1156				
Web serv...	0.0723	0.0723				
LANa	0.0253	0.0253				
Subsyste...	119.0295	119.0295				

Για το μέσο αριθμό εργασιών στο υποσύστημα B έχουμε ότι είναι ίσος με 119.0295, όπως αναφέραμε και παραπάνω.

Σχετικά με τα αποτελέσματα, έχουμε τις παρακάτω παρατηρήσεις.

Αρχικά, οι τιμές που μας δίνει το JMVA συμφωνούν με τους θεωρητικούς τύπους που γνωρίζουμε για την επίλυση των δικτύων με τη μέθοδο MVA. Για παράδειγμα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τιμή 567 που αντιστοιχεί στο μέσο χρόνο απόκρισης του γενικού συστήματος, επιβεβαιώνεται και από τον τύπο του Little για το μέσο χρόνο απόκρισης, σύμφωνα με τον οποίο, $T = E[N]/\lambda = 125/0.2205 = 566.89$ δευτερόλεπτα ή προσεγγιστικά 567.

Δεύτερον, παρατηρούμε και από τα δεδομένα της εκφώνησης, ότι οι περισσότερες επισκέψεις (visits) συμβαίνουν στους σταθμούς του υποσυστήματος B. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί App server CPU, App server disk, Db server CPU, Db server disk και LAN_B αθροιστικά έχουν 93 από τα 119 συνολικά visits. Επομένως, παρατηρούμε ότι το υποσύστημα B χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό, καθώς αυτό είναι που διαχειρίζεται τα δεδομένα των εξυπηρετητών και της βάσης δεδομένων. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το utilization του υποσυστήματος B, το οποίο όπως φαίνεται και παρακάτω παίρνει τιμή 1, ενώ το γενικότερο σύστημα πλησιάζει σε αυτή, με τιμή 0.9968. Επίσης, ο αριθμός των εργασιών σε αυτό το υποσύστημα αντιστοιχεί στο μέγιστο αριθμό των visits, δηλαδή είναι ίσο με 119, όπως φαίνεται παραπάνω.

Throughput	Number of Customers	Residence Times	System Response Time	Utilization	System Power	Synopsis
Utilization						
Utilization of a customer class at the selected station. The utilization of a delay station is the average number of customers in the station (it may be greater than 1).						
*	Aggregate	System				
Clients	0.9968	0.9968				
LANc	0.0247	0.0247				
Web serv...	0.1036	0.1036				
Web serv...	0.0675	0.0675				
LANa	0.0247	0.0247				
Subsyste...	1.0000	1.0000				

Υλοποίηση των αλγορίθμων

Ακολουθούν μερικά screenshot από την υλοποίηση των αλγορίθμων στο πρόγραμμα JMVA.

Αρχικά, για το υποσύστημα Β έχουμε:

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Classes characteristics

Number, customized name, type of classes and number of customers (closed class) or arrival rate (open class). Add classes one by one or define total number at once.

Number: 1

New Class

*	Name	Type	No. of Customers	Arrival Rate (λ)
1	Subsystem B	closed	1	

< Back Next > Solve Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Stations characteristics

Number, customized name and type of stations. Add stations one by one or define the total number at once. Load Dependent stations necessarily require the use of MVA.

Number: 6

New Station

*	Name	Type	
1	App server CPU	Load Independent	X
2	App server disk	Load Independent	X
3	Db server CPU	Load Independent	X
4	Db server disk	Load Independent	X
5	LANb	Load Independent	X
6	aux	Load Independent	X

< Back Next > Solve Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Service Times

Input service times of each station for each class.

If the station is "Load Dependent" you can set the service times for each number of customers by double-click on "LD Settings..." button.

Press "Service Demands" button to enter service demands instead of service times and visits.

MULTICLASS MODELS: when for a station the per-class service times are different, the results are correct ONLY IF its scheduling discipline is assumed Processor Sharing (PS) and not FCFS (See BCMP Theorem).

Service Demands

*	Subsystem B
App server ...	0.0550
App server ...	0.0640
Db server ...	0.0630
Db server ...	0.0310
LANb	0.0240
aux	0.0000

< Back Next > Solve Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

File
Action
Help

Algorithm: MVA

Classes
Stations
Service Times
Visits
Reference Station
What-if
Comment

Visits

Average number of visits to each station per class.

*	Subsystem B
App serve...	21.0000
App serve...	12.0000
Db server...	24.0000
Db server...	18.0000
LANb	18.0000
aux	1.0000

< Back
Next >
Solve
Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

File
Action
Help

Algorithm: MVA

Classes
Stations
Service Times
Visits
Reference Station
What-if
Comment

Reference Station








The station is used to compute the system throughput and the system response time for each **closed class**.
Performance metrics of **open classes** are always computed with respect to the **arrival process**.
Visits at the Reference station can not be Zero.
WARNING: the reference station for all closed classes is forced to be the same station.

Class	Station
Subsystem B	aux

< Back
Next >
Solve
Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - subsystemB.jmva

FileActionHelp



Algorithm:

MVA

Classes

Stations

Service Times

Visits

Reference Station

What-if

Comment

What-if analysis
Solve models with increasing (or decreasing) number of customers of selected closed class.

Control Parameter :

Number of Customers

Class :

Subsystem B

From (Ni) :

1

To (Ni) :

48

Steps (n. of executions) :

48

☐ Compare Algorithms

	Subsystem B
N.job	1
β_i	1.0

< Back

Next >

Solve

Exit

JMVA Model Details

Algorithms

Name	Tolerance	Iterations	Max Samples
MVA	-	-	-

Classes

Name	Type	Population	Arrival Rate
Subsystem B	closed	1	

Stations

Name	Type
App server CPU	Load Independent
App server disk	Load Independent
Db server CPU	Load Independent
Db server disk	Load Independent
LANb	Load Independent
aux	Load Independent

Reference Stations

Class Name	Station Name
Subsystem B	aux

Service Demands

	Subsystem B
App server CPU	1.155
App server disk	0.768
Db server CPU	1.512
Db server disk	0.558

Db server disk	0.558
LANb	0.432
aux	0

Services

	Subsystem B
App server CPU	0.055
App server disk	0.064
Db server CPU	0.063
Db server disk	0.031
LANb	0.024
aux	0

Visits

	Subsystem B
App server CPU	21
App server disk	12
Db server CPU	24
Db server disk	18
LANb	18
aux	1

Τέλος, για το κεντρικό σύστημα έχουμε:

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - system.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Classes characteristics

Number, customized name, type of classes and number of customers (closed class) or arrival rate (open class). Add classes one by one or define total number at once.

Number: 1

New Class

*	Name	Type	No. of Customers	Arrival Rate (λ)
1	System	closed	125	

< Back Next > Solve Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - system.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Stations characteristics

Number, customized name and type of stations. Add stations one by one or define the total number at once. Load Dependent stations necessarily require the use of MVA.

Number: 6

New Station

*	Name	Type	
1	Clients	Delay (Infinite Server)	X
2	LANc	Load Independent	X
3	Web server CPU	Load Independent	X
4	Web server disk	Load Independent	X
5	LANa	Load Independent	X
6	SubsystemB	Load Dependent	X

< Back Next > Solve Exit

JMVA - Product Form Queueing Network Solver - system.jmva

File Action Help

Algorithm: MVA

Classes Stations Service Times Visits Reference Station What-if Comment

Service Times

Input service times of each station for each class.
If the station is "Load Dependent" you can set the service times for each number of customers by double-click on "LD Settings..." button.
Press "Service Demands" button to enter service demands instead of service times and visits.
MULTICLASS MODELS: when for a station the per-class service times are different, the results are correct ONLY IF its scheduling discipline is assumed Processor Sharing (PS) and not FCFS (See BCMP Theorem).

Service Demands

*	System
Clients	26.0000
LANc	0.0560
Web server...	0.0470
Web server...	0.0510
LANa	0.0140
SubsystemB	LD Settings...

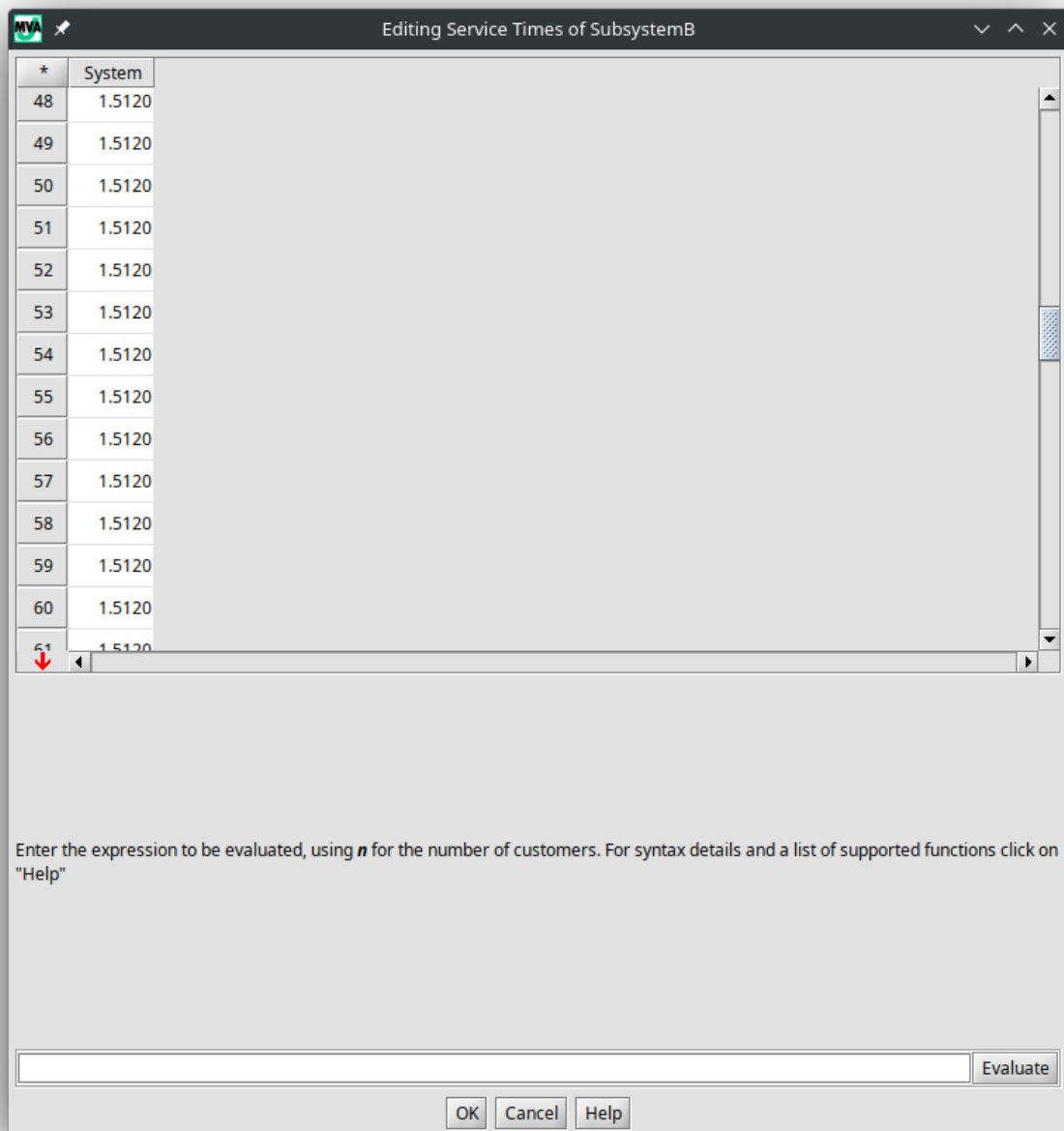
< Back Next > Solve Exit

The screenshot shows a software window titled "Editing Service Times of SubsystemB". It contains a table with 13 rows of data. The first row is highlighted. Below the table is a text input field and an "Evaluate" button. The bottom of the window has "OK", "Cancel", and "Help" buttons.

*	System
1	4.4250
2	2.7445
3	2.2034
4	1.9462
5	1.8016
6	1.7125
7	1.6543
8	1.6147
9	1.5872
10	1.5675
11	1.5533
12	1.5429
13	1.5353

Enter the expression to be evaluated, using n for the number of customers. For syntax details and a list of supported functions click on "Help"

OK Cancel Help Evaluate



Παραπάνω, φαίνονται ενδεικτικά οι πρώτες 13 τιμές που βάλαμε στο LD Settings του Load Dependent υποσυστήματος B, οι τιμές 35 έως 47 καθώς και οι τιμές από το 48 και μετά όπου παραμένουν ίδιες.